



Forschungsmagazin der Universität Regensburg

18

Phosphorchemie

In die Röhre geschaut
Chemie in festen Lösungsmitteln

Wissenschaftsgeschichte

Kugeln und Stäbchen
Vom kulturellen Ursprung chemischer Modelle

Humanismusforschung

Inszenierte Universität
Akademische Festkultur in der Frühen Neuzeit

Quantenstatistische Physik

Nanomotoren mit Rauschantrieb
Quantenratschen

Blickpunkt

Die Schöne oder das Biest?
Modelle sollen Mathematik näher bringen

Biologische Energiewandlung

Die Oxidation von Chinol
Ein Schlüsselschritt in Photosynthese und Atmung

Wissenspoetologie

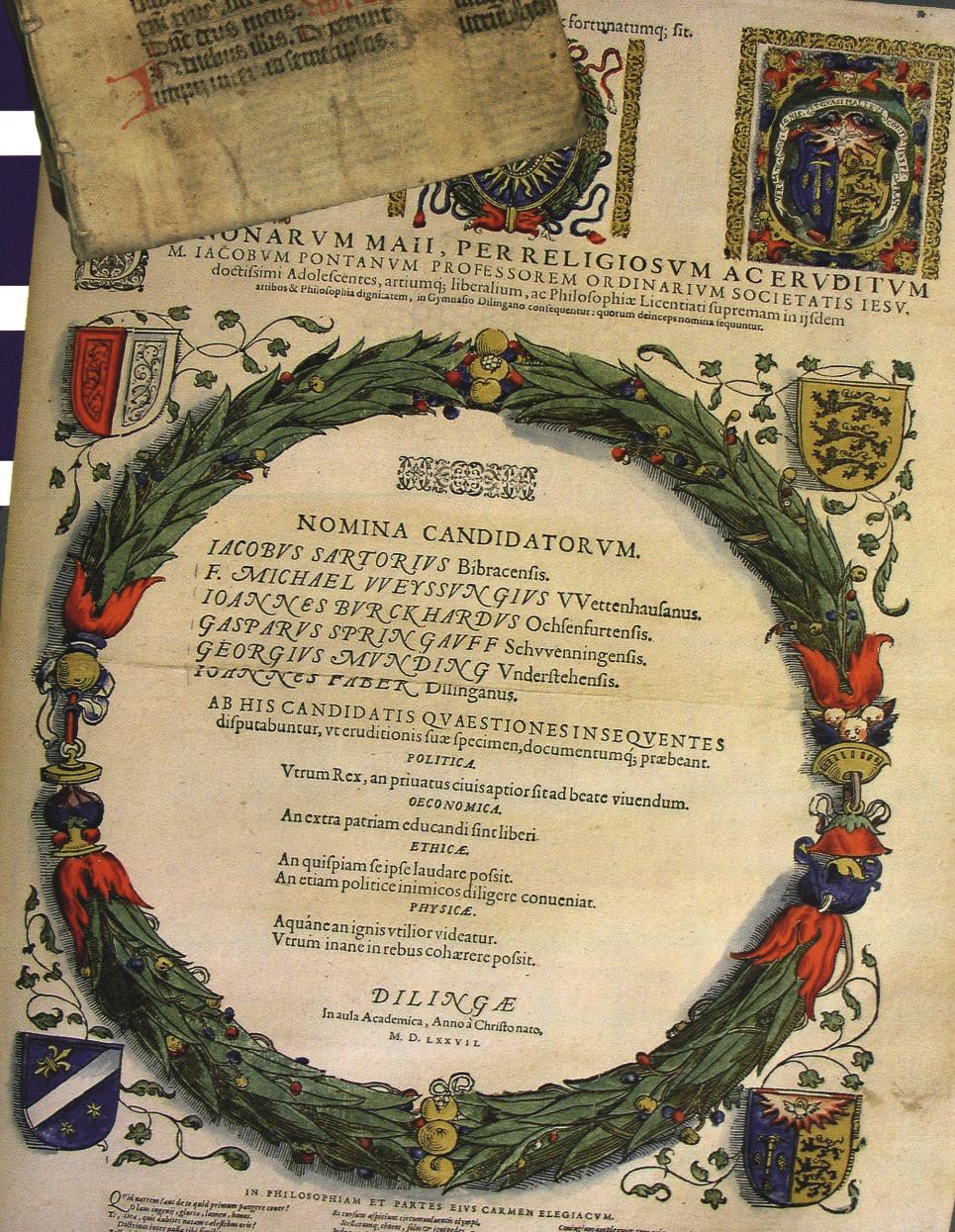
Experimente am eigenen Körper
Heinrich von Kleist
und die Experimentalkulturen der Romantik

Werbeforschung

Weißer Riese und Persil-Frau
Das Historische Werbefunkarchiv
der Universität Regensburg

Gründungsforschung

Are We Meeting the Needs
of our Potential Entrepreneurs?
Regional Differences in Entrepreneurship Education



Was bewegt uns morgen? Mit Wasserstoff bleiben wir mobil.



Mehr zum Thema?
Wir halten Sie gerne
auf dem Laufenden:

BMW AG
Abt. Information
Postfach 50 02 44
80972 München
www.bmwgroup.com

Eine Welt ohne Automobil ist für uns unvorstellbar. Mit emissionsarmen Fahrzeugen die Auflagen des Gesetzgebers zu unterschreiten, reicht langfristig allerdings nicht aus. Um unsere mobile Zukunft zu gestalten, müssen wir deshalb auch andere Energieträger erforschen und neue, passende Antriebskonzepte entwickeln: Der Wasserstoffantrieb arbeitet emissionsfrei. Seine Leistungsfähigkeit haben wir unter Beweis gestellt. Jetzt fehlen nur noch der politische Konsens und die Infrastruktur für die Herstellung und Verteilung des Wasserstoffs. Gemeinsam können wir es schaffen.



BMW Group

Blick in die Wissenschaft
Forschungsmagazin der
Universität Regensburg

ISSN 0942-928-X
Heft 18/15. Jahrgang

Herausgeber
Prof. Dr. phil. Alf C. Zimmer
Rektor der Universität Regensburg

Redakitionsbeirat
Prof. Dr. med. Michael Landthaler
Prof. Dr. rer. pol. Susanne Leist
Prof. Dr. rer. nat. Christoph Meinel
Prof. Dr. phil. Ursula Regener
Prof. Dr. rer. nat. Karl F. Renk
Prof. Dr. rer. nat. Klaus Richter
Prof. Dr. phil. Hans Rott

Universität Regensburg
93040 Regensburg
Telefon (0941) 943-23 00
Telefax (0941) 943-33 10
E-Mail Pressestelle:
rudolf.dietze@verwaltung.uni-regensburg.de

Verlag
Verlag Schnell & Steiner GmbH
Leibnizstraße 13
93055 Regensburg
Telefon (0941) 7 87 85-20
Telefax (0941) 7 87 85-16
E-Mail:
info@schnell-und-steiner.de
www.schnell-und-steiner.de
Geschäfts- und Verlagsleitung:
Dr. Albrecht Weiland
(verantw. für Inhalt und Anzeigen)

Abonnementsservice
Heidi Bernhardt
E-Mail:
h.bernhardt@schnell-und-steiner.de

Anzeigenverwaltung
Andrea Bartmann
E-Mail:
a.bartmann@schnell-und-steiner.de

Herstellung
ERHARDI DRUCK GmbH,
Regensburg
E-Mail: info@erhardi.de

Gestaltung
Irmgard Voigt, München
E-Mail: irm.voigt@t-online.de

Papier MD Bavaria matt

Auflage 5 000

Erscheint jährlich Mitte November.

Einzelpreis € 7,50

Jahresabonnement
€ 5,50/ermäßigt € 4,00
für Schüler, Studenten und
Akademiker im Vorbereitungsdienst
(inkl. 7% MwSt)
zgl. Versandkostenpauschale € 1,64;
Bestellungen beim Verlag

Für Mitglieder des Vereins der
ehemaligen Studierenden der
Universität Regensburg e.V.
und des Vereins der Freunde der
Universität Regensburg e.V. ist
der Bezug des Forschungsmagazins
im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Autorenportraits
altrofoto.de

Titelbilder

oben:
Handschrift Studienbibliothek
Dillingen (StuBD) XV 399,
Pergament-Umschlag.
Foto: MultiMediaZentrum
der Universitätsbibliothek
Regensburg.
unten: Katalog der Dillinger
Magisterpromotion vom
9. Mai 1577. Foto: Autor.

Die bislang unbekannte Handschrift StuBD XV 399 (21 x 17 cm) enthält die umfassendste Sammlung von Werken des späthumanistischen Latinisten Jakob Pontanus SJ (1542–1626) aus seiner Dillinger Lehrtätigkeit 1572–1582. Reden und Disputationen zu Promotionen, deren kolorierte Kataloge im Sammelband XVγ 133 (48 x 34,5 cm) erhalten sind, Dramen und Gedichte zu akademischen Festen zeigen auch die Strategien multimedialer Präsentation der jungen Universität in Rhetorik, Poesie und Drama.

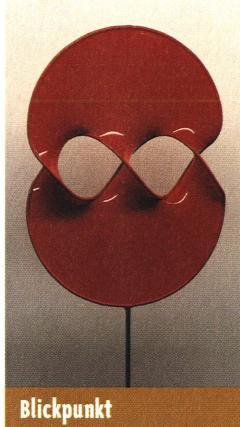
Thema *Humanismusforschung* ► Seite 20

Editorial

**Alf C.
Zimmer**

Prof. Dr. Alf C. Zimmer
Rektor
der Universität Regensburg
Herausgeber





Blickpunkt

Die Schöne oder das Biest?

Modelle sollen Mathematik näher bringen

Seite 36

Keine Lehrmaterialsammlung, keine bloßen Abbilder von geometrischen Objekten: die Regensburger Mathematischen Modelle wollen für die Mathematik werben und zeigen, was die Welt (der Mathematik) im Innersten zusammenhält.



Biologische Energiewandlung

Die Oxidation von Chinol

Ein Schlüsselschritt in Photosynthese und Atmung

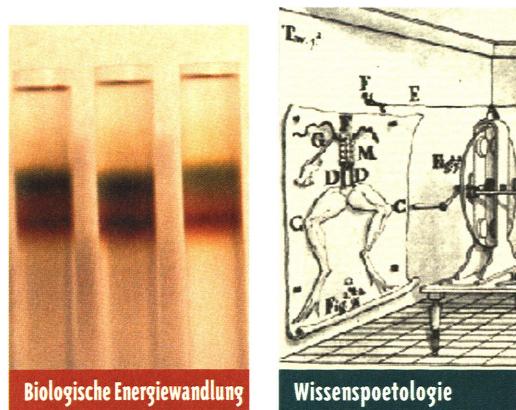
Seite 40

Zur Energiegewinnung in Photosynthese und Atmung wird die Reaktivität einer radikalen Zwischenverbindung kontrolliert genutzt. Der ausgeklügelte Mechanismus ist so alt wie das Leben selbst und läuft auch in unseren Zellen ab.

Günter Hauska
Prof. für Botanik
Michael Schütz
Forschungsprojektleiter
Iris Maldener
Wiss. Oberassistentin
guenther.hauska@biologie.uni-r.de



Uwe Jannsen
Prof. für Mathematik
uwe.jannsen@mathematik.uni-r.de



Wissenspoetologie

Experimente am eigenen Körper

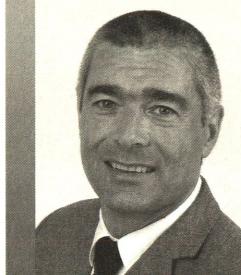
Heinrich von Kleist und die Experimentalkulturen der Romantik

Seite 48

Dramatiker, der bis heute internationale Theaterbühnen füllt, Schöpfer von Prosa-Texten, die seismographisch die Befindlichkeit des Subjekts in der Moderne vorwegnehmen. Was kaum einer weiß: Kleist nimmt an den Experimentalkulturen seiner Epoche regen Anteil. Er verwertet zahlreiche ihrer Gedankenfiguren für seine Literatur.

