# Faszination Chemie

{ Die Zeitschrift des Fördervereins Chemie-Olympiade e.V. }



Internationale Chemie-Olympiade 2003 in Athen

{ Seite 6 }



Vier-Länder-Wettbewerb 2003 bei BASF

{ Seite 9 }



«International PhD-Programme» am EMBL

{ Seite 15 }



Der FCh0 auf der ACHEMA 2003

{ Seite 18 }



Elektronik jenseits von Silizium

{ Seite 19 }



Studium: Chemie und Bayreuth — das passt!

{ Seite 27 }

Zeitschrift für die Chemie-Olympiade in Deutschland und der Schweiz





# Dieser Neue hat es in sich!

Der Gesamtband für die Gymnasiale Oberstufe mit CD-ROM



- eignet sich für alle Bundesländer
- einsetzbar in Grund- und Leistungskursen
- vermittelt den Unterrichtsstoff über Buch, CD-ROM und Internet und berücksichtigt dabei neueste wissenschaftliche Erkenntnisse

Lehrbuch **Chemie** Gymnasiale Oberstufe (mit CD-ROM) ISBN 3-89818-525-7

#### Die CD-ROM im Lehrbuch

Die beiliegende CD-ROM enthält das gesamte Lehrbuch als PDF-Datei. Damit können Abbildungen und Tabellen auch einzeln ausgedruckt werden. Von den Seiten des Lehrbuches gelangt man durch Anklicken der CD-Symbole zu einzelnen Beiträgen mit sehr unterschiedlichen Inhalten. Sie sind folgenden fünf Kategorien zugeordnet und durch die genannten Buchstaben gekennzeichnet:



Biografien von bedeutenden Naturwissenschaftlern



Historische Entwicklung verschiedener Teilgebiete der Chemie, geordnet nach Jahreszahlen. Enthalten ist auch eine Übersicht über die Nobelpreisträger für Chemie, Physik und Medizin/Physiologie von 1901 bis heute.



Berechnungsbeispiele auf der Grundlage des Computeralgebrasystems Mathcad. Werte und auch grafische Darstellungen können verändert und die Ergebnisse sofort ermittelt werden.



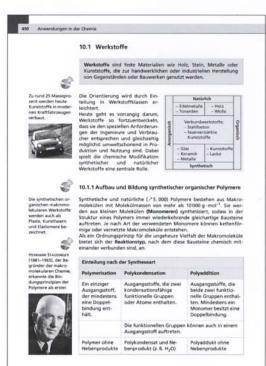
Zahlreiche Videos, bewegliche Strukturdarstellungen von Molekülen und Simulationen bieten die Möglichkeit zum eigenen Tätigsein sowie weitere interessante Informationen.



Vertiefende und ergänzende Informationen zu einzelnen Themen. Dazu gehören u.a. weitere Anwendungen der Chemie im Alltag, ausführliche Darstellungen von Reaktionsmechanismen, technischen Verfahren und biochemischen Prozessen.

Die einzelnen Beiträge der fünf genannten Kategorien können auch direkt angeklickt werden.

Die Biografien sind alphabetisch und die historischen Ereignisse chronologisch geordnet. Die drei zuletzt genannten Kategorien sind nach Stoffgebieten gegliedert und damit ebenfalls leicht überschaubar.



Beispiel einer Lehrbuchseite im PDF-Format mit Verlinkungen zu relevanten Beiträgen



#### Liebe Leser und Leserinnen.

36" International

Chemistry Olympiad Kiel-Germany 2004

seit der letzten Ausgabe der "Faszination Chemie" ist einiges im Umfeld der Chemie-Olympiade und im Förderverein Chemie-Olympiade e. V. (FChO) passiert ist.

Vieles war geprägt von den Vorbereitungen auf die Internationale Chemie-Olympiade (IChO) 2004 in Kiel – und so erscheint auch diese "Faszination Chemie" pünktlich zum Beginn der 36. IChO. Dass Deutschland Gastgeber der diesjährigen IChO ist, hat der Chemie-Olympiade in Deutschland und der Arbeit des FChO einen enormen zusätzlichen Schwung gegeben.

Der FChO und ehemalige Chemie-Olympioniken sind in großem Maß an der Internationalen Chemie-Olympiade in Kiel beteiligt – als Betreuer der einzelnen Nationen, als Juroren in der Aufgabenkommission und auch als Helfer im Hintergrund. Das bietet die Chance, die Idee und den Enthusiasmus, der bei den ehemaligen Olympioniken im FChO herrscht, den Teilnehmern aus aller Welt zu vermitteln.

Die einmalige Gelegenheit der IChO in Deutschland, bei der über 60 Nationen zu Gast sind, wollen wir als Förderverein Chemie-Olympiade nutzen, um auch internationale Kontakte zu knüpfen und auszubauen. Zum nächsten Workshop des FChO Anfang 2005 werden wir daher ehemalige Teilnehmer aus anderen Ländern einladen und so erstmalig einen internationalen Workshop veranstalten.

Und auch für die Chemie-Olympiade in Deutschland bietet die Ausrichtung der IChO in Kiel große Möglichkeiten. Die Chemie-Olympiade wurde und wird durch dieses Ereignis – und auch durch die Beteiligung der chemischen Industrie und der Gesellschaft deutscher Chemiker – einer wesentlich breiteren Öffentlichkeit bekannt und wird davon auch in den kommenden Jahren nur profitieren können. Das deutsche Auswahlverfahren zur diesjährigen IChO wurde in großem Maße vom FChO getragen und veranstaltet – diese enge Bindung wird hoffentlich auch in Zukunft bestehen bleiben und das Auswahlverfahren bereichern.

Neben all diesen Aktivitäten im Zusammenhang mit der IChO liefen auch die restlichen Aktivitäten des FChO weiter und wurden ausgebaut – so veranstalteten wir auch dieses Jahr begleitend zum deutschen Auswahlverfahren flächendeckend Landesseminare und es wurden Schnupperpraktika für erfolgreiche Teilnehmer vermittelt. Auch Chemie-Wettbewerbe für die Mittelstufe finden weiterhin mit enormer Beteiligung und in immer mehr Bundesländern statt – im vergangenen Jahr kamen Bayern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen hinzu.

Wir hoffen, dass auch diese Ausgabe der "Faszination Chemie" wieder eine interessante Mischung bietet. So finden sich in dieser Ausgabe Berichte vom Vierländerseminar in Schwarzheide, vom Landesseminar Bayern sowie über die Schnupperpraktika. Daneben wird aber auch in zwei Fachartikeln Einblicke in spannende Gebiete der Chemie gegeben.

Mit Berichten von der IChO in Kiel können wir leider noch nicht dienen – dies wird ein Schwerpunkt der nächsten "Faszination Chemie" werden. Aber einen Rückblick auf die IChO 2003 in Athen können wir auch hier schon bieten.

Viel Spaß beim Lesen!

divistoph Jacob

## Herausgeber:



## Förderverein Chemie-Olympiade e.V.

Diese Ausgabe: Juli 2004, Auflage 3500 Stück

### Vorstand des Fördervereins

Vorsitzender: Christoph Jacob

Erlenweg 4

D-61138 Niederdorfelden Telefon: (0 61 01) 3 31 00 E-Mail: chjacob@web.de

Stellv. Vorsitzender: Max Hofmann

Bergheimer Straße 35 D-69115 Heidelberg Telefon: (0 62 21) 58 60 284 Telefax: (0 62 21) 54 50 50

E-Mail: max.hofmann@urz.uni-heidelberg.de

Stellv. Vorsitzender: Jan Nicolay

Schwabstraße 81 72074 Tübingen

Telefon: (0 70 71) 25 20 47 E-mail: Jan.Nicolay@gmx.de

Schriftführerin: Kerstin Breitbach

Saarweg 2 D-53129 Bonn

Telefon: (0 22 8) 23 23 83 E-mail: uzs6t0@uni-bonn.de

Schatzmeisterin: Cordula Klockenbusch

Deutschhausstraße 44 D-35037 Marburg

Telefon: (0 64 21) 98 82 26

E-mail: klockenb@students.uni-marburg.de

Bankverbindung

Deutschland: Bank für Sozialwirtschaft

BLZ 100 205 00 Konto-Nr. 32 993 00

Schweiz:

Postcheck

Konto-Nr. 80-79 276-6

Redaktion

Max Hofmann (V.i.S.d.P.)

Sirus Zarbakhsh

Autoren

Henry Bittig Martin Dietterle

Katharina Scholze

Michael Hell

Christoph Lönarz

Judith Hierold

Max Hofmann

Sirus Zarbakhsh

Jana Zaumseil

Cordula Klockenbusch

Felix Plamper

Günther Jutz

Michael Holzapfel

Stefan Wetzel

Eugen Merkul

Bildmaterial

Henry Bittig

Martin Dietterle

Thoralf Krahl

Michael Hell

Christoph Kiener

Felix Plamper

**OIPA EMBL** 

Gestaltung

Werder & Stoll. Design Consultants

Ebertstraße 8

D-72072 Tübingen

http://www.we-st.de

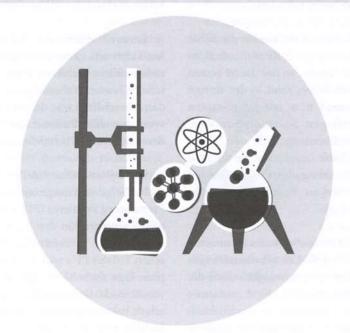
mstoll@we-st.de

Telefon: (0 70 71) 36 03 03

Telefax: (0 70 71) 36 03 25

## In dieser Ausgabe lesen Sie:

Internationale Chemie-Olympiade in Athen	Seite 6
Vier-Länder-Wettbewerb 2003 bei der BASF Schwarzheide	Seite 9
Zwanzig Bayern in Trostberg: Das Bayerische Landesseminar 2004	Seite 10
Forschung für Schüler— mittendrin statt nur dabei.	Seite 11
Workshop in Leipzig, 07. bis 11. Januar 2004	Seite 13
Das «International PhD Programme» am European Molecular Biology Laboratory	Seite 15
Innovation Bildung: Der FChO auf der ACHEMA 2003	Seite 18
Schaltkreise aus Plastik: Elektronik jenseits von Silizium	Seite 19
Nichtribosomale Peptidsynthese: Wie Bakterien Antibiotika produzieren	Seite 23
Chemie und Bayreuth — das passt!	Seite 27
Der Stickstoff – Teil 2: Oxide des Stickstoffs	Seite 29
Knobelseite	Seite 32
Buchvorstellung	Seite 33
Unsere Partner 2003/2004	Seite 34
Aufnahmeantrag	Seite 35



# Internationale Chemie-Olympiade 2003 in Athen



Das Auswahlverfahren für die IChO besteht offiziell aus 4 Runden. Die Aufgaben der 1. Runde werden von den Fachlehrern an den Schulen verteilt. Diese Hausaufgabenrunde ist bis September abzugeben und wird von den jeweiligen Landesbeauftragten kontrolliert. Diese entscheiden auch, wer die 2. Runde erreicht. In der 2. Runde hat man etwa 2,5 Monate Zeit, um jetzt umfangreichere Komplexaufgaben, die auch über den Schulstoff hinausgehen, zu lösen. Dabei wird keineswegs ein 100%- Ergebnis erwartet. In diesem Rahmen werden in vielen Bundesländern Landesseminare durchgeführt, bei denen man zum ersten Mal die Gelegenheit hat, mit Gleichgesinnten zusammen zu treffen. Für die vier besten Brandenburger ist das z. B. der Vierländerwettbewerb, an dem auch noch Schüler aus Sachsen, Sachsen-Anhalt und Berlin teilnehmen.

Nachdem die 2. Runde der Qualifikation für die IChO 2003 überstanden war, wurde man zur 3. Runde nach Köln bzw. Berlin eingeladen. Diese Runde, an der die 60 besten Schüler aus Deutschland teilnehmen, fand in der dritten Februarwoche statt und bestand u. a. aus interessanten Vorträgen und Aufgabenseminaren. So wurde uns u. a. die vergangene 34. IChO in Groningen von den Teammitgliedern präsentiert. Das hatte (zumindest bei mir) die Bestrebung geweckt, meine Anstrengungen bei den beiden fünfstündigen Theorieklausuren zu intensivieren, um in die Mannschaft zu kommen.

Bei der 4. Runde trafen sich dann die besten 16, um eine Woche lang praktisch an der Uni Kiel zu arbeiten. Da sich einige schon vom Vorjahr kannten, vermischten sich die Berliner und Kölner Delegationen sofort.

Der Ablauf der Tage lässt sich einfach beschreiben.

Nach dem Frühstück im Hotel Düvelsbeck ging es zu Fuß zur Universität, wo man bis Nachmittag, unterbrochen vom Mensamittagessen, im Labor arbeitete. Der offizielle Teil ging dann mit dem Abendessen in einem der vielen Kieler Restaurants zu Ende. Das mag sich ernüchternd oder langweilig anhören, stellte sich jedoch durch täglich andere Experimente und Abendgestaltungen als ziemlich abwechslungsreich heraus. Außerdem musste ja noch eine theoretische und eine praktische Klausur geschrieben werden. Das kulturelle Programm bestand in diesem Jahr, neben dem obligatorischen Waffeln Essen nach der Theorieklausur, aus einem Ausflug an die Kieler Förde. Bei strahlendem Sonnenschein fuhren wir mit der Fähre nach Laboe, wo ein paar Verwegene die Gelegenheit für ein Bad in der noch relativ kühlen Ostsee nutzten.

Generell waren die Teilnehmer untereinander nicht Konkurrenten, sondern vielmehr Freunde. Dieses kameradschaftliche Verhältnis zeigte sich z.B. auch bei der praktischen Klausur. Während gegen Ende mancher immer noch damit beschäftigt war, das rote Syntheseprodukt von seinem vormals weißen Pullover und Kittel zu lösen, kämpften andere noch mit der Schmelzpunktbestimmung.

Die besten sechs Schüler der vierten Runde wurden schließlich damit ausgezeichnet, den theoretischen Teil der Preparatory Problems (PP) schriftlich zu lösen. Diese Aufgaben wurden von den Organisatoren der IChO in Griechenland zur Vorbereitung veröffentlicht. Für den praktischen Teil der PP's wurden diese sechs noch einmal für ein paar Tage nach Kiel eingeladen. Nach dieser "5. Runde" wurde auch die endgültige Entscheidung über die Mannschaft bekannt gegeben. Ins Team schafften es schließlich Richard Wendler, Vladislav Kulikov, Martin Dietterle und

Henry Bittig. Für den fünftplatzierten Martin Brehm sowie Sebastian Stämmler auf Platz sechs gab es andere Preise.

Wie für jede bisherige Mannschaft begann die IChO für uns ein paar Tage früher mit einem Treffen in Kiel. Wir haben dort noch einmal die Preparatory Problems besprochen und letzte Ratschläge und Instruktionen sowie Team-Poloshirts von den Mentoren erhalten. Als Einstimmung auf das Gastland gab es am Vorabend des Abfluges ein sehr leckeres griechisches Abendessen bei Dr. Bünder für alle Beteiligte.

Am 5. Juli flogen wir dann von Hamburg über Frankfurt nach Athen. Wir kamen gegen 3 Uhr früh im Hotel an, wodurch wir das Willkommens-Dinner verpasst hatten. Die erste Aufgabe, die wir als Team zu bewältigen hatten, war, wer von uns vieren im Beistellbett des Hotelzimmers schlafen durfte. Am nächsten Morgen trafen wir neben unserem Guide Athina, die zu dieser Zeit an ihrer PhD in molecular biology arbeitete, auch die anderen Mannschaften. In fünf Bussen wurden wir dann zur Eröffnungsveranstaltung an der Universität von Athen gefahren, bei der uns Reden, musikalische Darbietungen sowie ein Buffet erwarteten.

Anschließend stand der zweistündige Transfer zum Sportcamp Loutraki an, wo wir die nächsten Tage, getrennt von den Mentoren, untergebracht sein sollten. Die Unterkunft war sehr funktional und garantierte einen engen Kontakt zwischen den Delegationen der Nationen. Die zahlreichen Möglichkeiten für sportliche Betätigung wurden von den Teilnehmern aktiv genutzt und in täglich stattfindenden Fußball- und Basketballspielen zeigte sich bei vielen Teilnehmern eine unerwartete sportliche Begabung.

Zu dem Rahmenprogramm der IChO gehörten viele Exkursionen, die uns mit den Sehenswürdigkeiten Griechenlands bekannt machten. Wir besichtigten das historische Korinth mit seinem Apollontempel und Säulen, das Amphitheater von Epidavros, wo uns einige Teilnehmer ein musikalisches Ständchen boten, sowie die Ruinen des Orakels von Delphi.

Nach einem freien Nachmittag (lt. Zeitplan "rest & study") absolvierten wir am folgenden Tag die praktische Klausur. Unsere Mentoren sorgten für eine widerspruchsfreie und verständliche Übersetzung der Aufgaben, die relativ einfach waren. Nach der Klausur wurden bei Lunchpaketen die Lösungen diskutiert, wobei wir mit unseren Ausbeuten von ca. 70% anfangs ziemlich zufrieden waren, allerdings nicht mit den "Spitzenergebnissen" von 97% mithalten konnten. Am Abend wurde dann die überstandene Halbzeit entsprechend gefeiert.



Richard Wendler, Jörg Wagler und Martin Dietterle vor der Agora in Athen



Das Amphitheater von Epidavros



Pause während des Ausflugs nach Delphi



Martin Dietterle im sportlichen Wettstreit mit einem Schweizer Teilnehmer

Der folgende Tag zwischen den beiden Klausuren war frei und wir konnten uns die ganze Zeit im Sportcamp aufhalten. Einige nutzten die Gelegenheit, um ins nahe gelegene Loutraki ans Meer zu fahren. Am Nachmittag bereiteten wir uns in unterschiedlichem Maße auf die Theorieklausur vor und wir bewunderten die Ausdauer unserer zypriotischen Zimmerkameraden, die wie schon an den Tagen zuvor bis spät in die Nacht lernten.

Am nächsten Morgen hieß es zeitig aufstehen, da die theoretische Klausur auf 9 Uhr angesetzt war und man einigermaßen wach antreten wollte. Wegen einer verlorengegangenen Aufgabenkopie verschob sich der Beginn um mehr als anderthalb Stunden, die wir voller Erwartung vor der sich langsam aufheizenden Turnhalle verbrachten. Die Theorieklausur selbst bestand aus sehr vielen, nicht übermäßig schweren Aufgaben, die jedoch eine effiziente Zeiteinteilung erforderten.

Am nächsten Tag machten wir eine anstrengende vielstündige Busfahrt durch, um durch das Gelände einer Aluminiumfabrik gefahren zu werden und Delphi zu besichtigen. Am Abend, dem letzten im Sportcamp, war eine Disco organisiert worden. Gefeiert wurden die überstandenen Klausuren, die neuen Bekanntschaften und die Geburtstage von 2 Teilnehmern.

Zurück in Athen besuchten wir am nächsten Tag die Akropolis, wo wir besonders gut die Mittagshitze des griechischen Sommers zu spüren bekamen. Schließlich kehrten wir ins President Hotel zurück. Wegen der zahlreichen Zimmer war hier jedoch die Kommunikation zwischen den Teams erschwert. Einen Treffpunkt bot der Swim-



Die Siegerehrung im offenen Innenhof des Zappeions

mingpool auf der 23. Etage, dem Dach des

Hotels. Hier begegneten wir auch unserem Mentorenteam, mit dem wir die bisherigen Erlebnisse austauschten, jedoch nichts über unsere konkreten Punktzahlen erfahren konnten.

Den Gerüchten unter den Teilnehmern nach hätte mindestens jeder zehnte über 90% erreicht.

Die Zeit bis zur Abschlussveranstaltung am nächsten Abend verbrachten wir mit Ausflügen durch Athen in kleineren Gruppen.

Bei der Abschlusszeremonie im offenen Innenhof des Zappion, dem Athener Kongresszentrum, fand dann auch die feierliche Übergabe der Medaillen und Anerkennungen statt. Die deutsche Mannschaft erreichte in diesem Jahr eine Bronze-, eine Silber- sowie zwei Goldmedaillen. Bei dem anschließenden Essen waren die Kellner äußerst eifrig und stets darauf bedacht, das Austrocknen der Gläser zu verhindern. Danach wurde noch bis spät in die Nacht ausgelassen weiter gefeiert. Mit der Abschlussparty war die 35. IChO in Athen auch schon zu Ende und am nächsten Tag machte sich eine Delegation nach der anderen auf den Heimweg. Die Erinnerung an diese Zeit wird durch die vielen Gastgeschenke, die man bekommen hat, lebendig gehalten.

Dieser gesamte Wettbewerb wäre ohne die vielen engagierten Organisatoren und Helfer beim Entwerfen und Korrigieren von Aufgaben, der Organisation von Landesseminaren und dem Betreuen während der Wettbewerbsrunden nicht möglich. Vielen Dank an alle Beteiligten, insbesondere Dr. Bünder und StD Hampe am IPN Kiel.

Henry Bittig, Martin Dietterle



Das deutsche Team auf der IChO

# Vier-Länder-Wettbewerb 2003 bei der BASF Schwarzheide

Aufgrund guter Ergebnisse bei der ersten Runde durften 16 Zehnt- bis Dreizehntklässler aus Berlin, Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt zum Vier-Länder-Wettbewerb fahren. Am Bahnhof in Ruhland holte uns ein Kleinbus der BASF ab, der uns zum Gelände brachte. Dort begrüßten uns (Betreuer und Schüler) Getränke, Kekse und eine dicke Mappe mit dem Programm für die nächsten Tage: heute der theoretische Einzelwettbewerb, am Mittwoch der praktische Mannschaftswettkampf und dann Bowlen, Restaurant- und Kinobesuch, am Donnerstag Werkrundfahrt, Siegerehrung, Abfahrt.

Voller Motivation stürzten sich alle in die Klausur. Für die Betreuer gab es sogar einen abgeteilten Raum, in dem sie in Ruhe diskutieren konnten, ohne die Schüler zu nerven. Nach fünf Stunden rauchenden Köpfen und dem

Verputzen von diversen schokoladen- und zuckerhaltigen Antidepressiva wurde die theoretische Klausur von allen unbeschadet überstanden. Nun begann der ausschließlich angenehme Teil der Reise: Abends saßen alle zusammen und gingen viel zu spät zu ihren schmucken Zimmern im Gästehaus zurück.

Am nächsten Morgen, nach einem reichhaltigen Frühstück, ging es ab in die Labore. Die Laborarbeit wurde als Mannaschaftswettbewerb, geordnet nach Bundesländern, durchgeführt. Viele Gerätschaften waren den Teilnehmern unbekannt, denn das Schullabor ist doch etwas anders ausgestattet, als ein modernes Labor der BASF. Es sollte ein komplexes Oxalatocuprat synthetisiert werden. Anschließend war der Kristallwassergehalt analytisch zu bestimmen. Die iodometrische Titration gestaltete sich doch schwieriger als gedacht, da der Umschlagspunkt recht



Die Brandenburger Mannschaftssieger, v.l.n.r.: Tobias Schulz, Stephanie Voß, beide Frankfurt/Oder und Mirko Scholz, Henry Bittig, beide Cottbus



Praktisches Arbeiten im Labor der BASF

schwer zu erkennen war. Zum Schluss wurden die Ergebnisse in einer zehnminütigen Präsentation vorgestellt, und jedes Team musste noch zehn Minuten Fragen über sich ergehen lassen. Dabei war auch für Kaffee und Kuchen gesorgt.

Der Abend wurde dann richtig nett. Bowlen, chinesisch Essen, Kino – und wer kein Kino mochte, der durfte auch Billard spielen oder sich anderweitig vergnügen. In den Zimmern der Gästehäuser ging es dann munter weiter, denn ein Leistungsvergleich war am nächsten Tag nicht mehr vorgesehen.

In mehr oder weniger munterem Zustand lauschten alle am nächsten Morgen einem Vortrag über die BASF. Danach gab es eine Werkrundfahrt, bei der wir, ordnungsgemäß mit Schutzbrille und Kittel, eine DNT-Anlage betreten durften. Die kochen-

de Schwefelsäure befand sich in durchsichtigen Glasgefäßen nur wenige Zentimeter von uns entfernt.

Die Siegerehrung war feierlich, die von der BASF gespendeten Preise sehr großzügig. Im Einzelwettbewerb gewann Frank Biedermann (Sachsen-Anhalt) vor Henry Bittig (Brandenburg) und Katharina Scholze (Berlin). Das Mittagessen wurde im Casino der BASF serviert, in das nur Chefs und geladene Gäste dürfen. Dann hieß es leider schon Abschied nehmen.

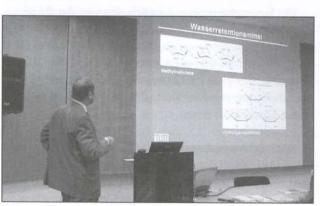
Wir möchten nochmals der BASF, die das alles gesponsert hat, und natürlich den Organisatorinnen Frau Oßowski und Frau Neumann sowie eine ganze Reihe von Azubis, die die Präparate vorbereitet haben, unseren Dank aussprechen.

Katharina Scholze, Thoralf Krahl

## Zwanzig Bayern in Trostberg

In diesem Jahr durften die besten bayerischen Teilnehmer der zweiten Runde für drei Tage nach Trostberg in Südostbayern zur Firma "Degussa." fahren. Nach der Anreise am Mittwoch wurden die Teilnehmer von den Vertretern der "Degussa." herzlich empfangen. Bei einem gemeinsamen Abendessen fand eine erste Kontaktaufnahme unter den Schülern, aber auch zu den Firmenvertretern, sowie den FChO-Mitgliedern Markus Schwind, Svea Graupner und Simon Klüpfel, statt. Am nächsten Tag erfuhren die Teilnehmer Interessantes und Wissenswertes über den Standort Trostberg und den "Degussa."-Konzern. Danach folg-

te ein Rundgang durch das Werk. Am Standort wird aus Carbid Kalkstickstoff (CaNCN) hergestellt, der vielfältige Verwendung als Düngemittel, aber auch als Vorprodukt für Betonzusätze und Pharmazeutika, findet. Besonders beeindruckt waren die Teilnehmer von der Naturstoffextraktionsanlage. Dort ist man in der Lage auf schonende Weise mittels überkritischem CO, Aromen aus z. B. Erdnüssen zu isolieren. Am Nachmittag schlossen sich unterhaltsame, informative und kurzweilige Vorträge über die Naturstoffextraktion, die Technik und Chemie der firmeneigenen Kläranlage und die Kalkstickstoffchemie an. Gewaltigen Eindruck erweckte insbesondere das Kompetenzzentrum Bauchemie der TU München, das im Anschluss besucht wurde. Den Tag schloss eine Diskussionsrunde ab, zu der auch der Standortleiter Dr. Gamon gekommen war. Die Schüler erfuhren hier wertvolle Insiderinformationen über das Chemiestudium und den Werdegang eines Chemikers in der Industrie.



Professor Plank bei seinem Vortrag über Bauchemie



Herstellung von Benzoesäure im Ausbildungslabor von Degussa

Besonderen Zuspruch fand das praktische Arbeiten am nächsten Tag. Im Ausbildungslabor wurde, ausgerüstet mit Labormantel und Brille und unterstützt von Ausbildern und Azubis der "Degussa.", Benzoesäure hergestellt. Nach dem erfolgreichen Abschluss der eigenen Experimente durften die Chemie-Olympioniken zusammen mit geladenen Gästen einem Experimentalvortrag über Bauchemie von Prof. Plank (TU München) zuhören und zusehen. Das "Zauberbier" wird jedem Teilnehmer in Erinnerung bleiben.

Ganz besonders freuten sich die Schüler auch über das Erinne-

rungsgeschenk der "Degussa." ein Lehrbuch der organischen Chemie samt Schultertasche. Bei einem anschließenden Imbiss nutzten die Jungchemiker die Möglichkeit, mit Chemikern ins Gespräch zu kommen, rege. Der dritte Vormittag wurde traditionell zum Bearbeiten und Besprechen von ausgewählten Aufgaben aus vergangenen Chemie-Olympiaden genutzt. Nach diesem abwechslungsreichen und äußerst interessanten Programm traten die Schüler ihren Heimweg an – ausgestattet mit einmaligen Erlebnissen und Erfahrungen.

Die Gruppe möchte sich auch hier nochmals herzlich bei der Degussa für drei außergewöhnliche Tage bedanken, die zur weiteren Beschäftigung mit chemischen Problemen motivierten und die Begeisterung für die Chemie steigerten.

Michael Hell



Die Teilnehmer des Landesseminars beim Aufgabenrechnen im Hotel

# Forschung für Schüler – mittendrin statt nur dabei.

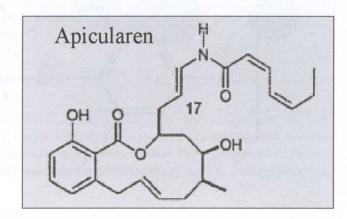
Das Projekt "Schnupperpraktika" des Fördervereins Chemie-Olympiade ist seit etwa sieben Jahren ein fester Bestandteil unserer Nachwuchsförderung. Bei diesem Projekt haben die 60 Teilnehmer der 3. Runden der IChO die Möglichkeit, ein zweiwöchiges Praktikum an einem Max-Planck-Institut, einem Arbeitskreis an einer Universität oder in der Industrie zu machen.

Letztes Jahr nahmen 18 Teilnehmer diese Chance wahr, schon sehr früh in ihrer angehenden Karriere einmal Forschungsluft zu schnuppern bzw. einen Einblick in industrielle Arbeitsweisen zu erlangen. Die Kosten der Praktikanten für Anfahrt und Unterkunft übernahm auch in diesem Jahr wieder der FChO bzw. der Fonds der chemischen Industrie.

Wie läuft ein solches "Schnupperpraktikum" ab? Die Schüler haben einen Betreuer im jeweiligen Institut und bekommen einen Überblick über die dort ablaufende Forschung und können soviel wie möglich praktisch im Labor mitarbeiten. Der genaue Ablauf wird je nach Interessen des Praktikanten und den Gegebenheiten des Instituts

angepasst. Am Ende des Praktikums wird ein Bericht verfasst, anhand einiger dieser Berichte soll im Folgenden ein Einblick in die bearbeiteten Themen gegeben werden:

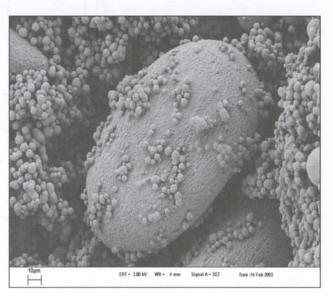
Bei den Schnupperpraktika bei Prof. Dr. Martin E. Maier im Bereich Organische Chemie an der Universität Tübingen etwa können die Teilnehmer seit vielen Jahren das Praktikum weitestgehend nach ihren Fähigkeiten und Interessen gestalten: Nach dem Durchführen klassischer Reaktionen wie Jones-Oxidation, Michael-Addition und Grignardreaktionen hat dieses Jahr Alexander Kuhn unter anderem das symmetrische Trypticen mittels Diels-Alder-



Reaktion aus Anthracen und dem aus Anthranilsäure mittels Diazotierung erhaltenen Arin hergestellt und mit <sup>13</sup>C-NMR und <sup>1</sup>H-NMR identifiziert sowie das Antiepilektikum Phenytoin synthetisiert.

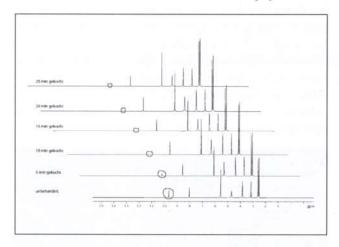
Als besonderes Highlight durfte er einen Schritt eines aktuellen Forschungsgebietes, der Synthese des Naturstoffs Apicularen, der gegen Krebs wirksam ist, kochen.

Am Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Golm in der Abteilung für Kolloidchemie von Prof. Markus Antonietti lernte Jana Weinberg bei Dr. Tauer verschiedene Oberflächen-Analysemethoden kennen. Unter anderem mittels Dynamic Light Spectroscopy, Atomic Force Microscopy und Scanning Electron Microscopy (SEM) wurde die Partikelgröße des bei verschiedenen Tensidmengen durch Polymerisierung erhaltenen Polystyrols bestimmt.