Iris Maldener
Wiss. Oberassistentin

Jürgen Daiber
Prof. für Neuere Deutsche Literaturwissenschaft
juergen.daiber@psk.uni-r.de



uni-regensburg.de/hwa/advanced.php

iothek Regensburg

Unser Service für Sie Literatur

> Unser Service für Sie > MultiMediaZentrum

Werbespots finden

Firma: Henkel

Marke: Persil

Beschreibung: Dem Liebsten das Beste

Produktgruppe: Waschmittel

Sprecher:

Musiktitel: London-Suite

Komponist:

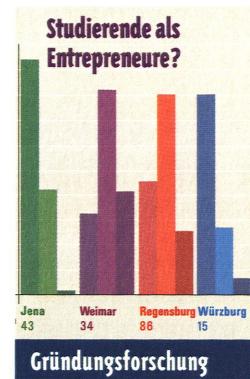
Bemerkung:

Sprache: dänisch deutsch englisch

Nur Reinaufnahmen

Einfach Erweite

Werbeforschung



Gründungsforschung

Are We Meeting the Needs of our Potential Entrepreneurs? Regional Differences in Entrepreneurship Education

Seite 62 English

Entrepreneurship Education, die Ausbildung zum Unternehmer, findet vermehrt Eingang in die Lehrpläne an deutschen Universitäten. Doch gründen Studierende deshalb schneller oder öfter? Eine Evaluation durch die Nachfrageseite.

Kerstin Wagner
Wiss. Mitarbeiterin
Frank Bau
Personalreferent
Michael Dowling
Prof. für Innovations- und Technologiemanagement
Jürgen Schmude
Prof. für Wirtschaftsgeographie
kerstin.wagner@fh-htwchur.ch



Foto links: privat

In die Röhre geschaut

Chemie in festen Lösungsmitteln

Phosphorchemie

Wie kann man heute noch neue Modifikationen chemischer Elemente herstellen, ohne extreme Reaktionsbedingungen – z. B. hohen Druck, wie er im Erdinneren auftritt – anzuwenden? Dass es lohnenswert ist, sich über solche Fragen Gedanken zu machen, zeigt die inzwischen jedem naturwissenschaftlich Interessierten bekannte Entdeckung der Fullerene vor wenigen Jahren. Dabei handelt es sich um neue Formen des Kohlenstoffs, den wir sonst als Graphit und Diamant kennen und schätzen. Solche sog. allotropen Formen oder Modifikationen einer Substanz zeigen eine unterschiedliche Verknüpfung der Atome untereinander. Die Fullerene haben aufgrund ihrer hohen Symmetrie einen besonderen ästhetischen Reiz. Daneben ist es im Bereich der chemischen Grundlagenforschung eine besondere Herausforderung, neue allotrope Formen der Elemente zu entdecken und zu charakterisieren. Ein weiteres Element, für das nach theoretischen Untersuchungen eine Reihe neuer, experimentell bisher nicht nachgewiesener Modifikationen denkbar sind, ist Phosphor. Für den Experimentator liegt ein besonderer Reiz darin, durch eine geschickte Reaktionsführung einen Zugang zu diesen bisher lediglich berechneten Modifikationen zu finden.

Ein kurzer Blick in die Vergangenheit

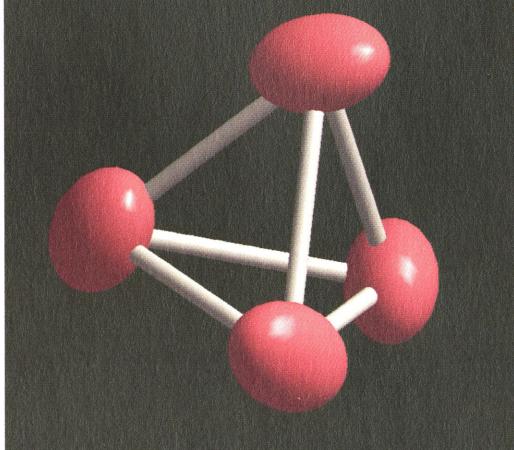
Elementarer Phosphor wurde vom Alchimisten Hennig Brandt im Jahre 1669 entdeckt, als dieser auf der Suche nach dem Stein der Weisen zur Umwandlung von Silber in Gold eine ganze Reihe von Experimenten unternahm. Dabei dampfte er unter anderem »goldgelben Harn« zur Trockne ein und glühte den Rückstand unter Luftausschluss. Das

1

Das P_4 -Molekül, wie es im sog. weißen Phosphor vorliegt. Die Bindungswinkel von 60° führen zur sehr hohen Reaktivität dieses Moleküls.

● Phosphor

P_4 -Tetraeder bilden hochreaktiven weißen Phosphor



Reaktionsprodukt P_4 1 leuchtete im Dunkeln 2. Heute weiß man, dass das im Urin enthaltene Salz $NaNH_4HPO_4$ durch Kohlenstoff reduziert wird, der beim Erhitzen der organischen Substanzen unter Luftausschluss entsteht. Das Reaktionsprodukt enthält unter anderem den hochreaktiven weißen Phosphor, in dem vier Atome zu einem Molekül verbunden sind 1.

Aufgrund der gespannten Bindungswinkel von 60° – Phosphor bevorzugt Winkel von ca. 100° – reagiert weißer Phosphor bereitwillig mit vielen anderen Elementen, wie z. B. mit Sauerstoff, so dass er sich bei Luutzutritt spontan entzündet. Unter anderem aufgrund dieser hohen Reaktivität hat weißer Phosphor während des Zweiten Weltkriegs und – wie man erschreckenderweise liest – offenbar auch noch im letzten Irakkrieg in Form von Brandbomben eine traurige Bedeutung erlangt. Als Phosphat wird er vielseitig verwendet, z. B. als Kunstdünger, und ist auch ein wichtiger Bestandteil des menschlichen Körpers. An dieser Stelle sei nur auf Knochen, Zähne und den biologischen Energiespeicher Adenosintriphosphat hingewiesen.

Weißer Phosphor ist der Ausgangsstoff für alle technisch verwendeten bzw. produzierten Phosphorverbindungen. Unter Luftausschluss wandelt sich der weiße Phosphor in andere Modifikationen um. Dabei hängt es von den Reaktionsbedingungen – also vor allem Druck und Temperatur – ab, welche Modifikation entsteht. Die Bindungswinkel an den P-Atomen betragen dann ca. 100° , d. h. die Umwandlung von P_4 führt zu wesentlich weniger reaktiven allotropen Formen des Phosphors. Aus einer Bleischmelze hat der Physiker Johann Wilhelm Hittorf 1865 den violetten oder so genannten Hittorfischen Phosphor erhalten. Dieser wurde im Jahre 1965 von Herbert Thurn und Heinz Krebs strukturell charakterisiert 3. Heute kennt man viele Phosphorverbindungen mit einem polymeren Aufbau. Für viele dieser Substanzen beobachtet man den typischen fünfeckigen Querschnitt der Polymere, wie er auch beim Hittorfischen Phosphor vorliegt.

Unter erhöhtem Druck und hoher Temperatur entsteht schwarzer Phosphor 4, der wiederum in verschiedenen Formen vorkommt. Allein diese kurze Übersicht zeigt schon, wie flexibel elementarer Phosphor hinsichtlich der Verknüpfungsmöglichkeiten der Atome ist.

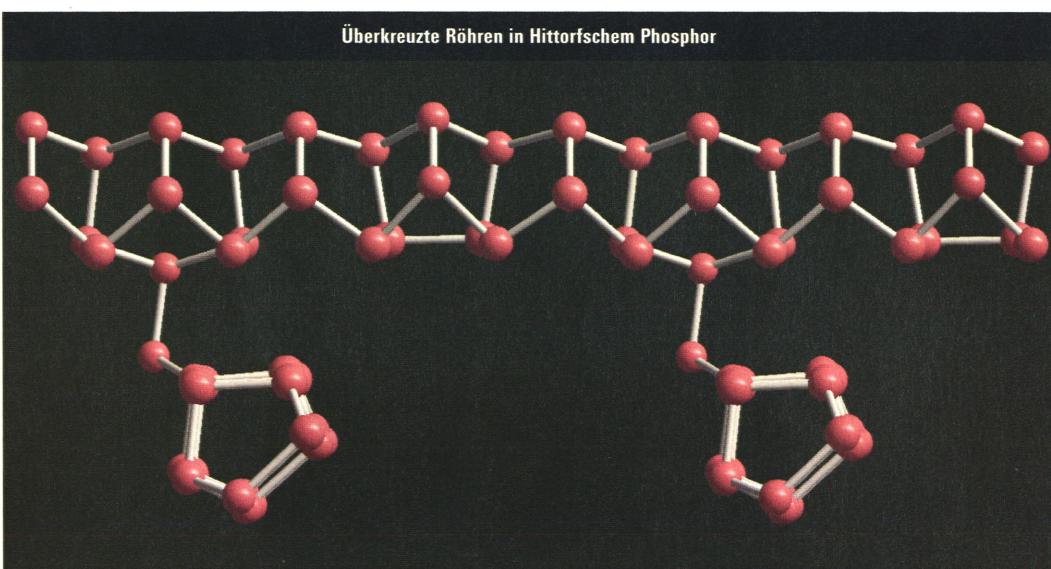
Neue Entwicklungen

Vor einigen Jahren wurde die Energielandschaft einer Vielzahl denkbarer Käfige und Polymere aus



2

Der Alchimist auf der Suche nach dem Stein der Weisen. Beim Eindampfen von goldgelbem Harn unter Luftausschluss bildet sich als Reaktionsprodukt weißer Phosphor, der sich durch seine Lumineszenz auszeichnet.
Joseph Wright of Derby,
»The Alchymist, in Search of the Philosopher's Stone, Discovers Phosphorus, and prays for the successful Conclusion of his operation, as was the custom of the Ancient Chymical Astrologers« (1771/1795), Öl/Leinwand,
127 x 102 cm, Derby Museum and Art Gallery, Derby, England.

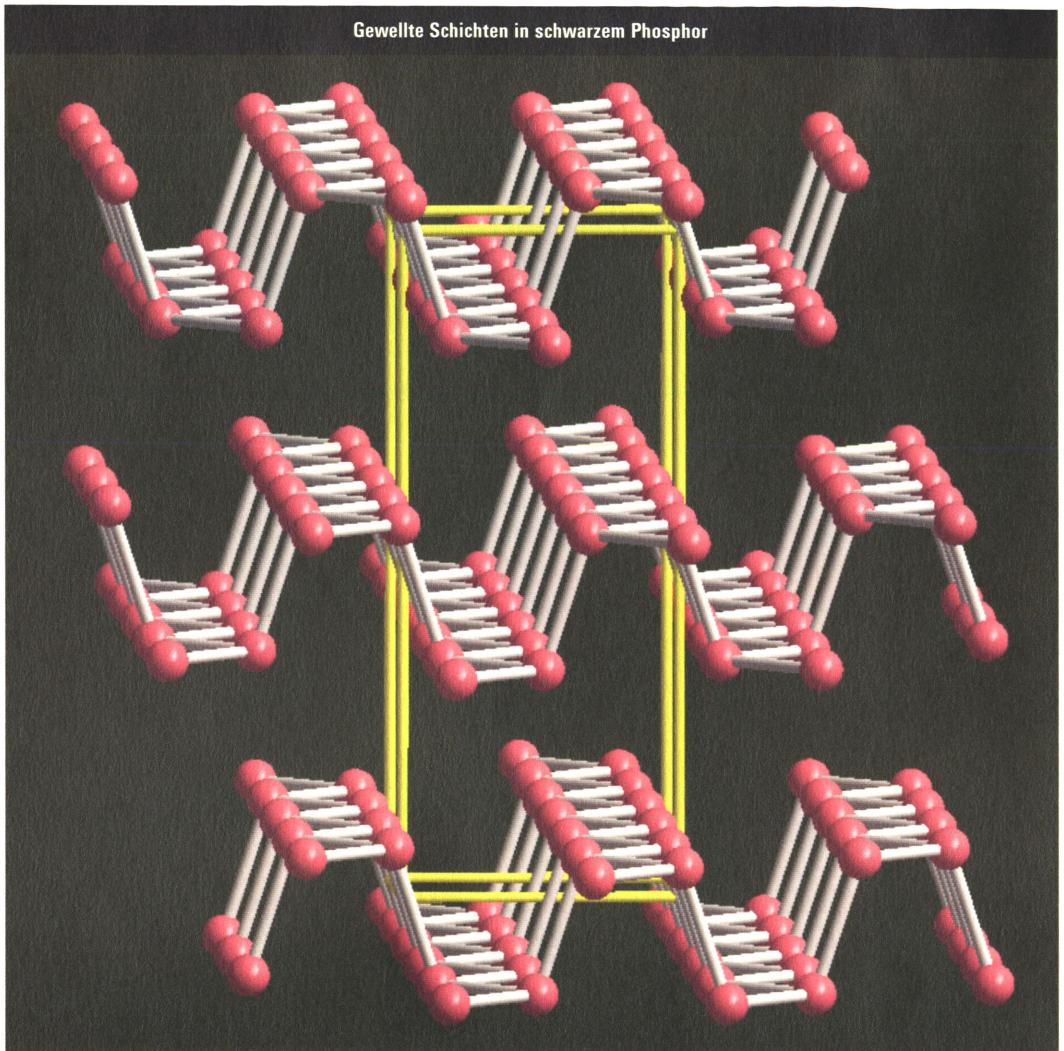


3

Ausschnitt aus der Kristallstruktur des Hittorfischen Phosphors.