Bei der SEM werden Proben im Vakuum mit einem Elektronenstrahl beschossen und die von der Oberfläche in Rückwärtsrichtung austretenden Elektronen detektiert und ausgewertet. Untenstehende SEM-Aufnahme zeigt einen etwa 200  $\mu$ m großen Polystyrol-Partikel sowie viele etwa 4  $\mu$ m große Partikel.

Ein weiteres sehr interessantes Projekt wurde von Martin Enderlein am Max-Planck-Institut für biophysikalische



Chemie in Göttingen in der Abteilung für NMR-basierte Strukturbiologie von Prof. Christian Griesinger durchgeführt:

Die Anfälligkeit des Vitamins B<sub>1</sub> (siehe Grafik mit NMR-Verschiebungen) hinsichtlich Erhitzens, UV- und Mikrowellenstrahlung wurde mit NMR-Spektroskopie untersucht. In den <sup>13</sup>C-Spektren ergaben sich keine Veränderungen, die <sup>1</sup>H-NMR Spektren ergaben, dass lediglich das H-Atom mit der größten chemischen Verschiebung (am C2

des Fünfrings, siehe Spektrum) im Lösungsmittel  $D_2O$  bei Mikrowellenbestrahlung und Erhitzen, nicht jedoch bei UV-Strahlung, ausgetauscht wird. Vitamin  $B_1$ -haltige Nahrung bleibt also auch nach dem Kochen, Erhitzen in der Mikrowelle oder anderen Verarbeitungsformen gesund.

Anhand der hier vorgestellten drei Schnupperpraktika, die selbstverständlich nur einen kleinen Ausschnitt aus der Vielfalt der bearbeiteten Themen bieten, ist ersichtlich, dass diese Praktika auf einem hohen Niveau ablaufen. Auch die oft über zehnseitigen Berichte, in denen meist detailliert auf theoretische Hintergründe eingegangen wird, zeugen von der Motivation und dem Wissen der Teilnehmer und vor allem auch von der Bereitschaft der verschiedenen Institutionen, ihren Praktikanten ein interessantes und gut betreutes Praktikum zu bieten. Dieser letzte Punkt wurde von allen Schnupperpraktikanten in ihren Berichten erwähnt und deshalb möchte ich auch an dieser Stelle den beteiligten Institutionen herzlich für ihre Unterstützung danken.

Ab dem nächsten Jahr ist Timo Gehring für die Koordination der Schnupperpraktika verantwortlich und wird mit der erneuten Unterstützung durch Jörg Braun und Simon Klüpfel dieses Projekt weiterführen. Den genannten FChO-Mitgliedern möchte ich hier ebenfalls für ihre große Unterstützung danken. Wer Interesse hat, bei der Organisation mitzuhelfen, oder wer einen neuen Platz für ein Praktikum anbieten kann, meldet sich bitte bei Timo: mail@timogehring.de.

Christoph Lönarz (Kontakt: christophloenarz@gmx.de) Studium: Chemie Diplom in Tübingen, 4. Semester

## Workshop in Leipzig 2004



Leipzig von seiner schönsten Seite: Das alte Rathaus.

Der diesjährige Workshop des Fördervereins stand unter dem besonderen Stern der 2004 in Kiel stattfindenden 36. IChO. Daher traf man sich in Leipzig auch nicht wie gewohnt am Donnerstag Abend, sondern viele Teilnehmer reisten bereits am Mittwoch, dem 07.01.04 an. Traditionell wurde dieser erste gemeinsame Treff genutzt, um in einer gemütlichen Kneipe, dem "Spizz", Freunde zu begrüßen und Neuigkeiten auszutauschen.

Obwohl bereits 1999 der Workshop in Leipzig stattgefunden hatte, gab es neben einem interessanten und abwechslungsreichen Programm auch für die "alten Hasen" viel Neues zu entdecken. Nicht nur die Jugendherberge trumpfte mit renovierten Räumen auf, auch die Chemiefakultät der Uni präsentierte sich in vollkommen neuen Räumlichkeiten. Der Donnerstag startete mit ver-

schiedensten Vorträgen der Teilnehmer. Nachdem sich das Leipziger Team vorgestellt und der Vorstand ganz offiziell den Workshop eröffnet hatte, machte Hendrik Heinz mit dem Thema: "Materialien verstehen mit Hilfe atomistischer Simulation?" den Anfang. Es folgten Cordula Klockenbusch, die über nicht-ribosomale Peptidsynthese sprach, sowie Martin Dietterle und Henry Bittig, die, eingeleitet durch einige Bilder

von Jörg Wagler, über ihre Erlebnisse bei der 35. IChO in Griechenland berichteten. An dieser Stelle noch einmal meinen herzlichen Glückwunsch zu den Spitzenergebnissen des deutschen Teams! Vor der Mittagspause referierte Stephan Schäfer zu "Einzelmolekülspektroskopie in zellulären Systemen".

Der Nachmittag bestand aus interessanten Einblicken in die Arbeits- und Freizeitwelt der Vorstandsmitglieder Max Hofmann und Christoph Jacob. Max stellte in einem "Blick hinter die Kulissen" die Arbeit im FChO vor und Christoph überzeugte mit seinen Fotos alle davon, dass Neuseeland eine Reise wert ist.

Sehr spannend wurde es nach der letzten Kaffeepause. "Olympia in Leipzig?", ein Vortrag der Olympia GmbH,

stand auf dem Programm. Auch wenn ich als Neuleipzigerin natürlich vorher schon mit dem Gedanken an die Olympiade in Leipzig gespielt hatte, nach der wirklich guten Präsentation des Konzepts und der Ideen waren sicher noch einige mehr von der Vorstellung begeistert.

Abends traf man sich in den diversen Restaurants und Kneipen, ging ins Kabarett, fieberte



Special Guest beim Workshop 2004: Prof. Dr. Helmut Schwarz (TU Berlin)

## Workshop in Leipzig, 07. bis 11. Januar 2004

mit der deutschen Mannschaft bei der Olympiaqualifikation im Volleyball oder begab sich auf die Suche nach einem der legendär preisgünstigen Döner der Stadt.



Imbiss nach dem Festvortrag: Prof. Schwarz und FChO

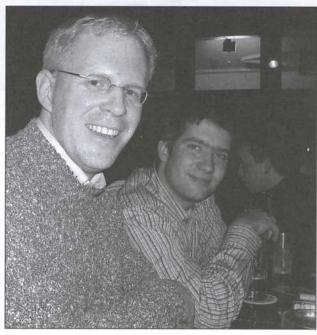
Am Freitag war es nun soweit – die Herren der IChO, Dr. Wolfgang Bünder und Wolfgang Hampe, luden zum "IChO-Vorbereitungstreffen". In einer dreistündigen Besprechung wurden das Programm und die Unterbringung vorgestellt, die Länderverteilung der Guides bekanntgegeben und viele Fragen beantwortet. Toi, toi, toi, dass alles so klappt wie geplant! Man darf gespannt sein!

Alexej Michailovski ("Synthese und Eigenschaften von Übergangsmetalloxid – Nanorods"), Stephan Hannemann ("Expertenentscheidungen unter Unsicherheit") und Jan- Dierk Grunwaldt ("Reaktionen in 'überkritischem' CO<sub>2</sub> – eine Alternative zu klassischen Lösungsmitteln?") kamen am Nachmittag mit ihren Vorträgen zu Wort und Matthias Grießner, der stellvertretende Vorsitzende des Fördervereins der Biologie-Olympiade, gewährte den älteren Mitglieder des FChO noch einmal einen Blick auf die Schwierigkeiten bei der Gründung und Etablierung eines solchen Vereins. Historiker und Freunde der Geschichtsdaten kamen am Abend bei einem Stadtvortrag auf ihre Kosten. Kleiner Tipp für die Organisatoren des nächsten Workshops: Kurz und knackig ist wohl doch manchmal besser als lang und professionell.

Anknüpfend an den Vortrag des Vorabends hatte man am Samstag Vormittag die Möglichkeit, das Gehörte nun auch live bei einer Stadtführung zu verinnerlichen. Ganz wagemutige Frühaufsteher konnten sich vorher bereits einen guten Überblick über Leipzig verschaffen und unter fachkundiger Anleitung des Olympiabeauftragten die Stadt hoch oben vom Uniriesen (142 m) aus betrachten. Angeboten wurden zwei Stadtführungen: "Leipzig erleben", eine Führung eher allgemeiner Art und "Herbst 89", die sich mit den Vor-Wende-Aktivitäten wie z. B. den berühmten Montagsdemonstrationen befasste. Bei leichtem Nieselregen konnten auch die Leipziger ihre Kenntnisse über die Stadt überraschend erweitern.

Der Nachmittag war traditionell dem öffentlichen Veranstaltungsteil gewidmet. Hierzu wurde dieses Jahr Prof. Dr. Helmut Schwarz von der TU Berlin als Ehrengast eingeladen. Seine Darlegungen über "Elementarschritte in der Katalyse: Experiment und Theorie im Wechselspiel" überzeugten nicht nur die Workshop-Teilnehmer, sondern auch die externen Gäste. Im Namen des FChO an dieser Stelle noch einmal ein großes Dankeschön an Professor Schwarz! Ebenso geht unser Dank an Professor Kirmse von der Universität Leipzig, der in einem erfrischenden Experimentalvortrag die Luft in ihre Einzelteile zerlegte.

Anschließend hieß es beim Buffet Energie tanken, denn der Abend verlangte einiges ab: Bei "Olympia 2012 – live" war Sport frei angesagt. Bei witzigen Staffelspielen, Brennball und Völkerball erkämpfte sich das Siegerteam eine



Christoph Kiener und Christoph Jacob beim gemütlichen Teil des Workshops.

Riesenflasche Sekt, während die Nächstplatzierten mit der normalen Größe vorlieb nehmen mussten. Aber frei nach dem olympischen Geist wurde am Ende sowieso alles brüderlich geteilt!

Den Abschluss des Workshops 2004 bildete, wie in jedem Jahr, die Mitgliederversammlung in den Räumen der Jugendherberge. Die laufenden Projekte wurden besprochen, neue Ideen vorgestellt und beim anschließenden Umtrunk diskutiert.

Das Team Leipzig bedankt sich bei allen Mitgliedern für die rege Teilnahme! Wir freuen uns auf ein Wiedersehen bei der IChO in Kiel und dem Workshop im nächsten Jahr!

Judith Hierold

# Das »International PhD Programme« am European Molecular Biology Laboratory

Auch nach einigen Jahren in Heidelberg hatte ich vom European Molecular Biology Laboratory (EMBL) recht wenig mitbekommen. Das liegt vor allem daran, dass sich das EMBL nicht direkt in Heidelberg befindet, sondern etwas versteckt mitten im Grünen am Rande des Rohrbacher Waldes liegt. Der schöne Ausblick auf Heidelberg und ein netter Biergarten ganz in der Nähe locken jedes Wochenende eine beachtliche Zahl von Heidelbergern zum Wandern und Erholen in diese Gegend. Ansonsten kommt es eher selten

vor, dass man sich dorthin verirrt. So erging es auch mir, und es ist auch nur einem Zufall zu verdanken, dass ich auf das EMBL aufmerksam wurde. In März 2002 schrieb mir ein Freund, den ich schon eine ganze Weile nicht mehr gesehen hatte, dass er sich am EMBL für eine Promotionsstelle im Bereich der Strukturbiologie beworben hatte und in einigen Wochen für die Interviews nach Heidelberg kommen würde. Natürlich wollten wir die Gelegenheit nutzen uns zu treffen und da bot sich die Party am Ende der Admission Week gerade zu an. Es war wirklich eine nette Party und von den Leuten, die ich im Verlauf des Abends kennen lernte, erfuhr ich, dass das EMBL nicht nur für Biologen interessant ist. Aus reiner Neugier schaute ich mir am nächsten Tag die Webpage des Instituts an um mich genauer zu informieren und erfuhr folgendes:

Gegründet wurde das Institut 1974 von 14 europäischen Ländern und Israel mit dem Ziel, ein europaweites Forschungszentrum für die Grundlagenforschung im Bereich der Biowissenschaften zu schaffen. Weitere Ziele sind die Bereitstellung von Serviceleistungen für Wissenschaftler (z.B. Datenbanken), ein Aus- und Weiterbildungsprogramm für Studenten und Gastwissenschaftler und die Entwicklung von Instrumenten für die biologische Forschung.



Blick auf das European Molecular Biology Laboratory.

In den folgenden Jahren haben sich fünf weitere Länder angeschlossen und es wurden mehrere Aussenstellen gegründet. Die Aussenstelle Grenoble befindet sich auf dem Gelände der European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) und dem Institut Laue Langevin (ILL). Die Aktivitäten umfassen Forschung und strukturbiologische Serviceleistungen an den Synchrotron und Neutonenstrahlenbahnen. Die Aussenstelle in Hamburg steht auf dem Areal des Deutschen Elekronen-Synchrotrons (DESY), wo die weltweit

ersten Versuche mit Synchrotronstrahen für biologische Forschung ausgeführt wurden. Das Europäische Institut für Bioinformatik (EBI) ist dem Welcome Trust Human Genome Campus in der Nähe von Cambridge angegliedert. Am EBI befinden sich mehrere Forschungsgruppen. Zudem werden von dort aus einige der weltweit größten Datenbanken für DNA und Proteinsequenzen, Proteinstrukturen und Microchipdaten gepflegt und betrieben. In Monterotondo, in der Nähe von Rom, befindet sich die neueste Aussenstation. Dort konzentriert man sich auf Entwicklungsbiologie und Genetik im System der Maus. Die Forschung im Hauptlaboratorium in Heidelberg ist auf fünf Programme verteilt die aus zehn bis fünfzehn Arbeitsgruppen bestehen: Zellbiologie und Biophysik, Entwicklungsbiologie, Sturkturbiologie und Biocomputing, Genexpression und Biochemical Instrumentation.

Beim Durchsehen der Forschungsgebiete der einzelnen Arbeitsgruppen stellt man schnell fest, dass das Erfolgsrezept der Arbeit am EMBL seine Interdisziplinarität ist. Dabei wird ein facettenreiches Spektrum von Forschungsmethoden und Techniken angewendet, um unterschiedlichste biologische Fragestellungen zu lösen. Ich fand mehrere Arbeitgruppen im Hauptlabor in Heidelberg, deren Arbeitsgebiete mein Interesse weckten. Am besten gefiel mir

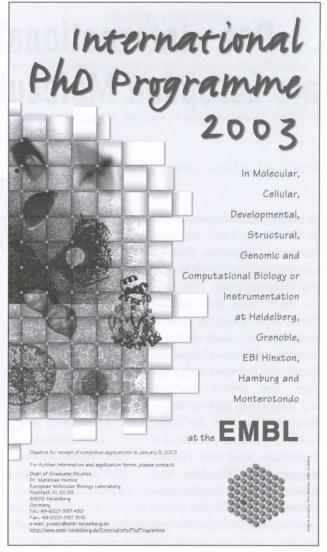
## Das »International PhD Programme« am EMBL

die Arbeitsgruppe von Dr. Carsten Schultz, aus dem Gene Expression Programme mit dem Forschungsschwerpunkt Bioorganic Chemistry of Signaling Molecules. Aber auch im Biochemical Instrumentation Programme wurde ich fündig.

Auf der Webpage des Instituts finden sich auch ausführliche Informationen über das Bewerbungsverfahren für das International PhD Programme. Neben den üblichen Dokumenten ist der Bewerbung noch ein Aufsatz beizufügen, in dem man darlegen soll, welches Forschungsgebiet der Life Sciences man am faszinierendsten findet. Eine Besonderheit beim Bewerbungsprozess ist auch, dass man sich nicht direkt für einzelne Arbeitsgruppen bewerben kann, sondern nur für die verschiedenen Forschungsprogramme. Ende Dezember schickte ich meine Bewerbung für das Gene Expression und Biochemical Instrumentation Programme ab und erhielt erfreulicherweise schon wenige Wochen später die Einladung zur Admission Week.

Die Admission Week fand Ende März statt. Nach der Begrüßung durch den Studiendekan Dr. Matthias Hentze und den Instituts Direktor Prof. Dr. Fotis Kafatos am Montag Nachmittag stand der Rest des Tages zum gegenseitigen kennen lernen zur Verfügung. Ingesamt waren ca. 80 Bewerber aus ganz Europa eingeladen. Die Atmosphäre unter den Bewerbern war freundlich und auch beim gemeinsamen Abendessen mit den Gruppenleitern herrschte eine gute Stimmung. Von Dienstag bis Mittwoch fanden die Interviews mit den Gruppenleitern aus den Programmen statt, für die man sich beworben hatte. Nach zwei anstrengenden Tagen stand der Donnerstag Vormittag zur freien Verfügung. An Ausruhen war allerdings nicht zu denken, da man bis zum Mittag angeben musste, in welchen fünf Arbeitsgruppen man am liebsten arbeiten würde. Wie die meisten anderen Bewerber nutzte auch ich diesen Vormittag, um die für mich interessantesten Arbeitsgruppen noch einmal genauer unter die Lupe zu nehmen. Da ich schon einen Favoriten hatte, und meine guter Eindruck auch beim genauerem Hinsehen bestätigt wurde, konnte ich meine "Wunschliste" sogar ein paar Stunden früher abgeben.

Beim Mittagessen war allen die Aufregung anzumerken. Auch die hervorragenden Kochkünste des Kantinenpersonals konnten unsere Gedanken kaum vom unmittelbar bevorstehen Final Admission Assessment ablenken. In diesem Gespräch, bei dem Wissenschaftler aus allen Programmen anwesend sind, wird das Fachwissen der Studenten geprüft. Das Abschneiden in dieser Prüfung spielt eine entscheidende Rolle bei der Vergabe der Promotionsstipendien. Natürlich kursierten im Vorfeld unzählige Geschichten mit stark variablem Wahrheitsgehalt, die nicht gerade einen beruhigenden Effekt hatten. So war ich sehr froh, dass ich für einen frühen Termin eingeteilt war und kaum noch Zeit hatte mir Sorgen zu machen. Das erste



Werbeplakat für das International PhD Programme

Themengebiet durfte ich auswählen und ich entschied mich für Enzymmechanismen. Danach ging es schnell weiter mit Fragen zur Signalübertragung, Transkription und Translation. Auch Proteinstrukturen und Methoden zu deren Bestimmung wurden angesprochen. Schließlich landeten wir bei der Zelldifferenzierung, und ich war nicht richtig unglücklich, dass für dieses Gebiet nur sehr wenig Zeit verblieb. Obwohl die Fragen nicht einfach waren und das Thema immer sehr abrupt gewechselt wurde, hatte ich nie den Eindruck, dass mir die Prüfer feindlich gesonnen waren. Der Hintergrund der Bewerber wird selbstverständlich berücksichtigt und von Informatikern, Chemikern oder Physikern wird nicht das gleiche Detailwissen wie von Biologen erwartet. Dennoch ist es wichtig, dass man auch als Exot ein fundiertes Grundwissen der Biologie mitbringt und die Bereitschaft zeigt, sich intensiver in dieses Gebiet einzuarbeiten.

Mit dem Final Admission Assessment war dann der anstrengende Teil geschafft und wir freuten sich auf die

## Das »International PhD Programme« am EMBL

wohlverdiente Abschiedsparty. Gefeiert wurde bis spät in die Nacht. Während am nächsten Morgen die meisten Studenten noch in ihren Betten lagen, berieten die Gruppenleiter schon, wer eines der begehrten Promotionsstipendien erhalten sollte. Gegen die Mittagszeit trafen dann auch die letzten Nachtschwärmer am Institut ein. Die Zeit bis zur Verkündung der Ergebnisse am Nachmittag verging im Schneckentempo, und jeder war erleichtert als endlich Dr. Matthias Hentze mit einem großen Karton voller Briefe in die Cafeteria betrat. Nach einer kurzen Ansprache wurde jedem Teilnehmer ein Brief überreicht. Obwohl ich nach den Interviews ein recht gutes Gefühl hatte, war ich ehrlich gesagt doch überrascht, als mir ein Platz im International PhD Programme angeboten wurde. Den Eindruck, den ich während der Interview Woche von EMBL bekommen hatte, war durch und durch positiv, und meine Entscheidung, das Angebot anzunehmen, stand bald fest. Die spannende interdisziplinäre Forschung, die sehr angenehme Arbeitsatmosphäre und das internationale Umfeld in Kombination mit der guten finanziellen Ausstattung des Instituts haben mich voll überzeugt.

Den Beginn meiner Promotion legte ich auf den Sommer. Bis dahin galt es noch gemeinsam mit meinem zukünftigen Chef ein Projekt auszuwählen. Das Spektrum der Projekte in seiner Arbeitsgruppe reicht von rein molekularbiologischen bis hin zu vorwiegend chemischen Projekten. Nach einigem Überlegen entschied ich mich für eines der chemischsten Projekte, bei dem es um die Synthese von membrangängigen Phospholipidderivaten zum Studium von Signalübertragungs Prozessen geht.

Von Oktober bis November wurde die Laborarbeit durch den *Predoc Course* unterbrochen. An diesem achtwöchigen Kurs nehmen alle neuen Doktoranden teil. Der Kurs besteht aus Praktika und Vorträgen und vermittelt einen guten Gesamtüberblick über die Forschung am Institut. Zusätzlich stehen auch Vorträge zu Themen wie Bioethik oder Patentrecht auf dem Programm. Während des gesamten Kurses wird viel Wert auf Gruppenarbeit gelegt und so bietet sich der Kurs nicht nur zum Erwerb von Fachwissen an, sondern auch zum gegenseitigen kennen

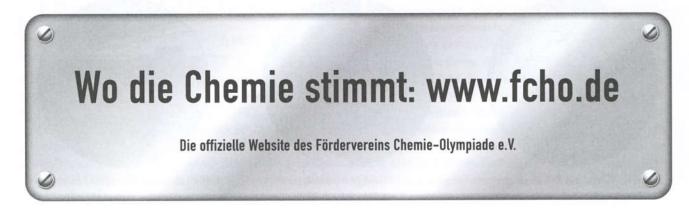
lernen. Während des Kurses findet auch ein mehrtägiger Besuch bei einer der Aussenstellen und ein gemeinsames Abendessen mit Prof. Fotis Kafatos statt. Zum Ausklang des Kurses organisieren die neuen Doktoranden eine Party, zu der das ganze Institut eingeladen ist.

Nach dem Predoc Course dauerte es ein paar Tage bis ich mich wieder an den Laboralltag gewöhnt hatte. In den folgenden Wochen musste ich mich dann um die Zusammenstellung meines Thesis Advisory Committee kümmern. Es setzt sich aus seinem Arbeitsgruppenleiter, zwei weiteren EMBL Gruppenleitern und einem externen Mitglied (meistens ein Universitätsprofessor) zusammen und überprüft in regelmäßigen Abständen den Fortschritt der Promotion. Beim ersten Treffen (Qualifiying Assessment), das neun Monate nach dem Eintrittstermin stattfindet, stellt man sein Forschungsprojekt vor und präsentiert die bis dahin erzielten Ergebnisse. Anschließend wird erörtert, ob es sich vom Anspruch und Umfang her um ein geeignetes Projekt für die Dissertation handelt und ob realistische Erfolgaussichten bestehen. Sollte das nicht der Fall sein, muss man drei Monate später ein neues Projekt präsentieren. Weiterhin wird im Qualifying Assessment besprochen, ob man eine gute Betreuung von seinen Gruppenleiter bekommt. Während dieser Zeit ist der eigene Chef nicht anwesend.

Zum Schluss bleibt noch zu erwähnen, dass das EMBL auch ein attraktives Freizeitangebot bietet. Angefangen beim Climbing Club über den Theater Club bis hin zum Reading Club ist für jeden Geschmack etwas Passendes dabei. Für Wintersportfans werden Skifreizeiten angeboten, und wer nicht auf den Schnee warten möchte, kann sich im Waterskiing Club schon mal ein wenig auf die Skisaison einstimmen.

Zusammenfassend kann ich sagen, dass am EMBL die Verbindung von ausgezeichneten Forschungsbedingungen mit einer guten Arbeitsatmosphäre gelungen ist. Mir gefällt es nach wie vor sehr gut und ich bin mir sicher, dass es eine gute Entscheidung war, ans EMBL zu gehen.

Sirus Zarbakhsh



# Innovation Bildung: Der FChO auf der ACHEMA 2003

Alle drei Jahre passiert es: Die ACHE-MA. Diese weltweit größte Messe für Chemie und Anlagenbau fand zum 27. mal vom 19. bis 24. Mai 2003 auf dem Messegelände in Frankfurt am Main statt und zog knapp 4000 Aussteller aus 48 Ländern und nahezu 200.000 Besucher an. Vertreten waren Firmen, Forschungsinstitute und Vereine aus den Bereichen Anlagenbau, Mess-, Regel und Prozessleittechnik, sowie Pharmatechnik, Biotechnologie, Forschung, Innovation und Literatur/ Information. Einer dieser vielen Aussteller war der Förderverein Chemie-Olympiade e.V., der, wie auch vor 2000 und 1997, mit einem Stand vertreten war.

Mit einem neuen Konzept hat sich der FChO dieses mal in einem frischen Design präsentiert. Ziel war es, einen professionellen Messestand mit kleinem Budget zu realisieren und eine einfache Wieder-

verwendbarkeit der Präsentationswände zu gewährleisten. Nach der Idee von Christoph Kiener wurden diverse Stoffbanner entworfen, die sich vielseitig einsetzen lassen, da jeweils zwei bis drei Banner einen einheitlichen Themenblock bilden und somit frei kombinierbar sind. Auf insgesamt 13 Bannern stellte der FChO den Verein selbst, die Chemie-Olympiade und die Experimental-Wettbewerbe für die Mittelstufe vor. Besonders im Fokus lag dazu die 36. Internationale Chemie-Olympiade, für die im Sommer 2004 Deutschland Gastgeberland sein wird. Das Design wurde von Birgit Maier, Studentin im Fach Kommunikationsdesign der Muthesius-Hochschule in Kiel.



Banner des FChO

Während der Messe betreuten diverse Mitglieder des FChO den Stand. Sie kümmerten sich um die Interessenten, die sich zahlreich nach den Aktivitäten des FChO erkundigten. So konnten nicht nur alte Kontakte aufgefrischt, sondern auch viele neue geknüpft werden. Unter dem Motto "Begeisterung wecken - Begabung fördern" präsentierte sich der FChO nicht nur als ein Verein für elitäre Minderheiten, sondern insbesondere auch als Impulsgeber für die allgemeine Förderung des chemischen Nachwuchses. Dass hierzu die richtige Zielgruppe angesprochen werden konnte, zeigte sich durch die mehr als 8000 Schüler, die die diesjährige ACHEMA besuchten. Dies war ein Zuwachs von 37% gegenüber der letzten ACHEMA. Am Ende konnten alle von einem überzeugten Auftritt des FChO auf der 27. ACHEMA sprechen und wir blicken zuversichtlich auf die nächste

Veranstaltung im Jahr 2006.

Ein ganz herzlicher Dank geht hiermit nochmals an alle Helfer und besonders an die finanziellen Unterstützer, ohne die dieses Projekt nicht möglich gewesen wäre. Insbesondere sind dies die Klaus Tschira Stiftung, die Bayer AG mit einer allgemeinen Spende, sowie die DECHEMA – übrigens ein institutionelles Mitglied im FChO – die den Standplatz sowie den Basis-Messestand dem FChO auch dieses Jahr wieder kostenlos zur Verfügung stellte

Max Hofmann



Christoph Kiener beim Aufhängen der Banner



Wichtige Moleküle am Stand des FChO



Halle 1.2, Stand D12: Der Förderverein Chemie-Olympiade e.V.

## Schaltkreise aus Plastik: Elektronik jenseits von Silizium

## Wie alles anfing und wo es hin soll

Seit der Erfindung des Transistors 1947 durch Bardeen, Brattain und Shockley (Nobelpreis 1956) an den Bell Laboratories bestimmen elektronische Bauelemente auf der Basis von Silizium unseren Alltag. Immer schnellere und leistungsfähigere Prozessoren werden alljährlich produziert und immer kleinere Chips sind in den verschiedensten Produkten integriert. Doch diese Technologie hat auch ihre Nachteile. Der Reinigungs- und Verarbeitungsprozess für anorganische Halbleiter wie Si oder GaAs ist sehr aufwendig und teuer. Die weitere Verarbeitung zu Schaltkreisen erfordert Reinraumbedingungen, zum Teil hohe Temperaturen und aufwendige photolithographische Strukturierungen. Billigere und leichter zu verarbeitende Materialien,

Abb. 1:

Organische Halbleiter für Feldeffekt Transitoren: a) Pentacen, b) Poly(9,9-dioctylfluoren-alt-bithiophen) F8T2, c) Poly(3-he-xylthiophen) P3HT. Organische Halbleiter für Leuchtdioden d) Aluminumtris(8-hydroxychinolin) AlQ<sub>3</sub>, e) Poly[2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-1,4-phenylenvinylen] MEH-PPV. Leitfähige Polymere als Elektrodenmaterial: f) Poly(3,4-ethylendioxythiophen) (PEDOT) dotiert mit Poly(styrensulphonsäure) (PSS).

die z. B. flexible, großflächige und billige Displays oder wegwerfbare elektronische Etiketten praktikabel machen könnten, wären von großem Vorteil. Mit der Entdeckung leitfähiger Polymere 1977 durch Heeger, MacDiarmid und Shirakawa (Nobelpreis 2000) und wenig später halbleitender Polymere und anderer organischer Halbleiter wurde in den letzten Jahren ein ganz neues Feld der Elektronik eröffnet, das genau dies ermöglichen könnte.

Als Anwendungen für organische Halbleiter bieten sich vor allem Leuchtdioden (LED), Solarzellen sowie Dünnschichttransistoren (TFT) an. Obwohl die Leistungsfähigkeit organischer Materialien deutlich geringer ist als die ihrer anorganischen Konkurrenten, könnten die geringeren Produktionskosten dies ausgleichen und in bestimmten Gebieten den entscheidenden Vorsprung bieten.

## Organische Halbleiter - kurz oder lang

Man kann bei organischen Halbleitern im wesentlichen zwischen kleinen Molekülen und Polymeren unterscheiden. Während Halbleiter wie Pentacen oder AlQ<sub>3</sub> (Abb. 1) als dünne Schichten auf ein Substrat im Vakuum aufgedampft werden müssen, kann man polymere Halbleiter wie z. B. MEH-PPV bequem mit einem geeigneten Lösungsmittel auf ein Substrat aufschleudern, was aus industrieller Sicht wesentlich attraktiver ist. Beide Prozesse sind jedoch billiger als konventionelle Siliziumtechnologie. Da keine hohen Temperaturen benötigt werden, sind sie auch geeignet für flexible Substrate wie z. B. Plastikfolie, was papierartige Displays ermöglichen könnte.

Abb. 1 zeigt einige Beispiele für organische Halbleiter und leitfähige Polymere. Sie alle haben ein ausgedehntes  $\pi$ -Elektronensystem, was zu einer geringen Energielücke zwischen den energetisch höchsten besetzten (HOMO) und den niedrigsten unbesetzten (LUMO) Orbitalen führt. Dies äußert sich u. a. darin, dass viele dieser Materialien Licht im sichtbaren Bereich absorbieren. Moleküle mit ausgedehnten  $\pi$ -Elektronensystem können recht leicht ein Elektron aufnehmen oder abgeben (je nach Elektronenaffinität bzw. Ionisierungsenergie) und diese zusätzliche Ladung stabilisieren. Sind die Moleküle in einem Kristall dicht gepackt, können injizierte Ladungen von einem zum anderen Molekül übertragen werden. In halbleitenden Polymeren werden Ladungen zunächst entlang der Kette durch das

ausgedehnte π-Elektronensystem transportiert, bevor sie auf die nächste Polymerkette überspringen. Dieser Prozess wird meist als hopping beschrieben und unterscheidet sich grundlegend vom Ladungstransport in anorganischen Halbleiterkristallen, der über delokalisierte Zustände in Bändern stattfindet. Der Ladungstransport durch hopping ist wesentlich ineffektiver und langsamer als Bandtransport, was dazu führt, dass organische Halbleiter deutlich geringere Mobilitäten aufweisen als z. B. Siliziumeinkristalle. Die Mobilität µ beschreibt wie schnell sich Ladungsträger in einem elektrischen Feld E gerichtet fortbewegen  $(v = \mu E, \text{ Einheit: cm}^2/\text{Vs})$ . Insbesondere für Transistoren ist dies eine entscheidende Größe, je höher die Mobilität desto schneller kann man einen Transistor an- oder ausschalten. Moderne Hochleistungstransistoren auf der Basis von GaAs/AlGaAs, wie sie in der Hochfrequenztechnik angewendet werden, erreichen Mobilitäten von 10<sup>6</sup> cm<sup>2</sup>/Vs. Amorphes Silizium, das für Dünnschichttransistoren in TFT-Bildschirmen eingesetzt wird und ebenfalls auf den Ladungstransport durch hopping angewiesen ist, bringt es dagegen lediglich auf 1 cm<sup>2</sup>/Vs. Dies reicht jedoch aus, um die Pixel in einem Laptopdisplay ausreichend schnell an und aus zu schalten und gerade in diesem Bereich könnten organische Halbleiter die traditionellen Materialien ersetzen oder ergänzen.