4

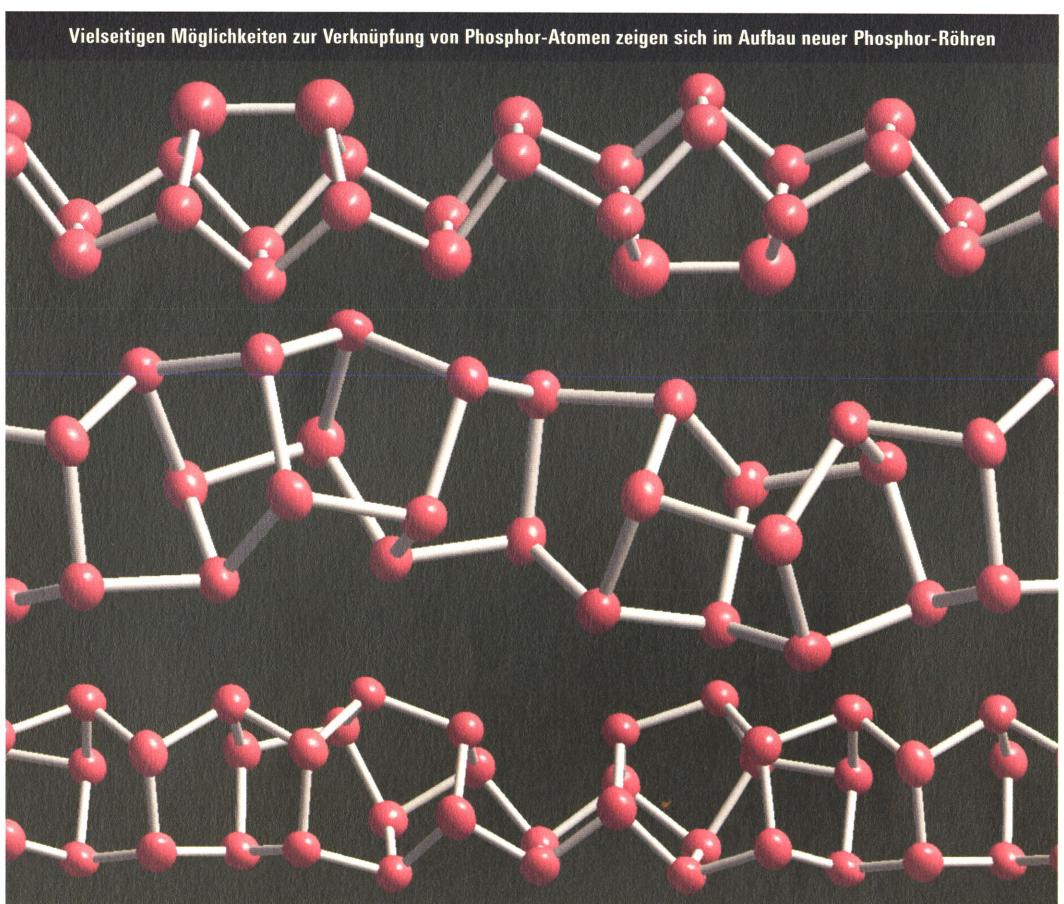
Ausschnitt aus der Struktur von orthorhombrischem schwarzem Phosphor. Diese Modifikation bildet sich aus weißem Phosphor bei Drücken oberhalb von ca. 12 kbar und Temperaturen über 200 °Celsius.
● Phosphor



5

In jüngster Zeit konnten einige neue polymere Verknüpfungsmuster für Phosphor theoretisch vorhergesagt und experimentell nachgewiesen werden:
Das Polymer $\infty^1[P_{12}]$ in $(CuI)_3P_{12}$.

Das Polymer $\infty^1[P_{12}]$ in $(CuI)_3P_{12}$.



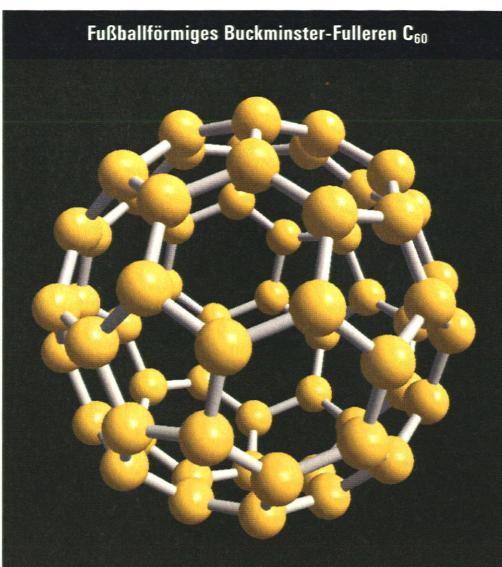
Phosphoratomen durch umfangreiche Rechnungen bestimmt. Dabei stellte sich heraus, dass es aus thermodynamischer Sicht durchaus Alternativen zu Hittorf'schem Phosphor gibt. Allein, einen experimentellen Zugang zu diesen neuen Modifikationen des Phosphors konnten die Rechnungen naturgemäß nicht aufzeigen.

Ein Zugang wurde in den letzten Jahren durch umfangreiche experimentelle Arbeiten gefunden. Basierend auf Untersuchungen zur Synthese und Optimierung neuer ionenleitender Materialien konnte gezeigt werden, dass besonders Kupferiodid geeignet ist als „festes Lösungsmittel“ für solche Moleküle und Polymere aus Hauptgruppenelementen. So gelang es, durch Variation der Zusammensetzung der Reaktionspartner CuI und P sowie der Synthesebedingungen, die theoretisch vorhergesagten Polymere P_{12} und P_{14} als Addukte an Kupferiodid herzustellen. Die Polymere P_{12} treten dabei in zwei verschiedenen Formen auf [5].

Nachdem die Adduktverbindungen aus Kupferiodid und den neuartigen Phosphorpolymeren vorgelagen, stellte sich die Frage, ob man die darin eingelagerten Ausschnitte aus den bisher unbekannten Elementstrukturen des Phosphors durch eine chemische Reaktion unversehrt herauslösen könnte. Gerade vor dem Hintergrund des immensen Aufsehens, das die Entdeckung der Fullerene [6] vor ca. einem Jahrzehnt erregte und das mit der Verleihung des Nobelpreises für Chemie vor genau zehn Jahren gipfelte, schien diese Isolierung neuer Phosphormodifikationen ohne die Anwendung extremer physikalischer Bedingungen – z.B. sehr hoher Drücke – besonders reizvoll.

Über eine ganze Reihe von Jahren haben wir daher in verschiedenen Projekten versucht, die CuI-Matrix von den eingelagerten Hauptgruppenmolekülen abzutrennen, um diese in reiner Form zu isolieren. Dabei war es wichtig, eine Reaktionsführung zu finden, die den Phosphor quantitativ abtrennt, ohne dass sich die Struktur der Polymere ändert. Schließlich gelang es uns nach etwa zehn Jahren kurz vor einer konkurrierenden US-amerikanischen Gruppe durch ein Verfahren, das allgemein als Cyanidlaugebekannt ist und auch heute noch zur Goldgewinnung eingesetzt wird, das Kupfer zu komplexieren und dabei zumindest die Phosphorpolymere unversehrt zu erhalten. Kleinere Käfigmoleküle zersetzen sich im Laufe dieser Reaktion. Kupfer bildet bei der Umsetzung mit Cyaniden ganz analog zu Gold und Silber lösliche Cyano-Komplexe und kann von den Phosphorpolymeren getrennt werden. Zurück bleiben unlösliche Polymere, deren Charakterisierung nicht mit den in der Festkörperchemie üblichen Verfahren möglich ist. Aufgrund der Herstellungsweise bilden die Polymere keinen wohlgeordneten Kristallverband, sondern fallen als Bündel von einzelnen Fasern mit einem Durchmesser von weniger als einem Nanometer (10^{-9} m) an. Damit gelingt ein Zugang in eine Dimension, die heute nur bei wenigen Substanzen gezielt erreicht werden kann. Aufgrund des vergleichsweise großen Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen verhalten sich solche Nanomaterialien in der Regel ganz anders als die

Fußballförmiges Buckminster-Fullerene C_{60}

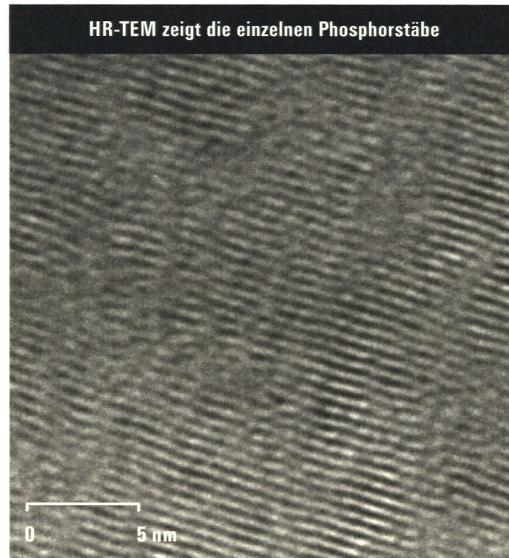


6

Struktur des Fullerene-Moleküls C_{60} . Im Jahr 1996 wurde für die Entdeckung dieses und verwandter Moleküle der Nobelpreis für Chemie verliehen.

● Kohlenstoff

HR-TEM zeigt die einzelnen Phosphorstäbe



7

Durch hochauflösende transmissionselektronenmikroskopische Aufnahmen (HR-TEM) kann die parallele Anordnung der einzelnen Phosphorstäbchen nachgewiesen werden.

Materialien, mit denen wir es üblicherweise zu tun haben. Bei Nanomaterialien spielt die relativ große Zahl von Atomen an der Oberfläche eine entscheidende Rolle für die Eigenschaften. Umso erstaunlicher ist es, dass die von uns neu hergestellten Phosphorpolymere im Gegensatz zu weißem Phosphor auch in fein verteilter Form bei Zimmertemperatur beständig gegen Luftsauerstoff sind, obwohl alle darin vorliegenden Atome als Oberflächenatome betrachtet werden können.

Wenn die in der Festkörperforschung üblicherweise verwendeten Beugungsverfahren zur Aufklärung der Struktur einer unbekannten Substanz nicht angewendet werden können, da sie nicht kristallin vorliegt, müssen andere Verfahren eingesetzt werden. So gelang die Charakterisierung der Nanostäbchen im Hinblick auf ihren molekularen Aufbau mit Hilfe der hochauflösenden Transmissionselektronenmikroskopie, einem Untersuchungsverfahren, das in Idealfällen eine nahezu atomare Auflösung liefert. Transmissionselektronenmikroskopische Aufnahmen des Rückstands, der durch die Cyanidlauge aus den Kupferhalogenid-Addukten erhalten wurde, belegen eindeutig, dass es sich dabei um Stäbchen mit einem Durchmesser von einigen Zehntel Nanometern handelt [7].