### Leuchtdioden: Elektron + Loch = Licht

Die Entwicklung organischer Leuchtdioden ist bis jetzt am weitesten fortgeschritten. So gibt es bereits seit mehreren Jahren Farbdisplays auf der Grundlage von molekularen Halbleitern wie AlQ<sub>3</sub> zu kaufen, aber auch polymere Leuchtdioden basierend auf MEH-PPV (Abb. 1e) sind breits auf dem Markt.

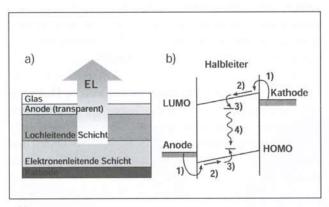


Abb. 2:

Schematischer Aufbau und Funktionsweise einer organischen Leuchtdiode. Elektronen und Löcher werden injiziert (1) und wandern durch die Halbleiterschicht (2). Treffen sie aufeinander bildet sich ein angeregtes Elektron-Loch-Paar (Exziton) (3), das unter Abstrahlung von Licht (Elektrolumineszenz) in den Grundzustand relaxiert (4).

Prinzipiell arbeiten organische Leuchtdioden nicht anders als anorganische LEDs (z. B. aus GaN oder GaAs). In einer Art Sandwichstruktur werden mittels eines elektrischen Feldes Elektronen aus der Kathode in eine elektronenleitende Schicht injiziert (Abb. 2), während auf der anderen Seite Löcher (d. h. positive Ladungen) in die dementsprechende lochleitende Schicht injiziert werden. Wenn ein Loch und ein Elektron sich an der Grenzfläche der beiden Schichten treffen, bilden sie zunächst ein sogenanntes Exziton, ein angeregtes Elektron-Loch-Paar, dieses relaxiert dann in den Grundzustand und gibt die überschüssige Energie dabei in Form von Licht (Elektrolumineszenz - EL) ab. Für LEDs die auf organischen Halbleitern basieren, werden im allgemeinen Kalzium oder Aluminium, d. h. Metalle mit geringer Austrittsarbeit, als Kathodenmaterial benutzt, um möglichst viele Elektronen unter Überwindung einer möglichst kleinen Energiebarriere zu injizieren. Als Anodenmaterial verwendet man leitfähiges Indiumzinnoxid (Indiumtinoxide - ITO), das transparent ist und auf Glas aufgebracht für die nötige Auskopplung des generierten Lichts sorgt. Die Wellenlänge des emittierten Lichtes hängt dabei von der Bandlücke des Halbleiters ab. Für organische Materialien kann man das in etwa gleichsetzen mit dem HOMO-LUMO Abstand. Insbesondere Polymere sind hier von Vorteil, da man durch geschickte Wahl von Seitengruppen oder einzelnen Polymerblöcken die Bandlücke und somit die Farbe der LEDs variieren kann.

Die wesentlichen Gütekriterien für Leuchtdioden sind Effizienz (d. h. das Verhältnis von injizierten Ladungen zu emittierten Photonen), die Betriebsspannung (sollte möglichst gering sein), die Helligkeit und Lebensdauer (mind. 10.000 Stunden). Organische und polymere LEDs schneiden in diesen Bereichen recht gut ab, auch wenn sie nicht die Helligkeit von GaN-Leuchtdioden erreichen. Dieser Nachteil wird jedoch durch die geringen Produktionskosten ausgeglichen, so dass man annehmen kann, dass in Zukunft immer mehr Displays auf der Grundlage von organischen Materialien aufleuchten werden.

## Transistoren - an oder aus

Verglichen mit den organischen LEDs haben es organische Transistoren eher etwas schwer. Wie schon eingangs erwähnt, ist einer der wichtigsten Faktoren für einen Transistor die Mobilität des aktiven Halbleitermaterials. Je nach Material erreichen organische Halbleiter Mobilitäten von etwa 1 cm²/Vs (polykristallines Pentacen) oder lediglich 10<sup>-3</sup> cm²/Vs (F8T2). Dies reicht jedoch aus, um für bestimmte Anwendungen attraktiv zu sein. Wie funktioniert nun ein Transistor auf der Basis von organischen Materialien. Im wesentlichen nutzt man die Struktur eines

## Fachartikel 1: Schaltkreise aus Plastik

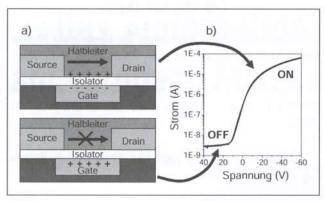


Abb. 3.

a) Schematische Aufbau und Funktionsweise eines Dünnschichttransistors (in diesem Fall mit lochleitendem Polymer). Durch Anlegen eines negativen Potentials am gate werden positive Ladungsträger (Löcher) an der Grenzfläche zwischen Isolator und Halbleiter akkumuliert, ein leitfähiger Kanal wird gebildet und Strom fließt zwischen source und drain – der Transistor ist eingeschaltet (ON). Bei Anlegen einer negativen Spannung werden positive Ladungsträger verdrängt und es kann nur ein extrem geringer Strom fließen – der Transistor ist ausgeschaltet (OFF). b) Charakteristische Strom-Spannungkurve für einen organischen Feldeffekttransistor.

Feldeffekttransistors (FET) oder auch Dünnschichttransistors (thin film transistor, TFT) wie sie auch in Laptop- oder Handydisplays zum Schalten der einzelnen Pixel verwendet werden (active matrix display). Abbildung 3a) zeigt den schematischen Aufbau eines Feldeffekttransistors. Auf ein inertes Substrat wird zunächst die sogenannte gate Elektrode aufgebracht, diese wird durch eine dünne Isolatorschicht (Dielektrikum) von der halbleitenden Schicht getrennt. Hinzu kommen noch die source und drain Elektroden mit einem bestimmten Abstand (Kanallänge) und Ausdehnung (Kanalbreite), die entweder direkt auf dem Dielektrikum oder auf dem Halbleiter aufgebracht werden können. Das Ziel eines FETs ist, den Strom zwischen source- und drain-Elektrode mittels der an der gate Elektrode anliegenden Spannung zu variieren und so den Transistor an- oder auszuschalten. Legt man zwischen source und drain eine bestimmte Spannung an, so sollte im Idealfall kein oder nur ein sehr geringer Strom fließen. Das Anlegen einer negativen Spannung am gate (für einen Transistor mit lochleitendem Halbleiter) führt zu einer Umverteilung der Ladungen im Dielektrikum und zu einer Akkumulation von positiven Ladungen (Löchern) an der Isolator-Halbleiter-Grenzfläche. Diese Anreicherung von Ladungen ermöglicht, dass Löcher die von der source Elektrode injiziert werden, entlang dieses sogenannten Kanals transportiert werden und so zu einem Stromfluss zwischen source und drain beitragen. Je höher die gate Spannung, desto mehr Strom fließt und der Transistor erreicht einen Punkt (threshold voltage) an dem er als eingeschaltet gilt. Der Unterschied zwischen dem Stromfluss im ausgeschalteten und

angeschalteten Zustand (on/off ratio) sollte dabei möglichst groß sein (mehrere Größenordungen). Abb. 3b) zeigt den charakteristischen Strom-Spannungs-Verlauf für einen organischen Feldeffekttransistor (Die Spannung ist in diesem Fall extrem hoch verglichen mit Siliziumtransistoren (wenige Volts), man kann jedoch auch mit entsprechend optimierten organischen Transistoren geringe Betriebsspannungen erreichen). Der gemessene Strom ist proportional zur Mobilität, der Kapazität des Isolators und zum Verhältnis von Kanallänge zu Kanalbreite, d. h. je höher die Mobilität und je kürzer der Abstand zwischen den Elektroden desto mehr Strom fließt.

## Elektroden - wie gedruckt

Bisher war fast ausschließlich von Halbleitern die Rede, um jedoch flexible Displays und kostengünstige Alternativen zu klassischen Halbleitertechnologien zu schaffen, benötigt man außerdem organische Dielektrika als Isolatoren so wie organische Elektrodenmaterialien, die sich leicht verarbeiten lassen. Für Elektroden eignen sich leitfähige Polymere wie z. B. dotiertes Polyanilin oder PEDOT:PSS, ein leitfähiges Polythiophen, dass unterschiedlich stark mit Polystyrensulfonsäure dotiert wird (Abb. 1f), es ist wasser-

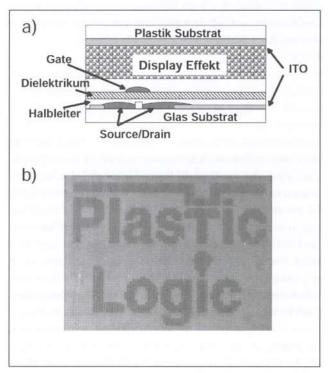


Abb. 4:

a) Schematischer Aufbau eines Pixels in einem Polymer-Aktivmatrixdisplay. Mittels des Transistors wird der Displayeffekt (z.B. Leuchtdiode, Flüssigkristalle oder E-Ink) an- oder ausgeschaltet. b) 3 x 4 cm (50 dpi) Flüssigkristalldisplay angetrieben von 4800 gedruckten Polymertransistoren (mit freundlicher Genehmigung von PlasticLogic Ltd.)

## Fachartikel 1: Schaltkreise aus Plastik

löslich und lässt sich in verschiedenen Leitfähigkeiten herstellen. Es eignet sich gut zur Injektion von Ladungen und ist relativ stabil. PEDOT:PSS Elektroden werden außerdem nicht aufgedampft und später mühevoll photolithographisch strukturiert (wie Metallelektroden) sondern können gezielt auf ein Substrat mittels eines Inkjetdruckers aufgebracht werden. Inkjet printing funktioniert tatsächlich ganz ähnlich wie ein kommerzieller Tintenstrahldrucker, nur werden hier anstatt Tintentröpfchen Polymerlösungen ausgestoßen, das Lösungsmittel verdampft und nur das Polymer verbleibt auf dem Substrat. Auf diese Weise kann man beliebige Konfigurationen von Transistoren oder Leuchtdioden einfach drucken. Mit einigen Tricks kann man dabei die Kanallänge der Transistoren auf einige Mikrometer reduzieren und so trotz der geringen Mobilität vieler Polymere hohe Schaltfrequenzen erreichen. Abb. 4 a) zeigt den schematischen Aufbau eines Pixels für ein Polymerdisplay. In diesem Fall werden zunächst die source und drain Elektroden per inkjet printing aufgebracht. Dann werden der polymere Halbleiter (z. B. F8T2) und ein polymerer Isolator (z. B. PMMA oder PVP) aufgeschleudert und zum Schluss die gate-Elektrode wiederum gedruckt. Der fertige Transistor kann dann zum schalten eines Pixels mit beliebigem Displayeffekt (z. B. Leuchtdiode, Flüssigkristalle oder E-Ink) benutzt werden. Die Firma PlasticLogic hat dieses Verfahren entwickelt, Abb. 4 b) zeigt ein solches 4 x 3 cm Flüssigkristalldisplay (mit 4800 Transistoren, was einer Auflösung von 50 dpi entspricht) das mit einer Bildfrequenz von 80 Hz arbeitet.

#### Was bleibt - noch viel zu tun

Neben all den erwähnten kommerziellen Möglichkeiten organischer Elektronik sollte man jedoch nicht vergessen, dass viele der zu Grunde liegenden physikalischen Prozesse nur wenig verstanden sind. Der Ladungstransport in den verschiedenen organischen Halbleitern kann bisher nur unzureichend modelliert werden. Neue effizientere und stabilere Materialien müssen noch synthetisiert und neue Wege zur effektiven Strukturierung müssen noch entwickelt werden. Der Einfluss der Grenzflächen zwischen den organischen Materialien (Halbleiter, Elektroden, Dielektrika) ist ebenfalls noch weitgehend unerforscht und bietet noch Spielraum für Verbesserungen. Auch stellt sich die Frage, wo das Limit organischer Halbleiter liegt. Organische Einkristalle zeigen zum Teil Mobilitäten von mehr als 10 cm<sup>2</sup>/Vs, was auf andere Ladungstransportmechanismen anstelle von hopping hinweisen könnte. In dieser Hinsicht steckt das Feld der organischen Elektronik noch in den Kinderschuhen, ebenso wie die Mikroelektronik vor 50 Jahren.

Jana Zaumseil

### Literatur zum Thema

Organic Thin Film Transistors for Large Area Electronics, C.D. Dimitrakopoulos, Adv. Mater. 14(2), 99 (2002).

Inkjet Printing of Polymers: State of the Art and Future Developments, B.-J. de Gans et al., Adv. Mater. 16(3), 203 (2004).

Electronics – Toward paperlike displays, J.A. Rogers, Science 291, 1502 (2001).

Organic electroluminescent devices, J.R. Sheats et al., Science 273, 884 (1996)

Semiconducting Polymers: Chemistry, Physics and Engineering, G. Hadziioannou, P.F. van Hutten (Hrsg.), Wiley-VCH (2000) (ISBN: 3-527-29507-0)

#### Websites

www.orgworld.de www. polymervision .com www.cdtltd.co.uk www.plasticlogic.com

Autorin: Jana Zaumseil studierte Chemie an der Universität Leipzig und war Vorsitzende des Fördervereins 2001/2002. Nach einem einjährigen Aufenthalt an den Bell Laboratories (USA) promoviert sie derzeit an der University of Cambridge (Optoelectronics Group, Cavendish Laboratory) auf dem Gebiet polymerer Transistoren.



## Nichtribosomale Peptidsynthese: Wie Bakterien Antibiotika produzieren

Bakterien und Pilze produzieren eine Vielzahl an außergewöhnlichen Substanzen, die interessante biologische Aktivitäten besitzen, so z. B. Antibiotika. Viele dieser Stoffe basieren auf einem Peptidrückgrat, werden aber nicht auf dem "normalen" Weg der Proteinsynthese in Organismen hergestellt, sondern von sogenannten nichtribosomalen Peptidsynthetasen (NRPS). Bei letzteren handelt es sich um große Enzymkomplexe, deren Verständnis neue Perspektiven z. B. bei der Herstellung von Antibiotika eröffnet, was im Hinblick auf die Multiresistenzen vieler Mikroorganismen sehr interessant ist.

$$DNA \longrightarrow RNA \longrightarrow Protein$$

Abb. 1: Zentrales Dogma der Molekularbiologie: Die Information ist auf der DNA gespeichert, wird in RNA übersetzt und führt letztendlich zur Bildung des Proteins.

Peptide bzw. Proteine werden von Organismen zum größten Teil auf dem sogenannten ribosomalen Weg nach dem zentralen Dogma der Molekularbiologie (Abb.1) synthetisiert: Die DNA wird dabei in einem ersten Schritt in RNA übersetzt. Anschließend bauen Ribosomen die Proteine zusammen, indem sie die RNA wie eine Matrize

ablesen und die Aminosäuren entsprechend miteinander verknüpfen. 21 Aminosäuren können auf diese Art und Weise für die Synthese von Proteinen verwendet werden.

Viele Peptide allerdings, die von Pilzen und Bakterien produziert werden und interessante biologische Aktivitäten aufweisen, enthalten andere Aminosäuren. Schon früh trat der Verdacht auf, dass diese Peptide auf einem nicht ribosomalen Weg synthetisiert werden. In den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts konnte schließlich nachgewiesen werden, dass keine Ribosomen bei der Synthese beteiligt sind: Wurden die Riobosomen spezifisch gehemmt, hatte das keinen Einfluss auf die Produktion dieser Peptide.