8

Strukturinformationen erhält man heute auf vielen Wegen. Eine sehr wichtige Methode ist inzwischen die Festkörper-NMR-Spektroskopie.

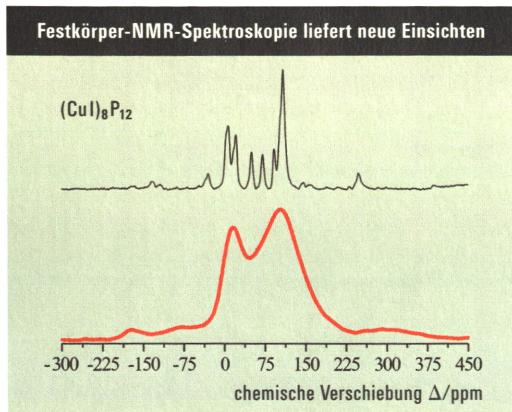
oben:

^{31}P -MAS-Festkörper-NMR Spektrum des kristallinen Addukts $(\text{CuI})_8\text{P}_{12}$ und des daraus erhaltenen Phosphor-Polymer P_{12} (► 5 oben).

Die Verbreiterung der Signale kommt durch die Überführung der hochgeordneten, kristallinen Verbindung in das amorphe Polymer zustande.

unten:

Die rote Kurve ist die sog. Einhüllende des gut aufgelösten Spektrums.



Die chemische Analyse zeigte, dass die Nanostäbchen aus reinem, elementarem Phosphor bestehen. Nachdem der nanoskalige Charakter der Phosphorstäbe belegt war, musste nun mit weiteren Untersuchungsmethoden geklärt werden, ob das Strukturmodell für diese neuen Modifikationen des Phosphors richtig war. Ob man durch die Cyanidlaugerei den Phosphor unverändert aus den Adduktverbindungen herauslösen kann, lässt sich sehr schön mit der Festkörper-NMR-Spektroskopie untersuchen. Phosphor ist ein Element, das man hervorragend mit dieser in Regensburg im Bereich der Biophysik etablierten Methode untersuchen kann. Die kernmagnetischen Resonanzspektren für die Phosphorkerne im kristallinen Addukt $(\text{CuI})_8\text{P}_{12}$ und im daraus isolierten, amorphen Polymer P_{12} zeigen große Ähnlichkeit 8. Die Auflösung für die kristalline Verbindung ist erwartungsgemäß wesentlich besser als für den amorphen Feststoff. Das rot dargestellte Spektrum für das reine Element kann als die Einhüllende des Spektrums für das Addukt $(\text{CuI})_8\text{P}_{12}$ betrachtet werden. Damit ist die strukturelle Form der jeweiligen Phosphorpolymere sicher nachgewiesen.

Auf ganz anderem Weg gelangte eine Dresdener Gruppe kürzlich zu einer weiteren, schon vor etwa 40 Jahren postulierten, faserförmigen Form des

Phosphors. Durch eine geschickte Reaktionsführung gelang es, diese faserförmige Variante des violetten Phosphors zu kristallisieren und die Struktur aufzuklären. Darin liegen dieselben Baueinheiten vor wie im Hittorfischen Phosphor 3. Die Verknüpfung der einzelnen Röhren mit fünfeckigem Querschnitt erfolgt aber nun nicht so, dass die Röhren nahezu senkrecht zueinander angeordnet sind wie in Hittorfsschem Phosphor; in der faserförmigen Variante liegen sie parallel zueinander vor 9.

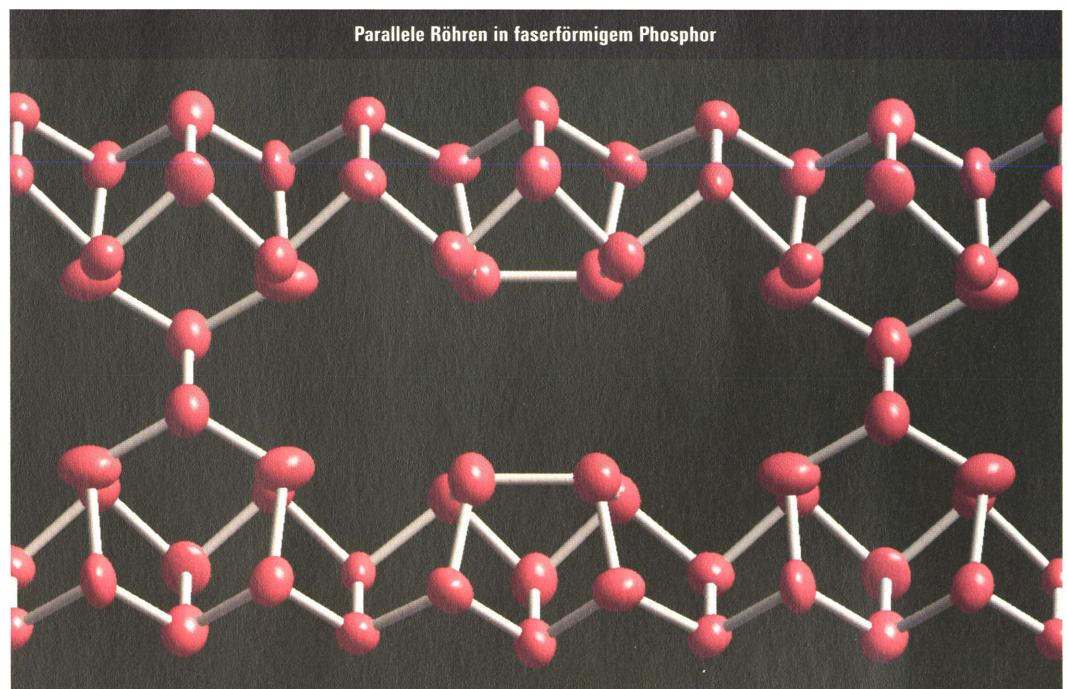
Amorpher roter Phosphor ist ein großtechnisch hergestelltes Produkt, das schon seit vielen Jahren intensiv untersucht wird. Mit den hier beschriebenen Ergebnissen liegt nun eine ganze Reihe von Strukturmodellen dafür vor. Es ist zu vermuten, dass das industrielle Rohprodukt aus einer Mischung verschiedener Modifikationen des Phosphors besteht, wobei die genaue Zusammensetzung von den jeweiligen Herstellungsbedingungen abhängt.

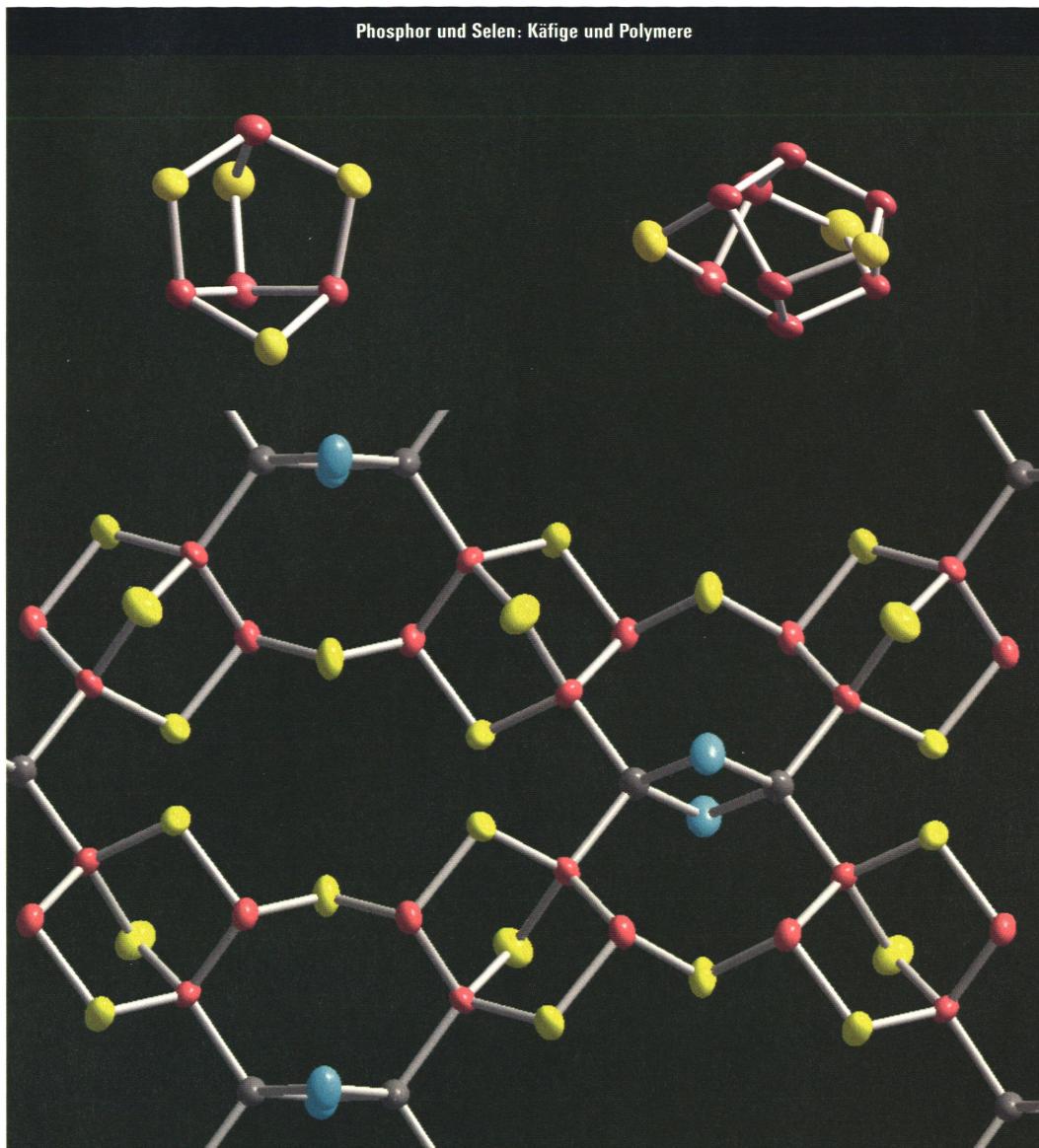
Verwendung von Kupferhalogeniden als Synthesehilfsmittel

Ein weiteres Problem der Grundlagenforschung in der Anorganischen Chemie kann sehr erfolgreich durch die Verwendung von CuI als festem Lösungsmittel gelöst werden. Mischungen aus elementarem Phosphor und elementarem Selen neigen dazu, bei hohen Temperaturen Käfigmoleküle auszubilden. Diese Käfigmoleküle polymerisieren jedoch bei niedrigeren Temperaturen und bilden in der Regel glasartige, das heißt nicht kristalline Feststoffe aus. Nur unter besonderen Bedingungen gelingt es, ein P_4Se_4 -Polymer in reiner Form zu erhalten und zu charakterisieren. Bis vor wenigen Jahren lagen kaum gesicherte Kenntnisse über P-Se-Käfigmoleküle vor. Führt man die identischen Reaktionen von Phosphor und Selen nicht wie üblich durch bloßes Aufschmelzen der Elemente unter Luftschluss durch, sondern gibt definierte Mengen an Kupferiodid zu diesen Reaktionsmischungen, so gelingt es, bei hohen Temperaturen – etwa oberhalb

9

Parallel angeordnete Phosphorstränge im kürzlich charakterisierten faserförmigen Phosphor. Die Baueinheiten sind identisch mit den in 3 gezeigten Röhren, jedoch erfolgt die Verknüpfung untereinander hier in einer anderen Variante.





10

Die Phosphorselenidkäfige

 $\beta\text{-P}_4\text{Se}_4$ (links) und P_8Se_3 (rechts)
sind bisher nur in einer Kupfer-
iodidmatrix zu erhalten.Aus den Käfigen $\beta\text{-P}_4\text{Se}_4$ kann man
durch geeignete Reaktionsführung
das Polymer $\text{P}_4[\text{P}_4\text{Se}_4]$ koordiniert
an CuI (unten) erhalten.

● Phosphor

● Selen

● Iod

● Kupfer

von 400 °C – die Käfige in einer festen Matrix aus CuI einzulagern und so vor der Polymerisation zu schützen. Beispielsweise entstehen die bis dahin zwar postulierten, aber nicht eindeutig nachgewiesenen $\beta\text{-P}_4\text{Se}_4$ -Käfige 10 oben links in $(\text{CuI})_3\text{P}_4\text{Se}_4$ und völlig unerwartet auch die chiralen Moleküle P_8Se_3 in $(\text{CuI})_2\text{P}_8\text{Se}_3$ 10 oben rechts. Ausgehend von $(\text{CuI})_3\text{P}_4\text{Se}_4$ kann durch chemischen Transport in Glasampullen mit geringen Mengen Iod in einem Temperaturgradienten (400 °C nach 300 °C) aus den $\beta\text{-P}_4\text{Se}_4$ -Käfigen das Polymer $\text{P}_4[\text{P}_4\text{Se}_4]$ in einer Umgebung aus Kupferiodid erzeugt werden 10 unten. Diese Reaktion der Phosphor-Selen-Mischung läuft also unabhängig von der Anwesenheit des Kupferiodids ab. Dieses hilft aber, kristalline Proben zu erhalten, die wesentlich besser zu untersuchen und zu charakterisieren sind als glasartige Substanzen.

Ausblick

Nachdem in den hier beschriebenen Arbeiten rein grundlagenorientierte Fragestellungen behandelt wurden, kann man sich fragen, ob nicht auch eine Anwendungsrelevanz der Ergebnisse gegeben ist. Wie so oft im Bereich der Naturwissenschaften stellt man auch hier wieder fest, dass durch solche

Experimente möglicherweise Fragen beantwortet werden können, die in einem ganz anderen Umfeld auftreten. So gibt es für roten Phosphor eine ganze Reihe von Anwendungen, z. B. als Flammeschutzmittel in Kunststoffen. Man beobachtet dabei jedoch immer wieder Probleme, die bis heute nicht befriedigend gelöst werden konnten. Eine der größten Schwierigkeiten ist es, Aussagen zur chemischen Reaktivität einer Substanz zu machen, deren strukturellen Aufbau man nicht kennt. Nachdem nun völlig neue Erkenntnisse zu möglichen Strukturfragmenten in rotem Phosphor vorliegen und diese verschiedenen Strukturen auch experimentell zugänglich sind, sollte es möglich sein, die Herstellungsbedingungen für amorphen roten Phosphor in naher Zukunft maßgeschneidert für spezielle Anwendungen zu optimieren. Sollte dies gelingen, so ist einmal mehr gezeigt, dass Grundlagenforschung in der Chemie neben ästhetisch ansprechenden Molekülen auch sehr wertvolle Erkenntnisse für verschiedene Anwendungsbereiche liefern kann, auch wenn den Untersuchungen ursprünglich eine andere Thematik zugrunde lag.

Prof. Dr. rer. nat.

Arno Pfitzner

geb. 1963 in Netphen, Chemiestudium in Siegen, 1991 Promotion an der Universität-Gesamthochschule Siegen, 1991–1995 Wiss. Mitarbeit am Institut für Anorganische Chemie der Universität Stuttgart, danach Wechsel an die Universität Siegen, 1996 Forschungsaufenthalt am Institut des Matériaux de Nantes, Frankreich, 1998 Habilitation in Siegen. Seit 2000 Lehrstuhl für Anorganische Chemie an der Universität Regensburg.

Forschungsgebiete:

Präparative Anorganische Festkörperchemie, Ionenleiter, magnetische Materialien, Struktursystematik von Halbleitern, neue Synthesewege zur Herstellung von Hauptgruppenelementmolekülen.

Kugeln und Stäbchen

Vom kulturellen Ursprung chemischer Modelle

Wissenschaftsgeschichte

»A century of construction« hat man das 19. Jahrhundert genannt: eine Zeit, in der sich Auffassungen vom Raum durchsetzten, wie sie für Ingenieure typisch sind. Der konstruierende Blick auf die Wirklichkeit prägte auch die Wissenschaftskultur jener Epoche. In diesem Kontext entstand die Stereochemie, die Lehre vom räumlichen Bau chemischer Moleküle. Teil ihrer Vorgeschichte sind Unterrichtsmodelle, die sich nicht primär neuen Fakten oder neuen Theorien verdankten, sondern zur visuellen Kommunikation dienten: ein Medium, in das sich kulturelle Erfahrung einschreiben ließ und mit dem die aufsteigende Berufsgruppe der Chemiker nicht bloß Aussagen über die Materie treffen, sondern auch ihr eigenes professionelles Selbstverständnis demonstrieren konnte.

Bildhaft-anschauliche Vorstellungen haben in der Wissenschaft vom Stofflichen immer wieder eine wichtige Rolle gespielt. Das gilt von Demokrits Atomen in der Antike bis hin zum fußballförmigen C₆₀-Molekül des Fulleren in der modernen Chemie. Doch Bilder bergen Gefahren, wie die spekulativen Bildwelten der Alchemie belegen. Vielleicht hatte sich deshalb die neuere Chemie geradezu ein Bildnisverbot auferlegt. Sogar die bildhafte Atomtheorie John Daltons hat sich zu Beginn des 19. Jahrhunderts nur in der nicht-anschaulichen Version der noch heute verwandten chemischen Buchstabensymbolik durchsetzen können. Doch Mitte der 1860er Jahre wandelte sich in der Chemie das Verhältnis zur Anschaulichkeit. In Verbindung mit der neuen Strukturtheorie führte das Aufkommen räumlicher Vorstellungen zu einer der großen Revolutionen in der Chemie des 19. Jahrhunderts: der Stereochemie.

Wie neues Wissen entsteht, gehört zu den Grundfragen der Wissenschaftsgeschichte. Sind es neue empirische Befunde, die uns zwingen, vertraute Vorstellungen aufzugeben? Oder genügt es, die Welt mit anderen Augen anzusehen, um ein neues Bild von ihr zu erhalten? Dürfen wir von »Entdeckungen« sprechen, als wären die Ergebnisse bereits da und brauchten bloß noch entdeckt zu werden wie der Pilz unter herbstlichem Laub? Oder sollten wir eher »Erfindungen« sagen und annehmen, dass wir schöpferisch etwas entwerfen und dann schauen, wie die Natur sich mit unseren Konstrukten erfassen lässt? Wenn aber das Neue nicht einfach schon da wäre wie der Pilz im Walde, sondern »erfunden« werden müsste, woher kam dann die neue räumliche Vorstellung vom Bau der

Moleküle, und wie konnte sie sich so rasch durchsetzen – obwohl zunächst kein einziger handfester Beweis vorlag, gute philosophische Gründe dagegen sprachen und noch nicht einmal die Existenz von Atomen und Molekülen experimentell gesichert war?

Modelle und theoretische Begriffe sind nicht bloße Abbilder der äußeren Natur. Natur wird im Wissenschaftsprozess erst mit Hilfe von Prozeduren, Instrumenten, Terminologien und Darstellungsverfahren in sichtbare,zählbare, benennbare und manipulierbare, d. h. in kulturelle, Objekte verwandelt. Auch Atome, Molekülorbitale, Benzolringe und die DNS-Helix sind in diesem Sinne kulturelle Objekte, die sich bestimmten Zwecksetzungen, Untersuchungs- und Darstellungstechniken verdanken. Sie verkörpern bestimmte Eigenschaften von ›natürlichen‹ Objekten, besitzen aber auch Eigenschaften, die nur dem Modell zukommen und keine Entsprechung in der Natur haben, und sind mit zeitgebundenen Anschauungen behaftet; denn auch Theorie ist stets kulturell geprägt.

Die Molekülmodelle der Chemiker, die in den 1860er Jahren aufkamen, enthielten eine doppelte Botschaft: eine chemische und eine soziale. In dem Chemiker die unsichtbaren Naturobjekte ›Molekül‹ oder ›Äquivalent‹ in kulturelle Objekte wie Kugel-Stäbchen-Modelle verwandelten, erfanden sie eine bildhafte Sprache, mit der sich chemische Theorien und Operationen visuell kommunizieren ließen. Sie schufen damit aber zugleich auch ein symbolisches Ausdrucksmittel für professionelle Geltungsansprüche im Kontext der beginnenden Industrialisierung, den Anspruch nämlich, Baumeister einer neuen Welt aus neuen Materialien zu sein.

Konstruktion und Synthese

Die Geschichte dieser Modelle beginnt in Bloomsbury, dem Intellektuellenviertel des viktorianischen London. Mitte der 1840er Jahre traf sich hier eine Gruppe junger Chemiker, denen das Selbstverständnis der Chemie als analytischer Wissenschaft nicht länger genügte. »Chemische Synthese« hieß das neue Programm. August Wilhelm Hofmann ¹ hatte den Begriff 1845 auf einer Sitzung der Chemical Society öffentlich proklamiert, und bald war man überzeugt, auch komplizierte Naturstoffe künstlich zusammenzusetzen, ja die Natur noch übertreffen zu können. Dass damals die erste Vollsynthese eines Naturstoffs, der Essigsäure, gelang und dass wenig später die ersten chemischen

Farbstoffe das Licht der Welt erblickten und den spektakulären Aufstieg der Farbenindustrie einleiteten, daran sei nur am Rande erinnert.

Die Basis des neuen Selbstverständnisses war die sog. 'Typentheorie'. Danach wurden Stoffe mit analogem Reaktionsverhalten wenigen Grundtypen zugewiesen. Hofmanns Modellsubstanz war der Ammoniak (NH_3). Durch sukzessiven Ersatz der drei Wasserstoffatome ließ sich ein ganzer Fächer von Substitutionsprodukten erhalten. Hierbei besaß die Typentheorie den Vorzug, dass sich mit ihrer Hilfe erstmals auch mögliche, bisher noch unbekannte Verbindungen voraussagen ließen. Allerdings wollte man damit keinerlei Aussagen über die tatsächliche Anordnung von Atomgruppen oder über Bindungsverhältnisse treffen, die als prinzipiell nicht-erkennbar galten.

Doch auch ohne ›wahr‹ zu sein, kann sich eine Hypothese bewähren. Hofmann verstand den chemischen Typus als Herstellungsanweisung, als eine Art Bauplan oder Schablone, in dessen Muster sich Atome oder Atomgruppen einfügen ließen wie Ziegelsteine in eine Mauer. Zur didaktischen Veranschaulichung hatte er sich 1862 sog. Typen-Schablonen (›type moulds«) 2 anfertigen lassen, die Äquivalentvolumina repräsentierten und dem Lehrer gestatteten, durch Manipulation körperlicher Objekte – hier: der Blechbüchsen – die chemischen Operationen der Trennung, Verbindung und Substitution vorzuführen. Das Modell stellte mithin Relationen zwischen Naturobjekten (hier: Gasvolumina) dar, und nicht Atome oder Moleküle oder gar deren räumliche Ordnung.

Krocket-Bälle und molekulare Bauwerke

Blechbüchsen sind wenig publikumswirksam. Zum Friday Evening Discourse in der Londoner Royal Institution – damals wie heute ein gesellschaftliches Ereignis ersten Ranges – überraschte Hofmann sein Publikum am 7. April 1865 mit einem neu erfundenen Modell aus Krocket-Bällen, dem beliebten Gesellschaftsspiel der Viktorianer. Krocket-Bälle waren Hofmanns Atome: weiße der Wasserstoff, grüne das Chlor, rote der Sauerstoff, blaue der Stickstoff und schwarze der Kohlenstoff. Für die Bindungen waren Metallrörchen und -stäbchen eingeschraubt. Wasserstoff und Chlor bekamen je eines, Sauerstoff zwei, Stickstoff drei und Kohlenstoff vier. Zusammengesteckt erhielt man »a kind of mechanical structures in imitation of the atomic edifices to be illustrated«. Die so erzeugten dreidimensionalen Formeln nannte Hofmann »glyptic formulæ«, d. h. plastische Formeln 3.