## Nichtribosomale Peptidsynthetasen (NRPS)

Mittlerweile ist bekannt, dass große Multienzymkomplexe, die sogenannten nichtribosomalen Peptidsynthetasen (NRPS) diese Peptide produzieren. Je ein NRPS-System ist darauf spezialisiert, ein ganz bestimmtes Peptid zu produzieren. Eine Auswahl nichtribosomal erzeugter Peptide ist in Abbildung 2 zu sehen. Die meisten dieser Substanzen zeigen biologische Aktivität, so handelt es sich bei vielen

Abb. 2: Eine Auswahl an nichtribosomal produzierten Peptiden mit biologischen Aktivitäten. Antibiotika (Tyrocidin A, Gramicidn S, Vancomycin, ACV-Tripeptid (Vorläufer der Penicillins)), Zytostatikum (Bleomycin), Immunosuppressor (Cyclosporin), Eisensiderophor (Bacillibactin).

## Fachartikel 2: Wie Bakterien Antibiotika produzieren

Antibiotika um auf diese Weise synthetisierte Peptide. Der Vorläufer des Penicillins, ACV-Tripeptid, wird ebenso nichtribosomal hergestellt wie Tyrocidin A, Gramicidin S und Vancomycin. Andere nichtribosomal synthetisierte Peptide sind Zytostatika (Bleomycin A2) oder Immunosuppressoren (Cyclosporin A). Bacillibactin dagegen wird von Bakterien produziert, um den Organismus unter Eisenmangelbedingungen mit Eisen zu versorgen.

Auffällig ist die große strukturelle Vielfalt dieser Peptide: Viele Verbindungen sind zirkulär oder verzweigt. Es kommen Aminosäuren vor, die nicht von der DNA kodiert werden. Einige Aminosäuren wurden epimerisiert, oxidiert oder methyliert. Auch kleine Heterozyklen können während der Synthese ausgebildet werden.

#### Aufbau der NRPS

Die nichtribosomalen Peptidsynthetasen sind Multienzymkomplexe, d. h. sehr große Proteine, die mehrere Reaktionen katalysieren. Sie zeigen einen modularen Aufbau (Abb. 3), wobei jedes Modul für den Einbau einer Aminosäure zuständig ist. Die Module wiederum bestehen aus einzelnen Domänen, wobei einige Domänen essentiell sind. So enthält jedes Modul die Adenylierungsdomäne (A-Domäne) die für die Erkennung und Aktivierung der jeweiligen Aminosäure zuständig ist. Weiterhin ist das Peptidyl-Carrier-Protein (PCP) essentiell, an das die Aminosäure während der Synthese kovalent bindet. Abgesehen von dem Initiationsmodul haben alle Module eine Kondensations-(C)-Domäne, die die Ausbildung der Peptidbindung katalysiert. Das Terminationsmodul enthält zusätzlich noch die Thioesterasedomäne (TE), die für die Abspaltung des fertigen Peptids zuständig ist.

### Die Reaktionen der essentiellen Domänen

Für die Ausbildung der Peptidbindung wird Energie benötigt, daher werden die Aminosäuren in einem ersten Schritt durch die A-Domänen aktiviert: Unter Umsetzung von ATP und Freisetzung von Pyrophosphat entsteht ein Aminosäure-Adenylat (Abb. 4.1). Die Aktivierung der Aminosäuren erfolgt sehr spezifisch, die A-Domänen erkennen aufgrund struktureller Eigenschaften "ihre" Aminosäure.

In einem zweiten Schritt überträgt die A-Domäne die Aminosäure auf das PCP (Abb. 4.2). Das PCP besitzt einen langen Arm, einen Phosphopanthetein-Rest, der im Anschluss an die ribosomale Produktion des PCPs angefügt wurde. Dieser sogenannte PAN-Arm hat an seinem Ende eine Thioalkohol-Gruppe, auf die die Aminosäure von der A-Domäne übertragen wird, so dass sich ein Thioester ausbildet. Nun ist die Aminosäure in einem aktivierten Zustand kovalent an das NRPS-System gebunden. Der lange PAN-Arm ermöglicht die Weitergabe der Aminosäure zum nächsten Modul, wo die C-Domäne die Peptidbindung ausbildet (Abb. 4.3). Nach der Peptidbindungsknüpfung liegt das PCP des ersten Moduls wieder frei vor, während an das PCP des zweiten Moduls nun ein Dipeptid gebunden ist. Letzteres wird nun wiederum für die Ausbildung einer neuen Peptidbindung verwendet. Auf diese Art und Weise werden 5-20 Aminosäuren miteinander verknüpft. Letztendlich befindet sich das fertige Peptid als Thioester gebunden am Terminationsmodul. Nun sorgt die TE-Domäne für die Abspaltung des Produkts, zwei Möglichkeiten bestehen hierfür: Wird der Thioester hydrolysiert, so entsteht ein lineares Produkt. Katalysiert die TE-Domäne dagegen einen intramolekularen Angriff des Peptids, so bildet sich ein Makrozyklus bzw. eine verzweigte Struktur aus (Abb. 4.4).



## Fachartikel 2: Wie Bakterien Antibiotika produzieren

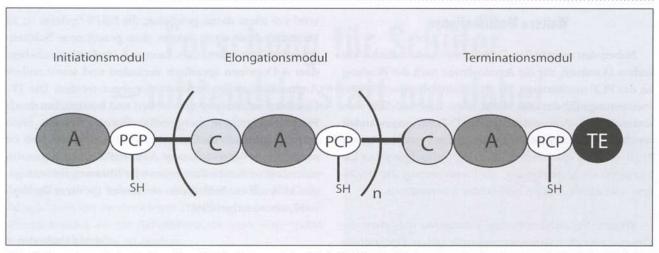


Abb. 3: Der schematische Aufbau eines NRPS-Systems: Jedes Modul ist für den Einbau einer Aminosäure zuständig. Jedes Modul ist wiederum aus Domänen aufgebaut: A: Adenylierungsdomäne, erkennt und aktiviert die Aminosäure. PCP: Peptidyl-Carrier-Protein, bindet die Aminosäure als Thioester. C: Kondensationsdomäne, katalysiert die Peptidbindungsknüpfung. TE: Thioesterasedomäne, sorgt für die Freisetzung des fertigen Peptids.

Abb. 4: Durch die einzelnen Domänen katalysierte Reaktionen: 1. In einem ersten Schritt aktiviert die A-Domäne die Aminosäure als Aminosäure-Adenylat. Hierzu benötigt sie ATP und Mg²+-Ionen, Pyrophosphat wird frei. 2. Anschließend wird die aktivierte Aminosäure von der A-Domäne auf den PAN-Arm des PCPs übertragen, es bildet sich ein Thioester und AMP wird freigesetzt. 3. Die C-Domäne sorgt für die Ausbildung der Peptidbindung. Das PCP des ersten Moduls liegt am Ende der Reaktion frei vor, am PCP des nachfolgenden Moduls befindet sich ein um eine Aminosäure verlängertes Peptid. 4. Die TE-Domäne katalysiert die Freisetzung des Peptids vom NRPS-System. Hierbei entsteht entweder durch Hydroylse ein lineares Peptid (unten) oder durch eine intramolekulare Reaktion ein zirkuläres Produkt (oben).

## Fachartikel 2: Wie Bakterien Antibiotika produzieren

#### Weitere Modifikationen

Neben den essentiellen Domänen existieren noch viele andere Domänen, die die Aminosäuren nach der Bindung an das PCP modifizieren: So sorgt beispielsweise die Epimerisierungs-(E)-domäne dafür, dass die natürlich vorkommenden L-Aminosäuren in ihre D-Form umgewandelt werden. So werden bei der Synthese des Tyrocidin A zwei Phenylalanine epimerisiert (Abb. 5). Andere Domänen katalysieren die Methylierung, die Formylierung, die Oxidation oder die Reduktion bestimmter Aminosäuren.

Weitere Variationen in den Substanzen entstehen dadurch, dass neben Aminosäuren auch andere Bestandteile z. B. Fettsäuren eingebaut werden. Weiterhin werden viele Moleküle nach der Synthese noch weiter modifiziert. Mit anderen Worten: Die Vielfalt der Produkte der nichtribosomalen Synthese ist extrem hoch.

## Wohin geht die Forschung?

Viele der nichtribosomal produzierten Substanzen besitzen pharmakologische Relevanz, daher wurden nichtribosomale Peptidsynthetasen in den letzten Jahren sehr gründlich erforscht. Neben dem prinzipiellen Verständnis wird vor allem daran gearbeitet, die NRPS-Systeme so zu verändern bzw. so zu nutzen, dass gezielt neue Substanzen erhalten werden. Dies kann z. B. dadurch geschehen, dass A-Domänen spezifisch verändert und somit andere Aminosäure in der Synthese eingebaut werden. Die TE-Domänen werden dagegen isoliert und benutzt, um durch Festphasensynthese hergestellte lineare Peptide ohne Schutzgruppenchemie zu zyklisieren. Die große Idee ist es, auf diese Weise neuartige Antibiotika zu erzeugen - in einer Zeit, in der die Resistenz vieler Mikroorganismen gegen altbewährte Substanzen ein immer größeres Problem wird, ein wichtiges Ziel.

Cordula Klockenbusch

Zum Weiterlesen bieten sich folgende Reviews an:

Schwarzer, D., Finking, R. und Marahiel, M. A. (2003). "Nonribosomal peptides: from genes to products." Nat Prod Rep 20(3): 275-87.

Schwarzer, D. und Marahiel, M. A. (2001). "Multimodular biocatalysts for natural product assembly." Naturwissenschaften 88(3): 93-101.

Hubbard, B. K., und Walsh, C. T. (2003). " Antibiotika-Biosynthese. " Angew. Chem. 115(7): 752-789

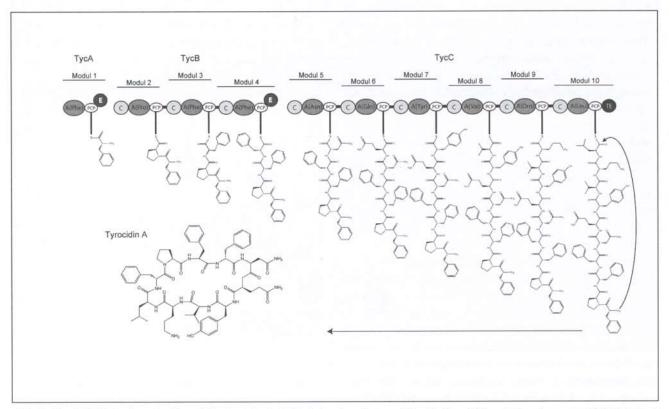
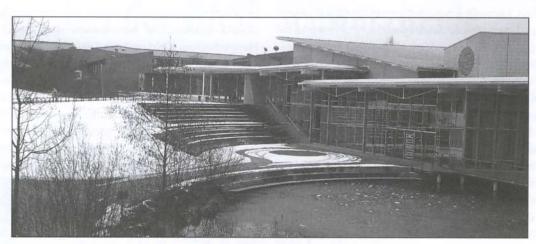


Abb. 5: Das NRPS-System, das Tyrocidin A produziert: Drei einzelne Enzyme (Tyc A, B und C) enthalten insgesamt 10 Module, so dass 10 Aminosäuren eingebaut werden. Zwei Phenylalanine werden durch Epimerisierungsdomänen (E) in die D-Form überführt (Module 1 und 4). Das Modul 9 baut die nicht in der DNA kodierte Aminosäure Ornithin ein. Die Thioesterase-Domäne (TE) katalysiert den intramolekularen Angriff einer Aminogruppe, so dass ein Makrozyklus entsteht.

## Chemie und Bayreuth — das passt!



Audimax mit Uniteich

Was zeichnet ein Chemiestudium an der Universität Bayreuth aus? Schwierig zu beantworten für zwei Chemieolympioniken, die sich bis auf ein Auslandsjahr nie von Oberfranken trennen wollten. Aber vielleicht findet sich da schon die Antwort? Bayreuth ist eine kleine, nette Stadt, die jedes Jahr nur genau einen Monat lang in den Schlagzeilen und Feuilletons aller großen Zeitungen zu finden ist: Dann ist Festspielzeit und es scheint noch beschaulicher in Bayreuth zu sein als sonst, wenn nicht nur der Geist Richard Wagners, sondern auch Prominenz und Touristen den Grünen Hügel umwehen. Doch keine Sorge, es ist nicht schwierig, sich dem Wagnerkult zu entziehen, denn neben anderen Museen und Schlössern bleibt gerade im Sommer immer noch die Möglichkeit, sich ausführlich der oberfränkischen Bierkultur in den zahlreichen Biergärten zu widmen - und die ist bekanntlich Weltspitze, gibt es doch auf keinem Flecken der Erde so viele Brauereien wie in Oberfranken. Nicht nur in der Menge, sondern auch in der Vielfalt haben wir hier den Münchnern und Oberbayern viel voraus und das wird nicht nur in Bay-

reuth, sondern auch in der Umgebung in Bamberg, Coburg und Kulmbach vielen bekannten Festen und Festivals oft ausgekostet. Im Winter freilich, wenn es mit dem Studieren losgeht, fällt es einem auch nicht schwer, fleißig zu sein, denn die kalte Jahreszeit dauert hier besonders lange und den Schönwetterfön aus den Alpen vermisst man schnell. Und vielleicht ist es ja die klimatische und geographische Randlage, die die junge Universität vor einem Massenansturm bisher bewahrt hat? Gerade mal gut 9000 Studenten tummeln sich auf der Campusuni in Stadtrandlage und so unglaublich es klingt: Stellt man sich in die Mitte und dreht man sich einmal um die eigene Achse, dann hat man das Audimax, die sechs Fakultäten, die Mensa, die Verwaltung, alle Bibliotheken, das Sprachenzentrum, die Sportanlagen und das Rechenzentrum, schlicht alles, gesehen. Das klingt klein, soll aber nicht über die überdurchschnittlich gute Ausstattung der genannten Institutionen hinwegtäuschen. Und gerade die Geisteswissenschaftler wissen es zu schätzen, zwischen zwei Vorlesungen nicht das Fahrrad bemühen zu müssen, sondern stattdessen eine Pause in der Cafeteria machen zu können.

Eine knappe Mehrheit der Studenten machen die BWLer und Juristen aus, was besonders zum Wintersemesterbeginn zu einem kurzzeitig angespannten Wohnungsmarkt führen kann. Dennoch sind die Wohnungszustände im Ver-

gleich zu anderen Unistädten geradezu paradiesisch. Neben einer Reihe geisteswissenschaftlicher Fächer finden sich die klassischen Naturwissenschaften sowie eine neue ingenieurwissenschaftliche Fakultät (Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften, FAN). Durch besondere, zum Teil schon seit langem hier etablierte Studiengänge wie Sportökonomie, Gesundheitsökonomie,



Innenhof des Gebäudes der Naturwissenschaften II

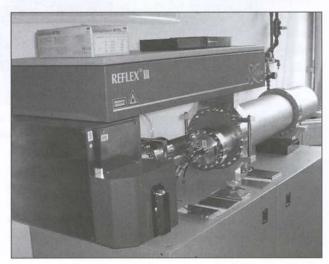
## Chemie und Bayreuth - das passt!

Geoökologe und einem eigenen Diplom-Biochemiestudiengang war Bayreuth für bestimmte Fächer schon immer eine erste Adresse. Mit weiteren Schwerpunktbildungen hat es die kleine Uni Bayreuth aber auch geschafft, sich in klassischen Fächern an die Spitze einiger Disziplinen zu kämpfen. Dazu gehört das Bayreuther Polymer- und Kolloidzentrum ebenso wie der international anerkannte Forschungsschwerpunkt "Afrika".

In der Chemie wurden speziell die Kompetenzen in der soft matter science (Polymer- und Kolloidchemie) ausgebaut. Besonders die beiden Lehrstühle für Makromolekulare Chemie (I: Prof. Schmidt; II: Prof. Müller) und für Physikalische Chemie (I: Prof. Ballauf; II: Prof. Krausch) haben ein enges Netz einer sehr guten Zusammenarbeit gewoben. Daran beteiligt sind zahlreiche weitere Lehrstühle aus der Physik und der FAN. Dadurch spielte sich Bayreuth nicht nur in die Spitze der Polymer- und Kolloidforschung, sondern kann auch den bisher einmaligen Studiengang Polymer- und Kolloidchemie (Diplom) anbieten, der sich besonders der Ausbildung und Erfordernisse in diesem stark in die Zukunft drängenden Forschungsgebiet widmet. Die Ausstattung und Forschungsmöglichkeiten werden durch einen neuen weiteren Laborbau gestärkt. Durch die gute übergreifende Zusammenarbeit bekommt man bereits während der ersten Praktika Einblick in viele Abteilungen und die Auswahl, in welcher Arbeitsgruppe man seine ersten Forschungsarbeiten anfertigen möchte, fällt nicht leicht. Schön, dass dabei das Betreuungsverhältnis zwischen Professoren und Studenten ausgesprochen gut ist. Auf dem Gang vom Professor mit Namen begrüßt werden, keine Sprechzeiten wissen müssen und immer eine offene Türe finden, das sind nur die offensichtlichen Vorzüge, die der gute Kontakt zwischen den Lehrern und Studenten mit sich bringt. Fragen und Probleme können meist direkt gelöst werden, ob es sich um Auslandsaufenthalte (die für die neuen Studiengänge verpflichtend sind) oder andere kleinere Angelegenheiten handelt.