Die Schreibweise, die diesem Modell zugrunde lag, war die der frühen Strukturchemie. Man versuchte dabei, Molekülen eine innere Feinstruktur zu geben, indem man chemisch zusammengehörige Atomgruppen unterschied und durch Bindungsstriche verband. Allerdings sollte die Formel nicht die tatsächlichen Positionen der Atome ausdrücken, sondern bloß deren Funktion und Reaktionsverhalten. Dabei hatten Hofmanns plastischen Formeln die quasi-planare Lesart der auf Papier hingeschriebenen Formeln in ein Modell übersetzt, das sich dreidimensional aufbauen ließ; die räumliche Eigenschaft war aber nicht viel mehr als ein



1 August Wilhelm Hofmann (1818–1892) als Professor der Government School of Mines in South Kensington, London. Kupferstich von Cook, 15,5 x 11, aus: Sheridan Muspratt, Chemistry, Theoretical, Practical, Analytical as Applied and Related to the Arts and Manufactures, Glasgow: W. Mackenzie, [1860].

2
Die vier Grundtypen der
Typentheorie: Salzsäure, Wasser,
Ammoniak und Methan, durch
die entsprechenden Gasvolumina
dargestellt.

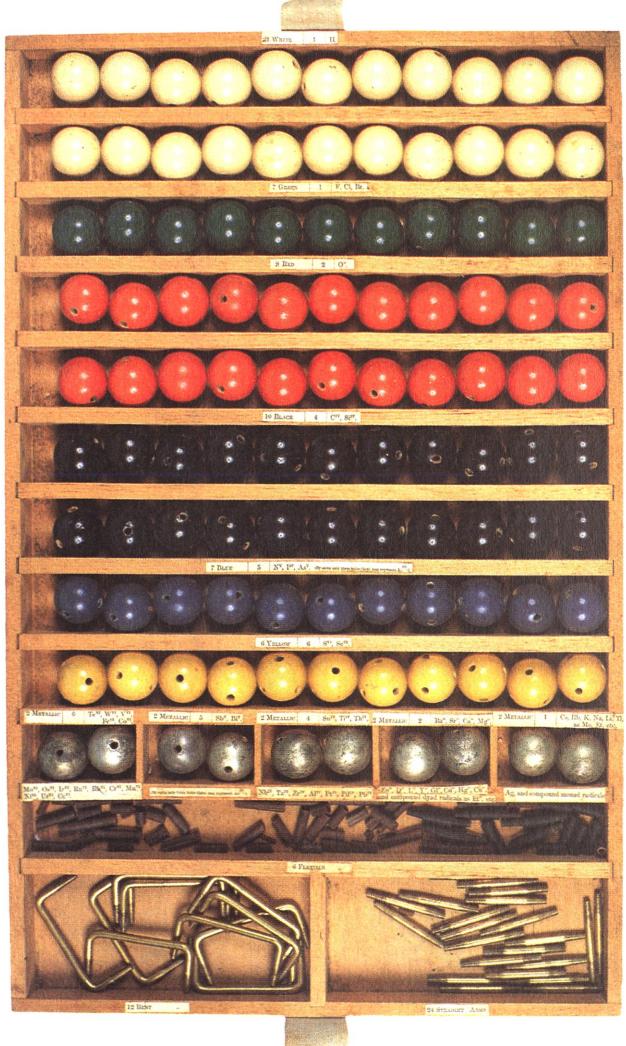
Aus: A. W. Hofmann, »On the combining power of atoms«, Proceedings of the Royal Institution of Great Britain 4 (1865), S. 401–430, hier S. 412.

FIG. 1.

A bar chart titled "FIG. 2." illustrating the relative amounts of different elements in a water molecule. The y-axis represents the relative amount of each element. The x-axis lists the elements: Water, O, and H. The bars show that Water has the highest relative amount, followed by O, and then H.

Element	Relative Amount
Water	1
O	0.8
H	0.2

3
Hofmanns »Glyptic Formulæ«
der Aminoderivate des Ethan.
Aus: ebd.



4

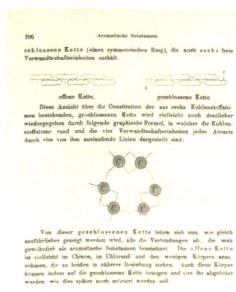
Molekülbaukasten nach A. W. Hofmann, um 1870 (Museum of the History of Science, Oxford). Die Box (630 x 310 x 60 mm) enthält 109 hölzerne Atomkugeln (Ø 30 mm) sowie 24 gerade, 12 gebogene und 6 flexible Verbindungsstücke.

5

Kekulés Benzolmodell. links: Die sechs viergliedrigen Kohlenstoffatome sind aus einem einzigen Holzstück gedrechselt, das gesamte Modell misst ca. 15 x 15 x 2 cm (Museum voor de Geschiedenis van de Wetenschappen, Gent). rechts: Die entsprechende Darstellung aus: August Kekulé, Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen, Bd. 2. Erlangen: Enke, 1866, S. 496.

Nebeneffekt bei der Übertragung von Kreidestrichen an der Tafel auf die publikumswirksamere Kugel-Stäbchen-Konstruktion. Dementsprechend blieben die Bindungen planar ausgerichtet und das Modell sollte nichts über die wirkliche Lage von Atomen und Bindungen aussagen.

Tatsächlich würde man Hofmanns Modelle missverstehen, interpretierte man sie bloß im Lichte der damaligen Bindungstheorie. Ihr Zweck war ein didaktischer, kein theoretischer. Und im Hörsaal ging es nicht bloß um chemische, sondern auch um soziale und ideologische Botschaften. Hofmanns sorgfältig inszenierter Auftritt von 1865 diente vor allem dem Ziel, das britische Publikum davon zu überzeugen, dass Chemiker Architekten der stofflichen Welt sind: Experten, die die Materie zu ihren Zwecken manipulieren können und bald in der Lage sein werden, eine neue Welt aus neuen Materialien zu bauen. Der Chemiker als Architekt der Moderne: Das war der Kern seiner Botschaft.



Und die Modelle auf dem Vorlesungstisch bildeten einen symbolischen Raum, den der Chemiker mit geschickten Händen erobern und kontrollieren konnte.

Hofmanns Kugel-Stäbchen-Modelle wurden rasch populär. Schon im Mai 1867 erschienen Inserate eines gewissen Mr. Blakeman aus London, der einen Satz davon vertrieb. Wie verbreitet solche Modellbaukästen 4 waren, ist schwer einzuschätzen. Die Skepsis dürfte zunächst überwogen haben. Denn die Verwendung mechanischer Modelle galt als problematisch. Die Gefahr, rein hypothetische Begriffe zu verdinglichen, lag auf der Hand. Nur wenige Chemiker, wie Edward Frankland, Nachfolger Hofmanns in London, oder Carl Schorlemmer, ein Freund von Karl Marx und seit 1861 Chemieprofessor am Owens College in Manchester, verteidigten die Verwendung im Unterricht, vorausgesetzt, man schärfe den Studenten gleichzeitig ein, dass das Modell nichts über die tatsächliche Position der Atome und Bindungsverhältnisse aussage. Sonst ginge es einem wie dem Studenten, von dem Schorlemmer berichtete, der in der Prüfung die Antwort gab: »Atoms are square blocks of wood invented by Dr Dalton.«

Eigenartigerweise wurde die Zulässigkeit solcher visuellen Hilfsmittel unter den Chemikern damals so gut wie nicht diskutiert. Lediglich Hermann Kolbe in Leipzig holte in einem Privatbrief zum Frontalangriff aus: »Offen gesagt,« schrieb er 1866 an Frankland, »halte ich alle diese graphischen Darstellungen für nicht zeitgemäß und auch für gefährlich; gefährlich deshalb, weil damit die Phantasie zu freien Spielraum gewinnt, wie denn schon z. B. bei Kekulé seine Phantasie mit dem Verstande längst durchgegangen ist. Es ist unmöglich, und wir werden wohl auch nie dahin gelangen, über die räumliche Lagerung der Atome eine Anschaufung zu gewinnen. Hüten wir uns deshalb auch, uns davon ein Bild zu entwerfen, wie die Bibel uns warnt, uns von der Gottheit eine sinnliche Vorstellung zu machen.«

Brötchen und Röllchen

August Kekulé war einer der führenden Exponenten der jungen Strukturtheorie und damals wohl der einzige Chemiker Kontinentaleuropas, in dessen Genter, später Bonner Labor man ohne Vorbehalte mit den britischen Modellen gearbeitet hat. Die Chemie verdankt Kekulé die Lehre von der konstanten Valenz, das vierwertige Kohlenstoffatom und die Benzolformel. Die Erklärung ungesättigter und aromatischer Verbindungen war eines der noch ungelösten Probleme der Strukturchemie. Kekulés sog. »Brötchen-Formeln« des Benzols gaben die Valenzeinheiten der Atome durch die Länge des jeweiligen Röllchens wieder. Mehrfachbindungen – das war der Vorzug dieser Notation – ließen sich durch Kontakt mehrerer Valenzeinheiten darstellen. Danach besaß das Benzol einen Kern von sechs Kohlenstoffatomen in einer geschlossenen Kette aus alternierenden Einfach- und Doppelbindungen. Was im Druck reichlich abstrakt scheint, hatte seinen Ursprung in hölzernen Vorlesemodellen, die Kekulé sich 1857 in Heidelberg gebastelt hatte 5. Sie zeigten die sechs, aus je-

weils vier Valenzeinheiten bestehenden Kohlenstoff-Röllchen, von senkrecht zur Achse stehenden Metallklammern zusammengehalten. Dass Kekulé damit keinesfalls die tatsächliche Symmetrie des Benzolmoleküls wiedergeben wollte, steht außer Frage, wie er denn auch vorsichtig genug war, dieses Modell nie öffentlich zu diskutieren; verletzte es doch allzu offenkundig die traditionelle Ikonographie des Atoms.

Hülsen und Ösen

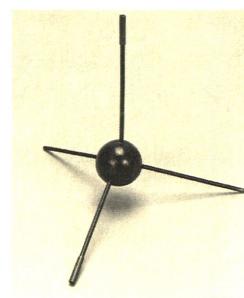
1865 ließ sich Kekulé die Hofmannschen Kugel-Stäbchen-Modelle aus London kommen; doch so hübsch diese waren, besaßen sie für ihn einen Mangel: Mehrfachbindungen ließen sich mit den starren Hülsen und Stäbchen schlecht realisieren. Die im Handel befindlichen Bausätze enthielten dafür zwar Kautschukröhren oder U-förmige Brücken; doch dass dabei zwei Arten von Bindungen entstanden, nämlich die geraden Verbindungslinien zwischen den Atomzentren und die viel längeren Brückenglieder, setzte ein weiteres Fragezeichen an das ohnehin schon problematische Modell.

Auf der Suche nach Alternativen ließ Kekulé im April 1867 seinen neuen Institutsmechaniker mit seinem Assistenten Wilhelm Körner neue Demonstrationsmodelle **6** für die Vorlesung bauen. Abweichend vom Hofmannschen Kugel-Stäbchen-Typus waren die Valenzstäbchen des Kohlenstoffatoms nun tetraedrisch ausgerichtet, so dass sich symmetrische Doppel- und Dreifachbindungen realisieren ließen, ohne die Messingröhren zu knicken. Für den Zusammenhalt sorgten Metallhülsen oder kleine Bohrungen, durch die sich ein Ring ziehen ließ. Es scheint, als sei die tetraedrische Geometrie in Kekulés neuem Modell zunächst nicht viel mehr als ein Trick gewesen, das Problem der mechanischen Verbbindung zu lösen. Dabei mag ein gewisses Empfinden für molekulare Symmetrie mitgespielt haben, doch primär war das neue Modell nicht als Antwort auf eine Frage der chemischen Theorie gedacht, sondern als Lösung eines mechanischen Bastel-Problems.

Vom Lehrmittel zum Werkzeug der Forschung

Das früheste Beispiel für eine Anwendung auf Forschungsfragen ist Kekulés Arbeit von 1867 über das Mesitylen **7**. Darin konnte er die Kondensation von drei Aceton-Molekülen zum Trimethylbenzol anhand des neuen Modells plausibel machen. Aus dem didaktischen Hilfsmittel war ein Werkzeug der Forschung geworden. Es überrascht deshalb nicht, dass Schüler und Mitarbeiter Kekulés in dieser Hinsicht noch weiter gingen als der Meister. Denn wer die Chemie mit Hilfe räumlicher Modelle kennengelernt hatte, fand es ‚natürlich‘, Moleküle als räumliche Gebilde zu denken. Wilhelm Körner, der als Assistent an der Konstruktion des Tetraedermodells beteiligt gewesen war, versuchte z.B., damit ein offenes Problem der Kekuléschen Benzolformel zu lösen. Nach dieser hätte man nämlich zwei unterschiedliche ortho-Derivate erwarten müssen, je nachdem, ob zwischen den benachbarten Kohlenstoffatomen, die Substituenten tragen, Einfach- oder Doppelbindungen stehen. Solche Isomere

existieren aber nicht, und der Fehler schien in der Formel zu liegen. Körner fasste die Kekulésche Benzolformel jedoch ‚realistischer‘ auf als sein Lehrer, nahm einen Molekülbaukasten und steckte ein Benzol zusammen, bei dem jedes C-Atom quer durch den Kern mit drei anderen verbunden war **8**. Ähnliche Benzolformeln hatten auch schon andere Chemiker vorgeschlagen; Körner aber tat es in der Überzeugung, dass sich die Existenz eines solchen Gebildes aus der Tatsache plausibel machen ließ, dass es mit einem Kugel-Stäbchen-Modell zu konstruieren war. Die Natur verstehen hieß hier, von ihr ein anschauliches Modell – nicht nur in Gedanken – zu entwerfen, sondern tatsächlich mit Händen zu bauen: eine Einstellung, die sich sonst vor allem bei britischen Naturwissenschaftlern fand und die in dem Ausspruch von William Thomson, Lord Kelvin, gipfelte: »Ich bin niemals zufrieden, bevor ich von dem Gegenstand, den ich studiere, ein mechanisches Modell konstruieren kann. Wenn ich ein mechanisches Modell machen kann, verstehe ich; wenn ich keines machen kann, verstehe ich nicht.«



6

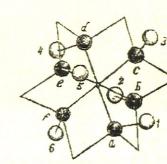
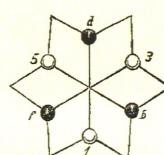
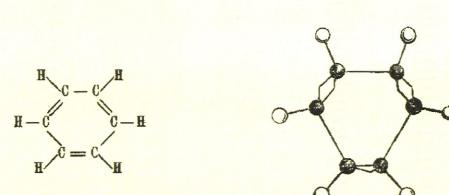
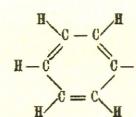
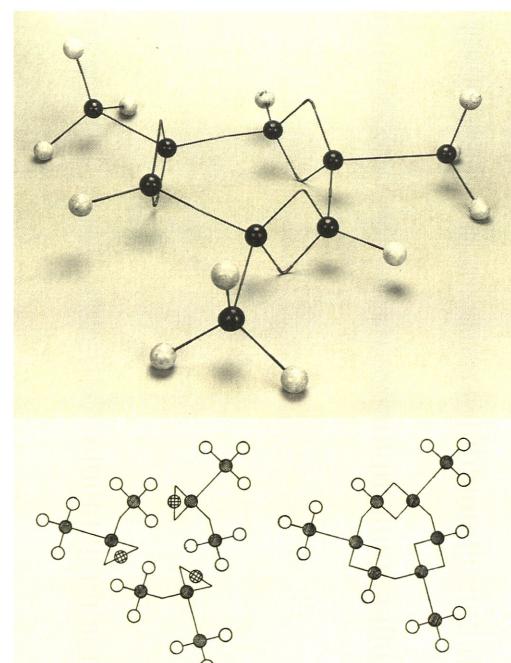
Kekulés Kohlenstoff-Atom von 1867:
Die Valenzstäbchen sind entsprechend den Achsen eines regelmäßigen Tetraeders ausgerichtet.
Die Holzkugel misst ca. 3 cm,
jedes Stäbchen ca. 7 cm
(Museum voor de Geschiedenis van de Wetenschappen, Gent).

7

Modellierung der Kondensation von drei Molekülen Aceton zu Mesitylen (1,3,5-Trimethylbenzol).
oben:

Das Modell misst ca. 60 x 60 x 15 cm
(Museum voor de Geschiedenis van de Wetenschappen, Gent);
unten:

Die nach dem Modell gezeichnete Abbildung aus: August Kekulé, »Über die Constitution des Mesitylens« Zeitschrift für Chemie, N.F. 3 (1867), S. 214–218, hier: S. 218.

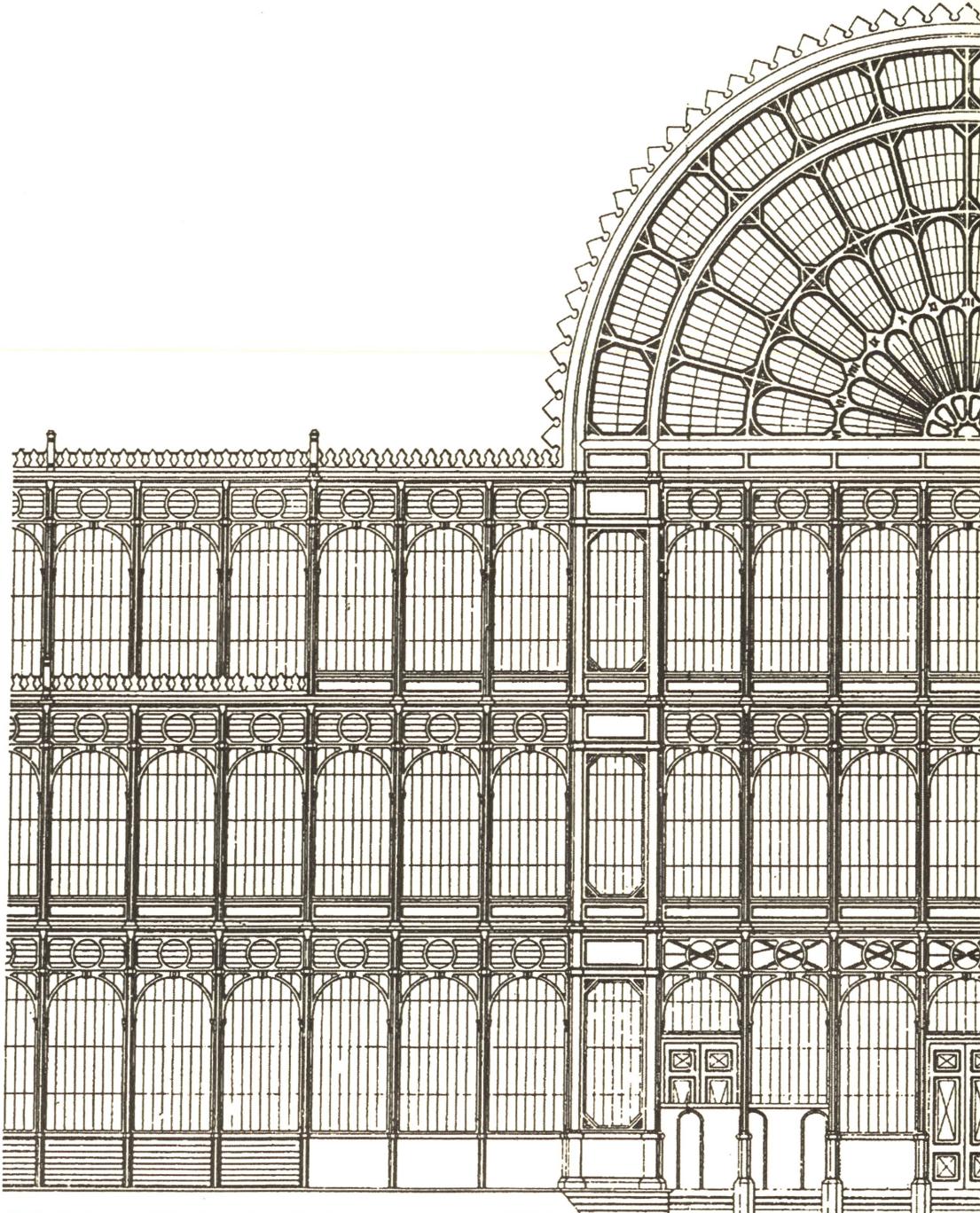


8

Wilhelm Körners Strukturvorschlag für das Benzolmolekül.
obere Reihe:

Kekulés ursprüngliche Benzolformel und deren Umsetzung im tetraedrischen Kugel-Stäbchen-Modell.
untere Reihe:

Körners Vorschlag mit den schwarzen Kohlenstoffatomen mit jeweils drei weißen Wasserstoffatomen oberhalb und unterhalb des C₆H₆-Kerns.
Aus: G. Koerner, »Fatti per servire alla determinazione del luogo chimico nelle sostanze aromatiche«, Giornale di Scienze Naturali ed Economiche di Palermo 5 (1869), S. 212–256, auf S. 237 und 241.



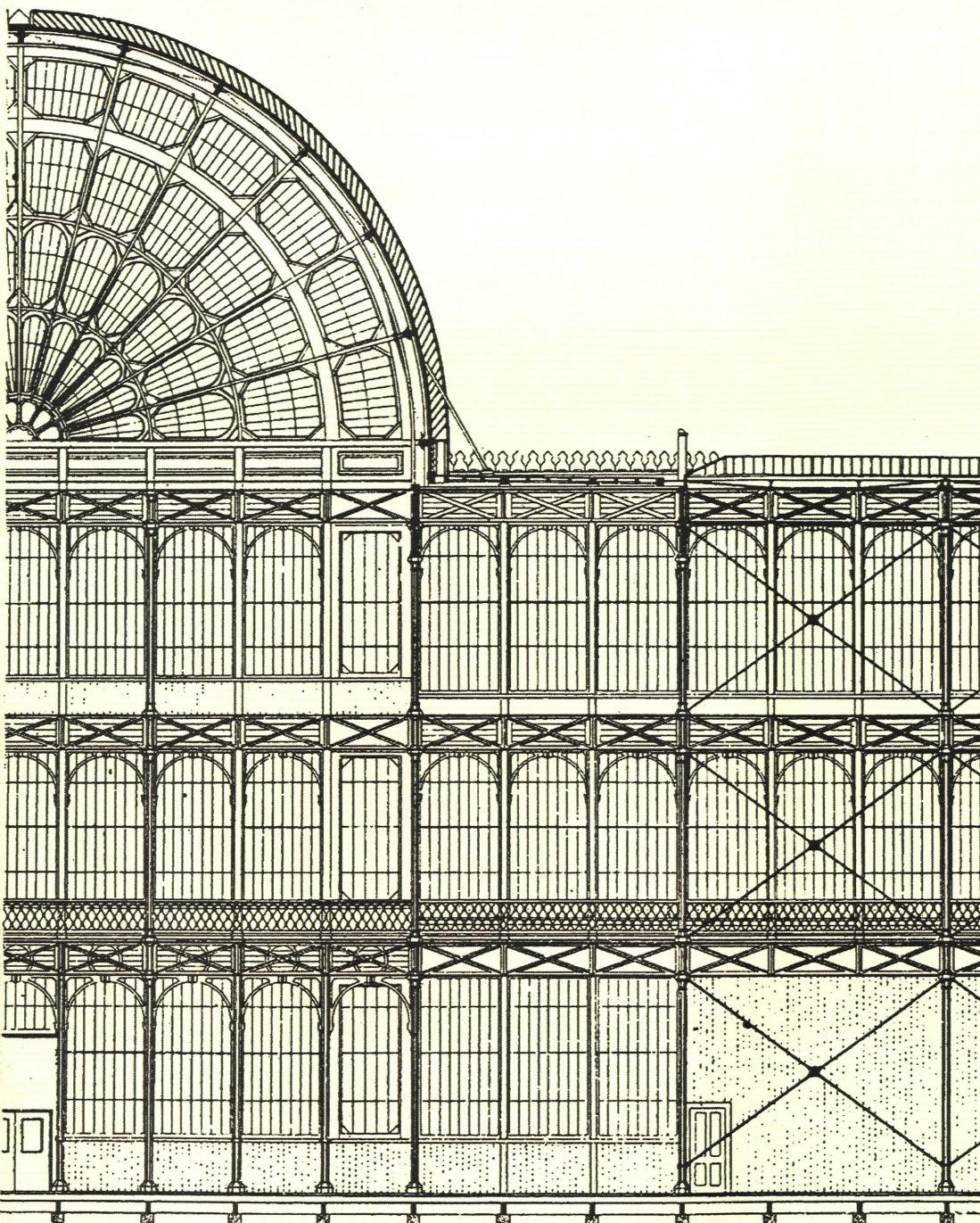
Sieben Jahre später hat ein anderer Kekulé-Schüler, Jacobus Henricus van't Hoff, die Lehre vom räumlichen Bau der Moleküle explizit formulieren und empirisch stützen können. Seine »Chemie im Raum« von 1874, die eine chemische und eine kristallographische Forschungslinie miteinander zur Stereochemie verknüpft, konnte, was die chemische Seite angeht, also bereits auf eine etablierte Tradition aufbauen, räumliche Molekülmodelle als didaktische Hilfsmittel einzusetzen. Bei Kekulé mag van't Hoff auch die ersten Versuche kennengelernt haben, aus solchen Modellen stereochemische Folgerungen abzuleiten. Und es liegt nahe, dass es die Verwendung dreidimensionaler Modelle im Unterricht war, die die nachfolgende Chemikergeneration für die neue Wahrnehmungsweise disponiert hat.