Da die Autoren den klassischen Diplomchemiestudiengang mit den mündlichen Vor- und Hauptdiplomprüfungen durchliefen, kann hier nur recht wenig zur jetzigen Diplomstudienordnung mit dem kumulierenden ECTS-System (European Credit Point System) gesagt werden. Es baut sich ähnlich wie in der Kollegstufe aus vielen Prüfungen zu den Vorlesungen und Praktika auf, die schließlich zu einer Gesamtnote beitragen. Damit ist ständiges Mitlernen speziell gegen Ende des Semesters notwendig, da jede Prüfung zählt. Jedoch auch diese Chemiestudienordnung wird nur ein Zwischenschritt zum Bachelorstudiengang und den Masterstudiengängen sein, die in wenigen Jahren eingeführt werden sollen.

Nun, obwohl vielleicht viele Schüler von Polymerchemie und Kolloidchemie noch wenig gehört haben und vor so einem "speziellen" Gebiet zurückschrecken, empfiehlt es sich trotzdem, sich zu diesem Studiengang genauere Informationen anzufordern (www.uni-bayreuth.de/ studium/diplom/polymerchemie.html). Während Grundstudium natürlich viele Fächer aus dem klassischen Chemie-Studienplan entnommen sind, wird man im Hauptstudium nicht nur mit Spezialvorlesungen, sondern auch in den "altbekannten" Praktika durch polymer- und kolloidorienterte Übungen auf diesem Fachgebiet trainiert. Bis heute (so auch die Autoren) wurde meist der Weg des vierten Faches (z. B. Polymerchemie) eingeschlagen, das evtl. vertieft wurde. Jetzt gibt es die Chance, in einem neu gestalteten Studiengang mit weniger überflüssigem



MALDI-TOF-Massenspektrometer für die Polymeranalytik

Grundlagenballast, aber dafür direkter in die sehr spannende Welt der nanostrukturierten Flüssigkeiten und Festkörper einzusteigen. Neben anspruchsvollen synthetischen Aufgaben bietet sich ein nahtloser Übergang zu rein analytisch orientiertem Arbeiten. Moderneste Geräte machen nicht nur Spaß bei der Forschung, sondern garantieren auch einen zügigen und erfolgreichen Studienabschluss. Und: In der Industrie arbeiten etwa 25% der promovierten Chemiker mit Polymeren, jedoch nur ein Bruchteil erfuhren während ihres Studiums eine Ausbildung in Makromolekularer Chemie. Also ran ans Studieren!

Wir hoffen, wir konnten Euch das Chemiestudium an der Universität Bayreuth schmackhaft machen und wir sehen uns bald bei einem kühlen fränkischen Bier.

Von Günther Jutz und Felix Plamper

### NACHTRAG:

Am 09.03.2004 wurde von der bayerischen Staatregierung der Elitestudiengang "Macromolecular Science" an der Universität Bayreuth genehmigt. Weitere Informationen sind unter www.uni-bayreuth.de/presse/mitteil/16-elite.htm und www.elitenetzwerk-bayern.de zu finden.

# Der Stickstoff – Teil 2: Oxide des Stickstoffs

Im letzten Versuch fürs Schullabor haben wir den Ammoniak kennengelernt, eine Verbindung, in der Stickstoff in der Oxidationsstufe –3 vorkommt, also reduzierend wirkt. Wir wollen nun einige gasförmige Verbindungen kennenlernen, in denen der Stickstoff positive Oxidationsstufe ausweist, die sogenannten Stickoxide. Einige dieser Gase sind weithin bekannt, sie sind Teil des Smogs, der nur zu oft über Ballungsgebieten liegt, machen uns also das Leben schwer ...

#### Die Materialien

- 35g Kupferspäne
- 250ml 8M Salpetersäure
- 100g Blei(II)nitrat (Pb(NO3)2)
- 10g Ammoniumnitrat
- 1kg Eis
- · 300g Kochsalz,
- 250ml-Erlenmeyerkolben mit einfach durchbohrtem Gummistopfen und dazu passendem Glasrohr mit Gummischlauch
- 500ml-Erlenmeyerkolben mit doppelt durchbohrtem Gummistopfen, einem dazu passenden Glastrichter, der bis auf den Boden des Erlenmeyerkolbens geht und einem gebogenem Glasrohr mit Gummischlauch
- · 21-Rundkolben mit Glasstopfen
- mehrere 100ml-Rundkolben mit engem Hals oder große Reagenzgläser
- · zwei 2l-Bechergläser
- zwei 500ml-Meßzylinder
- 11-Meßzylinder
- Glaszylinder
- eine große Glasschüssel
- · Korkring, Schutzhandschuhe
- Stativ
- Bunsenbrenner
- eine verschließbare Glasspritze oder gut abgedichtete Plastikspritze

## Durchführung

Stickoxide sind sehr giftig, deshalb müssen alle Versuche im Abzug durchgeführt werden!

### 1. Stickstoffmonoxid

Durch den Trichter wird die 8M Salpetersäure auf die Kupferspäne gegeben, worauf sich rotbraune Gase bilden. Nach etwa einer Minute wird das gebildete Gas farblos. Nun fangen wir das Gas im unter Wasser im Rundkolben auf, belassen etwa 100ml Wasser im Kolben und verschließen diesen. Der Kolben ist mit einem farblosen Gas gefüllt: Stickstoffmonoxid (NO). Wir öffnen den Kolben kurz und erkennen, wie sich am Kolbenhals rotbraune Schwaden bilden. Wir verschließen den Kolben wieder und schütteln ihn, bis das Gas im Innern farblos wird. Wir wiederholen das Öffnen und Schütteln mehrere Male. Beim Öffnen des Kolbens bemerken wir, wie Luft hinein gesaugt wird. Im Innern ist nach dem Schütteln ein Unterdruck vorhanden.

Das Kupfer wird von der Salpetersäure nach der folgenden Reaktion:

$$3 \text{ Cu} + 2 \text{ NO}_3^- + 8 \text{ H}^+ \longrightarrow 3 \text{ Cu}^{2+} + 4 \text{ H}_2\text{O} + 2 \text{ NO}$$

oxidiert unter Bildung von farblosem Stickstoffmonoxid (NO), in dem der Stickstoff die Oxidationsstufe +2 besitzt. Dieses Gas ist wasserunlöslich und lässt sich deshalb im Rundkolben auffangen. Stickstoffmonoxid reagiert sehr leicht mit Sauerstoff unter Bildung von Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), das rotbraun ist und in dem der Stickstoff die Oxidationsstufe +4 aufweist. Durch die Anwesenheit von Luftsauerstoff zu Anfang der Reaktion ist aus diesem Grund das entstehende Gas im Erlenmeyerkolben bräunlich gefärbt. Öffnen wir den Kolben mit NO an der Luft, reagiert ein Teil des NO mit dem Luftsauerstoff und bildet NO<sub>2</sub>. Dieses löst sich sehr leicht in Wasser, wodurch sich das Volumen im Innern des Rundkolbens verringert und ein Unterdruck entsteht, der beim erneuten Öffnen Luft hinein strömen lässt.

## 2. Stöchiometrie der Reaktion

#### von Stickstoffmonoxid mit Sauerstoff

Einer der beiden 500ml-Meßzylinder wird, wie oben, unter Wasser mit NO gefüllt und mit der Öffnung nach unten in ein Stativ gespannt. Der andere wird auf die gleiche Weise mit Sauerstoff befüllt (aus einer Sauerstoffflasche oder durch vorsichtiges Auftropfen von 30% Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) auf Braunsteinpulver in einer Apparatur die der ähnlich ist, die wir für die NO-Darstellung benutzen). Wir "gießen" jetzt unter Wasser den Sauerstoff in Portionen in den Messzylinder, der das NO enthält. Wir beobachten die Bildung eines rotbraunen Gases (NO<sub>2</sub>). Wir schütteln nun den Messzylinder vorsichtig unter Wasser und beobachten, wie das Volumen des Gases abnimmt und dieses sich dabei entfärbt. Wenn aller Sauerstoff umgegossen wurde, bemerken wir, dass sich das Gas nicht mehr verfärbt und das Volumen konstant bleibt (bei 250ml). Dies liegt an der Stöchiometrie der Reaktion, die die folgende ist:

$$2 \text{ NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ NO}_2$$

500ml NO reagieren demnach mit 250ml  $O_2$ , der Rest des Sauerstoffs bleibt also übrig.

Wir machen den Versuch noch einmal, nehmen aber jetzt 400ml NO in einem 500ml-Messzylinder und füllen den 11-Messzylinder mit Luft. Gießen wir jetzt vorsichtig das NO portionsweise in den mit Luft gefüllten Zylinder, schütteln hin und wieder, so bemerken wir, dass am Ende der Reaktion 800ml farbloses Gas übrig bleiben. Luft enthält in etwa 21% Sauerstoff, ein Liter Luft also etwa 200ml. Diese reagieren mit 400ml NO und nach dem Lösen des gebildeten NO<sub>2</sub> im Wasser verbleibt der Stickstoff der Luft, der 78% ausmacht (Luft enthält noch etwa 1% Argon und Spuren anderer Gase, wie CO<sub>2</sub>).

Beim Lösen von  ${\rm NO}_2$  in Wasser entstehen in einer komplizierten Reaktion Salpetersäure und salpetrige Säure:

$$2 \text{ NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_3^- + \text{HNO}_2$$

Die salpetrige Säure disproportioniert gemäß:

$$3 \text{ HNO}_2 \rightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_3^- + 2 \text{ NO} + \text{H}_2\text{O}$$

unter Neubildung von NO, welches wieder mit Sauerstoff reagieren kann, solange welcher vorhanden ist. Letztlich wird NO<sub>2</sub> also durch Wasser und Sauerstoff in Salpetersäure umgewandelt. Durch katalytische Oxidation (s. Versuch fürs Schullabor zu Stickstoff Teil 1 – Ammoniak) von Ammoniak, Umwandlung des entstehenden NO in NO<sub>2</sub> und Absorption in Wasser wird in der Tat technisch Salpetersäure hergestellt.

#### 3. Stickstoffdioxid

Vor dem Versuch wird der Hals des 100ml-Rundkolbens oder des großen Reagenzglases über der Gasflamme eingeengt, bis gerade noch der Gasschlauch hindurch passt.

......

In dem 250ml-Erlenmeyerkolben werden 50-100g Blei(II)nitrat gegeben und vorsichtig über der Bunsenbrennerflamme erhitzt. Das entweichende Gas wird nach einiger Zeit durch den Schlauch auf den Boden des am Hals eingeengten Rundkolbens oder Reagenzglases geleitet und, wenn das Gas im Innern gleichmäßig braun ist, der Schlauch entfernt und der Kolben oder das Reagenzglas schnell abgeschmolzen. Auf diese Weise bereiten wir zwei befüllte Kolben vor.

Eines der beiden Bechergläser wird mit 80-90°C heißem Wasser gefüllt, das andere mit einer Eis-Kochsalzmischung. Einer der abgedichteten Kolben wird in das heiße Wasserbad getaucht, der andere in die Eis-Kochsalz-Mischung. Nach einigen Minuten beobachten wir die Färbung des Inhalts der beiden Kolben.

Durch das Erwärmen zersetzt sich Bleinitrat unter Bildung von Stickstoffdioxid:

$$2 \text{ Pb(NO}_3)_2 \longrightarrow 2 \text{ PbO} + 2 \text{ NO}_2 + \text{O}_2$$

das schwerer ist als Luft und deshalb von unten die Luft verdrängt. Wir bewahren das Gas im abgeschmolzenen Kolben auf. Der mit entstehende Sauerstoff stört bei dem Versuch nicht.

Beim Abkühlen (eine Eis-Kochsalzmischung hat um die –20°C), entfärbt sich der Inhalt des Kolbens und eventuell können wir sogar die Bildung einer gelblichen Flüssigkeit beobachten oder eines gelblich-weißen Feststoffs. Der Kolben im heißen Wasserbad zeigt eine, im Vergleich zu einem Kolben bei Raumtemperatur, stärkere Färbung.

Stickstoffdioxid schmilzt bei –11°C und siedet bei 21°C. NO<sub>2</sub> ist ein Radikal (das freie Elektronenpaar sorgt auch dafür, dass Elektronenübergänge im Bereich des sichtbaren Lichts existieren, was seine braune Farbe verursacht). Es steht darüber hinaus im Gleichgewicht mit seinem Dimeren, dem Distickstofftetroxid:

$$2 \text{ NO}_2 \leftrightarrow \text{N}_2\text{O}_4$$

Der Feststoff besteht ausschließlich aus  $N_2O_4$ , während in der Flüssigkeit und im Gas ein Gemisch aus  $NO_2$  und  $N_2O_4$  vorkommt.  $N_2O_4$  ist farblos (es besitzt keine ungepaarten Elektronen mehr), während  $NO_2$  die charakteristische rotbraune Färbung aufweist (wenn das feste  $N_2O_4$  bläulich sein sollte, liegt das an Spuren  $N_2O_3$ , die sich gemäß  $2\ N_2O_4 + H_2O \longrightarrow N_2O_3 + 2\ HNO_3$  gebildet haben). Beim Abkühlen verschiebt sich das Gleichgewicht hin zum  $N_2O_4$ , während beim Erwärmen der Anteil an  $NO_2$  ansteigt.

Bei der Bildung von N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> aus NO<sub>2</sub> tritt auch eine Volumenveränderung auf. Diese kann sichtbar gemacht wer-



den, in dem man eine Glasspritze mit  $NO_2$  befüllt, sie verschließt und auf das Gas Druck ausübt. Zuerst beobachten wir eine Vertiefung des Farbtons, bevor sich das Gas dann aufhellt. Beim Entspannen des Gases tritt zuerst eine weitere Aufhellung ein, bevor sich die Farbe wieder vertieft.

Beim Zusammenpressen von NO<sub>2</sub> verdichtet sich dieses zuerst, wodurch sich der Farbton vertieft, bevor sich das Gleichgewicht auf die Seite von N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> verschiebt, was mit einer Aufhellung einher geht. Beim Ausdehnen, tritt zuerst der Verdünnungseffekt des N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> auf, bevor das Gleichgewicht auf die Seite von NO<sub>2</sub> verschoben wird und das Gas wieder dunkler wird.

## 4. Lachgas

In einem 100ml-Rundkolben mit Gummistopfen und Gasableitung durch ein gebogenes Glasrohr und einem Gummischlauch werden 10g Ammoniumnitrat vorsichtig erhitzt, wobei die Temperatur 200°C nicht überschreiten sollte. Das entstehende Gas wird unter Wasser in einem Glaszylinder aufgefangen.

In Ammoniumnitrat findet sich Stickstoff in zwei verschiedenen Oxidationsstufen wieder: -3 für NH<sub>4</sub><sup>+</sup> und +5 für NO<sub>3</sub>. Die Verbindung ist thermisch nicht stabil, sondern komproportioniert (vgl. Versuch fürs Schullabor zu Stickstoff Teil 1 – Ammoniak) unter Bildung von Distickstoffmonoxid:

$$NH_4NO_3 \rightarrow 2 H_2O + N_2O \uparrow$$

in welchem der Stickstoff die Oxidationsstufe +1 besitzt. Distickstoffoxid ist das einzige Stickstoffoxid, das nicht giftig ist. Das Gas ist besser bekannt als Lachgas, weil es die Lachbereitschaft eines Menschen erhöht. Daneben wirkt es schmerzstillend und schwach narkotisierend, weshalb es als Anästhetikum verwendet wird.

Bei unserem Versuch können eventuell Spuren von  $NO_2$  entstehen, welche das Gas braun färben und wir sollten deshalb von Selbstversuchen absehen, die Wirkung des Gases zu testen.

Die Zersetzung von Ammoniumnitrat ist exotherm und kann explosiv werden, wenn ein Schock darauf ausgeübt wird, oder die Temperatur bei der Zersetzung über 300°C ansteigt. Es wird deshalb auch als Sprengstoff verwendet und manchmal geschehen solche Zersetzungen auch unabsichtlich ...wie 2001 in Toulouse, oder auch 1921 in Ludwigshafen, als einige hundert Kilo bzw. mehrere Tonnen Ammoniumnitrat explodierten ...).

Wie bereits angedeutet, sind die meisten der Stickstoffoxide (NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sehr giftig und haben auch Anteil an Autoabgasen, Smogbildung und spielen eine wichtige Rolle beim Abbau der Ozonschicht ...

Martin Holzapfel

## Gefahren

- Salpetersäure ist stark ätzend und es darf nur mit Schutzhandschuhen und Schutzbrille mit ihr gearbeitet werden
- Eingeatmet dringt NO<sub>2</sub> bis in die Lungenbläschen vor und reagiert dort zu Salpetersäure, die das empfindliche Gewebe zerstört und zu einem Lungenödem führen kann, das erst 4 bis 12 Stunden später bemerkt wird.
   Vorsicht also im Umgang mit diesem Gas!
- Bleinitrat ist giftig beim Verschlucken und bei Berührung mit der Haut. Also Schutzhandschuhe anziehen!
- Ammoniumnitrat ist explosiv, wenn man es schnell und stark erhitzt!



Die hier vorgestellten Experimente sind möglicherweise gefährlich und müssen mit der entsprechenden größtmöglichen Sorgfalt und unter Beachtung aller Vorsichtsmaßnahmen durchgeführt werden. Die entsprechenden Informationen sind nur für umsichtige Experimentatoren

bestimmt und nach bestem Wissen erstellt worden. Dennoch können der FChO und der Autor des Beitrages nicht für die Richtigkeit und Zuverlässigkeit der Informationen einstehen. Sollten Sie die hier vorgestellten Experimente durchführen, so entlassen Sie den FChO und den Autor aus jeglicher Haftung.

## Verbindung gesucht!

Bei der gesuchten Verbindung X handelt es sich um ein Kohlenwasserstoff aus der Reihe der (CH)<sub>n</sub>-Verbindungen, dessen geometrische Form für Plato die Erde symbolisierte.

Es ist ein sehr interessantes Molekül, das trotz seiner ungewöhnlichen Struktur völlig stabil gegenüber Licht, Luft und Wasser ist. Es schmilzt bei 130-131°C, die Zersetzung tritt erst oberhalb von 200°C ein. X kristallisiert in schimmernden, farblosen Rhomben.

Das Molekül wurde in einem neuen Licht betrachtet, als man feststellte, dass aufgrund der hohen Bildungswärme und hohen Dichte manche Derivate wichtige Sprengstoffe oder nützliche Treibstoffe für die Raumfahrt sein könnten. Das Molekülgerüst ist sehr starr, so dass Substituenten in genau definierter Lage zueinander angeordnet sind. Da diese Systeme außerdem nicht toxisch sind, eröffnet dies Möglichkeiten für die Synthese von Pharmawirkstoffen. So wurden bereits interessante Wirkungen bei Anti-AIDS-und Anti-Tumor-Screening-Versuchen gefunden.

Die Synthese des Moleküls war lange Zeit eine Herausforderung an Chemiker, nicht zuletzt wegen seiner hohen Spannungsenergie (172 kcal/mol).

#### Die erste Synthese wurde 1964 entwickelt

Man geht von einem cyclischen ungesättigten Keton A aus, bromiert im ersten Schritt mit NBS, im zweiten mit Brom, setzt das dabei entstandene Produkt im dritten Schritt mit Triethylamin um und erhält eine Verbindung B. Im vierten Schritt geht sie eine Diels-Alder-Reaktion mit sich selbst ein, wobei das endo-Addukt C gebildet wird.

C geht nun im fünften Schritt bei Bestrahlung in Methanol und Salzsäure eine photochemische [2+2]-Cycloaddition ein und bildet D. Im sechsten Schritt wird D mit Kalilauge behandelt. Diese Reaktion stellt eine Variante der Favorsky-Umlagerung, nämlich eine quasi-Favorsky-Umlagerung, dar. Die nun gebildete Verbindung E enthält zwei C-Atome mehr als die gesuchte Verbindung X. Die Gruppen, die diese Atome enthalten, werden in Diisopropylbenzol bei 100°C bei der Behandlung mit Thionylchlorid und tert-Butylhydroperoxid reduktiv eliminiert.

In der Folgezeit wurde Verbesserungen und neue Herstellungsmethoden von X entwickelt. Die Chemie der Verbindung wird noch intensiv erforscht.

#### Fragen und Aufgaben

- 1. Um welche Verbindung handelt es sich bei X?
- 2. Wer entwickelte die erste Synthese?
- Formulieren Sie die Synthese von X mit allen Zwischenstufen.
- 4. Formulieren Sie die Mechanismen der Umlagerungen.

Autor: Eugen Merkul

Lösungen bitte an:

Max Hofmann

Physikalisch-Chemisches Institut

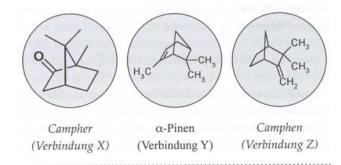
Universität Heidelberg Im Neuenheimer Feld 253

69120 Heidelberg

## Auflösung der Knobelseite 2003:

Die gesuchte Verbindung X ist der Campher. Campher kann aus dem Terpen α-Pinen (Verbindung Y) hergestellt werden, das sich in Gegenwart von Titandioxid als acide Komponente bei 180 °C in Camphen (Verbindung Z) umlagert. Durch Addition von Essigsäure und katalytischer Wirkung von Schwefelsäure, nachfolgender Hydrolyse des entstehenden Acetats und anschließender Oxidation entsteht optisch inaktives Camphen. Von Camphen existiert trotz der vier Chiralitätszentren statt der erwarteten zwei nur ein Enantiomerenpaar. Dies ist bedingt durch die C-Brücke, die die beiden chiralen C-Atome miteinander verbindet und somit nur eine *cis*-Anordnung der Substituenten ermöglicht.

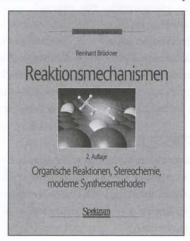
Der Buchpreis, die 2. Auflage des Buches "Reaktionsmechanismen" von R. Brückner, geht an Thomas Müller aus Suhl. Herzlichen Glückwunsch!



## Buchvorstellung

#### Reinhard Brückner - Reaktionsmechanismen

Organische Reaktionen, Stereochemie, moderne Synthesemethoden



Spektrum Akademischer Vlg • ISBN: 3-8274-1189-0 • Einband: Gebunden • Seiten/Umfang: 864 Seiten 2. Auflage 11.2002 • 69,95 Eur[D] / 72,00 Eur[A] / 112,00 sFr

Der "neue" Brückner ist ein auffälliges Buch: leuchtend orange sind nicht viele Bücher in der Chemie. Aber nicht nur das Äußere sondern auch der Inhalt kann sich sehen lassen:

- Substitutions-, Additions- und Eliminierungsreaktionen
- · Substitution am Aromaten
- · Carboxyle, Nitrile und Kohlensäurederivate
- · Addition von Nukleophilen an Carbonylverbindungen
- Umsetzungen von
   P- oder S-stabilisierten C-Nucleophilen
- Alkalimetallenolate
- Umlagerungen
- Reduktionen und Oxidationen
- Kupplungsreaktionen

Und das sind nur einige Schlagwörter aus dem Inhaltsverzeichnis! Auf den über 800 Seiten findet sich noch vieles mehr, insbesondere viele Prinzipien der asymmetrischen Katalyse, moderne Reaktionen u.a. die palladium-vermittelten Kreuzkupplungen, Addition von C-Nukleophilen an Cabonylverbindungen sowie viele Erklärungen, Synthesen und Namensreaktionen. Generell ist das Buch für Leute im Grund- und Hauptstudium gedacht.

Der Clou: ein roter Balken am Rand markiert den "Vordiplomsstoff". Der ist sicher nicht an allen Unis gleich, aber es hilft doch ungemein bei der Orientierung und bei der Selbstkontrolle. Dazu kommen etliche Literaturstellen immer am Ende des jeweiligen Kapitels für die, die es genauer wissen möchten oder müssen.

Das Buch ist im Zweifarbdruck gestaltet (schwarz und rot) und in jedem Schema gibt es rote "Elektronenverschiebepfeile", was insbesondere bei komplizierten Reaktionen sehr hilfreich ist. Hier helfen einem besonders die vielen Abbildungen, die ausgezeichnet gemacht sind, so dass man sich endlich vorstellen kann, warum und wie eine Reaktion funktioniert. Darüber hinaus werden im Text nicht nur der Mechanismus sondern auch die verschiedenen Einflüsse auf den Reaktionsverlauf logisch diskutiert und verständlich erklärt. Das Buch ist sehr angenehm geschrieben, so dass es Spaß macht darin zu lesen.

Einziger Wermutstropfen sind die Indices: Es gibt ein Namens- und Sachverzeichnis, eines für Namensreaktionen, die Ausgangsmaterialien der besprochenen Synthesen erhalten ein eigenes Verzeichnis wie auch die Reagenzien und die Zielmoleküle. So ist es manchmal etwas schwierig, in welchem Verzeichnis sich das gewünschte Wort denn findet. Aber das ist zu verschmerzen, denn als Nachschlagewerk ist der Brückner sowieso nicht gedacht. So empfiehlt es sich auch, immer ein ganzes Kapitel zu lesen, statt nur einiger Absätze, da die Kapitel in sich recht gut geschlossene Einheiten bilden.

Ich habe den "neuen" Brückner selbst zur Vorbereitung auf das Diplom genutzt und kann ihn uneingeschränkt empfehlen. 70 Euro sind zwar kein Pappenstiel, aber für ein Buch über organische Chemie liegt das immer noch im erschwinglicheren Bereich. Kurz gesagt: ein Buch, das jeder Chemiestudent haben sollte!

Stefan Wetzel, Uni Heidelberg

## Vielen Dank!

Das deutsche Auswahlverfahren zur Internationalen Chemie-Olympiade und der Förderverein Chemie-Olympiade e. V. wurden 2003/2004 unterstützt durch:

## Organisation des Wettbewerbs

- Institut f
  ür die P
  ädagogik der Naturwissenschaften an der Universit
  ät Kiel (IPN)
- im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Berlin
- in Zusammenarbeit mit den Kultusministerien und Schulbehörden der einzelnen Bundesländer
- und den Landesbeauftragten der Chemie-Olympiade in den Bundesländern
- sowie vielen engagierten Lehrerinnen und Lehrern

### Auswahlverfahren

- Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V., Frankfurt/M. (Gratisabonnements "Chemie in unserer Zeit")
- Studienstiftung des deutschen Volkes e.V., Bonn (Aufnahme der vier besten Schüler)
- Kuratorium für die Tagung der Nobelpreisträger, Lindau (Teilnahmemöglichkeit für die Schüler der vierten Runde)
- Fonds der Chemischen Industrie, Frankfurt/M. (Finanzierung Schnupperpraktika und Teilnahme der Schüler an Nobelpreisträgertagung in Lindau)

#### Landesseminare

- Bayer AG Leverkusen
- Fa. Cognis, Düsseldorf
- Universität Köln
- · Forschungszentrum Jülich GmbH
- Universität Hannover
- Solvay Deutschland GmbH, Hannover
- InfraServ Gendorf, Burgkirchen
- Wacker-Chemie GmbH, Burghausen
- Staatsinstitut f
  ür Schulp
  ädagogik und Bildungsforschung, M
  ünchen
- Stiftung für Bildung und Behindertenförderung, Stuttgart
- Landesinstitut f
  ür Erziehung und Unterricht, Stuttgart
- · Ministerium für Erziehung und Unterricht, Stuttgart
- BASF AG, Ludwigshafen
- Universität Kaiserslautern

- · Boehringer Ingelheim Pharma KG, Ingelheim
- · Fachhochschule Bingen
- Fachhochschule Merseburg / Dow Chemical Company Foundation
- Provadis Partner f
   ür Bildung und Beratung GmbH, Frankfurt/M.
- Verbände der chemischen Industrie:
   Chemieverbände Baden-Württemberg, Baden-Baden Landesverband Bayern, München Landesverband Nord, Hannover Landesverband Hessen, Frankfurt/Main Landesverband Rheinland-Pfalz, Ludwigshafen Landesverband Ost, Halle

## Schnupperpraktika

- Fritz-Haber Institut der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin
- · MPI für molekulare Physiologie, Dortmund
- · MPI für Kohleforschung, Mühlheim a. d. Ruhr
- · MPI für Biophysik, Frankfurt a. Main
- MPI für Biophysikalische Chemie, Göttingen
- · MPI für Polymerforschung, Mainz
- MPI für Festkörperforschung, Stuttgart
- MPI f
   ür Kolloid- und Grenzfl
   ächenforschung, Golm
- MPI für molekulare Pflanzenphysiologie, Golm
- · Bayer AG Leverkusen
- · BASF AG Ludwigshafen
- · Universität Tübingen
- Universität Kassel
- Universität Regensburg
- Universität Leipzig
- Universität Halle
- Universität Köln
- LMU München

## Zeitschrift "Faszination Chemie"

- Henkel
- Paetec Verlag f
   ür Bildungsmedien
- Fonds der Chemischen Industrie, Frankfurt/M.

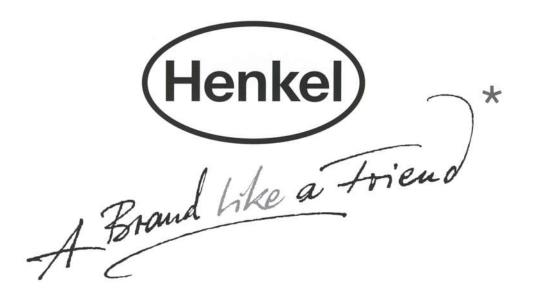
Wir danken herzlich all unseren Partnern

für ihre Unterstützung!

## Förderverein Chemie-Olympiade e.V.



## AUFNAHMEANTRAG ☐ HERR ☐ FRAU VORNAME..... GEBURTSDATUM Alle Mitteilungen an meine (bitte ankreuzen) ☐ STUDIEN- BZW DIENSTANSCHRIFT: ☐ PRIVATANSCHRIFT: ...... STR / POSTF..... PLZ / ORT..... E-MAIL.... Kann die Adresse an interessierte Schüler und Mitglieder weitergegeben werden? 🔲 Ja 🗀 Nein ICHO-TEILNAHME? (RUNDE / JAHR)..... FACHGEBIET......TÄTIG ALS / BEI:..... ORT / DATUM......UNTERSCHRIFT..... Senden Sie das ausgefüllte Formular bitte an die Schriftführerin: Kerstin Breitbach • Saarweg 2 • D-53129 Bonn EINZUGSERMÄCHTIGUNG Hiermit ermächtige ich den Förderverein Chemie-Olympiade e.V. widerruflich zur Abbuchung des jährl. Mitgliedsbeitrags von derzeit Euro 15,- (empf. für Schüler und Studenten) ☐ eines erhöhten Mitgliedsbeitrags von Euro ...... (empf. für berufstätige Mitglieder) Schülern, die die Einzugsermächtigung nutzen, wird der Mitgliedsbeitrag des ersten Jahres erlassen. BANK...... BLZ..... KONTONUMMER......INHABER..... ORT / DATUM......UNTERSCHRIFT.....



# Menschen machen Marken erfolgreich!

Denken Sie in neuen Dimensionen?

Dann sind Sie bei uns richtig.

Faszinieren Sie innovative Technologien?

Biotechnologie

Nanotechnologie

Produktionstechnologie

Die erschließen wir in Forschung und Technologie bei Henkel.

Sind Sie neugierig und kreativ?

Dann können Sie sich bei uns in einem interdisziplinären Netzwerk entfalten.

Interesse?

Nehmen Sie Kontakt auf!

<sup>\*</sup>Weitere Informationen: henkel.de oder +49 211 797 9468