Konstruktion und Erkenntnis

Woher aber kam die neue räumliche Vorstellung vom Bau der Moleküle? Empirische Fakten, die sie erzwungen hätten, lagen nicht vor. Selbst Atom- und Molekülbegriff waren noch strittig, und philosophisch schien es höchst problematisch, solche Konzepte für physische Realität zu halten. Kein geringerer als Wilhelm Ostwald, der Begründer der Disziplin Physikalische Chemie, hielt noch bis 1905 daran fest, dass es keine Atome gäbe. Gleichwohl hat sich, kaum waren van't Hoffs neue stereochemische Ideen bekannt geworden, die räumliche Vorstellung vom Bau der Materie rasch und ohne nennenswerten Widerstand durchgesetzt, obwohl noch keine 10 Jahre seit Erfundung der Hofmannschen Kugel-Stäbchen-Modelle vergangen waren.

Aufriss des Londoner Architekten Charles Downes vom Crystal Palace für die Weltausstellung von 1851, mit der die Reihe der bis in die Gegenwart reichenden internationalen Industrie- und Gewerbeausstellungen eröffnet wurde.

Aus: *The Building erected in the Hyde Park for the Great Exhibition*. London: Weale, 1853.



Die Idee scheint also in der Luft gelegen zu haben, wie man sagt. Doch was soll das heißen, etwas »liege in der Luft«?

Neue wissenschaftliche Ideen kommen nicht immer aus der Wissenschaft selbst. Es scheint, als ob die Keime eines neuen Paradigmas (um den Begriff des amerikanischen Wissenschaftshistorikers Thomas Kuhn zu benutzen) von überall her auftauchen können, sofern sie im historischen Erfahrungsraum der Zeit präsent sind. Und in der Tat: Wer Mitte des 19. Jahrhunderts durch London oder Paris ging, begegnete auf Schritt und Tritt Zeugnissen einer neuen Art, Raum aufzufassen und zu gestalten. Der Technikhistoriker Eugene Ferguson hat geradezu von einer »culture of construction« gesprochen und gezeigt, wie solche

Erfahrung auch das »innere Auge« (*the mind's eye*) der Zeitgenossen geprägt hat. Zu den Ikonen dieser neuen Anschauungsform gehören Joseph Paxtons Crystal Palace für die Londoner Weltausstellung von 1851 9 oder die neuen Londoner Bahnhöfe 10, deren Faszination gerade von der klaren Zurschaustellung konstruktiv wichtiger Strukturelemente ausging. Im wöchentlichen *The Building News and Engineering Journal* stritten britische Ingenieure und Architekten Mitte der 1860er Jahre um den Primat einer »aesthetics of construction« über eine »aesthetics of decoration«, und zugleich tauchten – zwischen den üblichen Beispielen neogotischer und neo-palladianischer Architektur – anonyme Artikel auf, in denen es um den Vorrang des Konstruktiven, um das Bauen mit Schablonen

INTERIOR OF THE NEW ST. PANCRAS STATION, MIDLAND RAILWAY.



BUILDING NEWS, MARCH 26, 1869

GEO. GILBERT SCOTT, Esq., R.A., ARCHITECT.

W. H. BARLOW, Esq., ENGINEER.

10

St. Pancras Station, London, 1869 von George Gilbert Scott und W. H. Barlow für die Midland Railway Company gebaut, besaß die größte Spannweite aller bis dahin gebauten Dachkonstruktionen und gilt als Musterbeispiel strukturell-konstruktiven Bauens mit standardisierten Teilen. Aus: The Building News and Engineering Journal 16 (26. März 1869), S. 277–278.

und um das Sichtbarmachen von Naturgesetzen in Strukturen des Bauwerks ging. Wahre Schönheit und Kreativität, so der Tenor dieser Beiträge, bau auf den Grundsätzen von Naturwissenschaft und Konstruktionslehre auf.

Die konstruktive Sicht auf die Wirklichkeit griff weit über das Architektonische hinaus. So konnte man seit den 1850er Jahren in England Baukästen **11** kaufen, die es gestatteten, aus Korkstückchen oder Erbsen und Stäbchen geometrische Gebilde zu stecken. Kinder, die sich mit den elementaren Formen des Festen, des Flächigen und des Linearen

vertraut gemacht hatten, sollten daran die Grundbegriffe des räumlichen Denkens erlernen. Erfunden hatte diese Bausätze Friedrich Fröbel, der Begründer der Kindergarten-Bewegung, die Teil des Aufbruchs im Vormärz war und nach der gescheiterten Revolution von deutschen Emigranten, Frauen zumeist, nach Großbritannien und in die Vereinigten Staaten weitergetragen wurde.

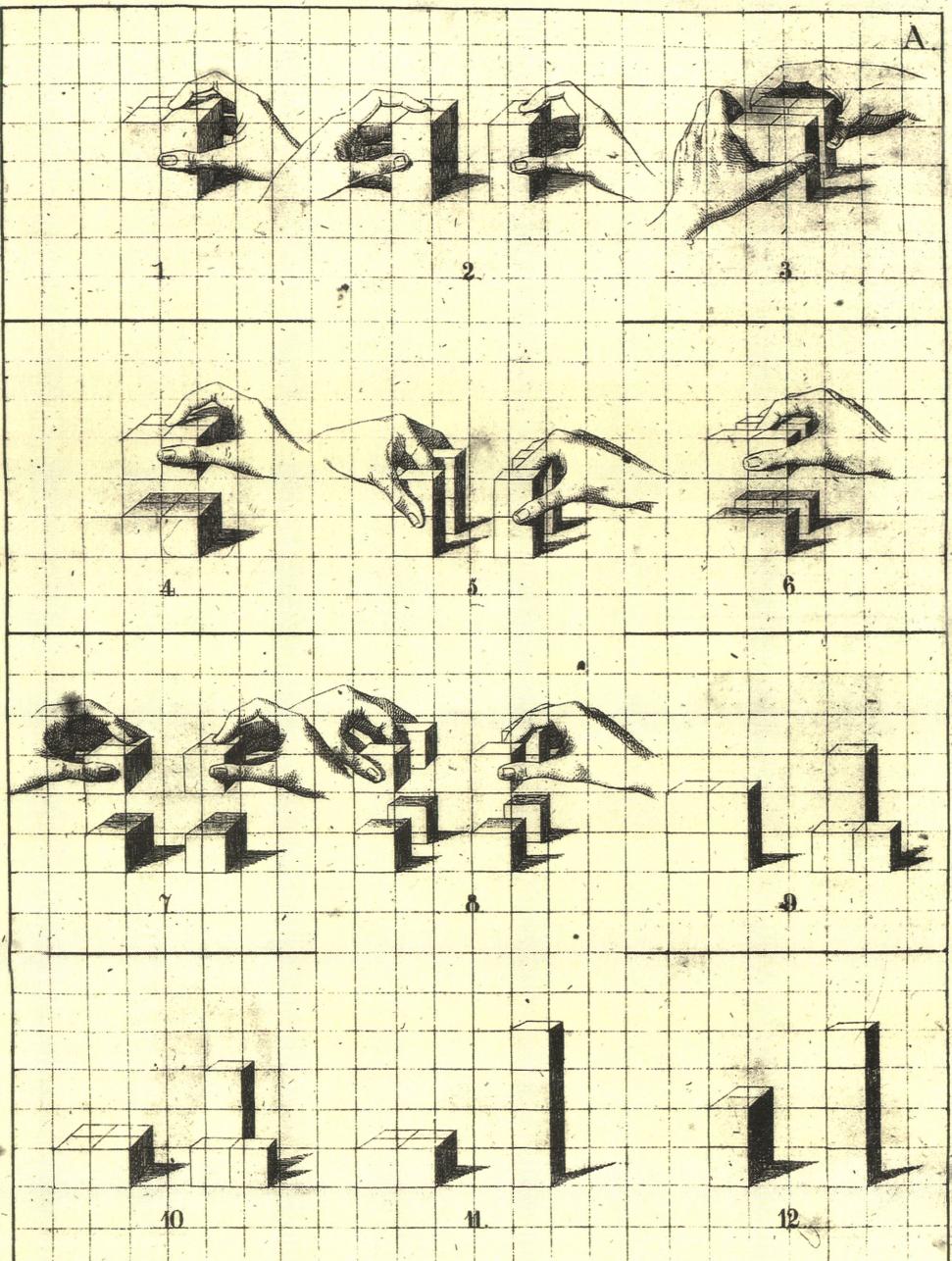
Im Zentrum der Fröbelschen Pädagogik steht die Idee, dass ein Kind abstrakte Begriffe erwirbt, indem es die Dinge der Welt mit den Händen begreift. Aktive Bewegung im Raum und Entwicklung des Erkenntnisvermögens gehörten für Fröbel zusammen; Mit einfachen geometrischen Formen konstruierend, erfasst das Kind die Wirklichkeit, bildet innere Repräsentationen der äußeren Welt und lernt abstrakte Begriffe **12**. Seit den 1840er Jahren kommerziell vertrieben, wurden die sog. Fröbel-Gaben bald zum Rückgrat der Kindergartenpädagogik. International agierende Firmen belieferten einen rasch wachsenden Markt. Die Idee der aktiv konstruierenden, ja ingenieurmäßigen Aneignung von Wirklichkeit faszinierte die Zeitgenossen. Dass wir, indem wir Dinge herstellen, tatsächlich Strukturen des Wirklichen begreifen, ist eine durchaus bürgerliche und dem Geist des heraufkommenden Industriealters gemäße Vorstellung. In den im thüringischen Rudolstadt seit 1880 produzierten Anker-Steinbaukästen, den Vorläufern des heutigen Lego, sollte sie massenhafte Verbreitung erfahren.

Die Molekülmodelle der Chemiker und die Fröbel-Baukästen sind durch mehr als durch bloß oberflächliche Ähnlichkeit verbunden. Auch implizite Philosophie und Gebrauch entsprechen einander. In beiden Fällen handelt es sich um symbolische Werkzeuge, um verborgene Strukturen

11

In den 1850er Jahren wurde das »Peas Work« zum Bau dreidimensionaler Strukturen als »Zehnte Gabe« ins Repertoire der Fröbelschen Kindergartenpädagogik aufgenommen. Oben eine Box mit Erbsen und Zahnstochern; unten eine elegantere Version, beide von der Firma A. N. Myers & Co in London um 1855.





12

An Holzklötzen zeigte Fröbel, wie abstrakte Ideen – hier der Begriff der Zahl und der einfachen Rechenoperationen – entstehen.
Aus: Friedrich Fröbel, Anleitung zum Gebrauche der in dem Kindergarten zu Blankenburg bei Rudolstadt ausgeführten dritten Gabe, Blankenburg 1844 (Friedrich-Fröbel-Museum Bad Blankenburg).

der Wirklichkeit hantierend zu begreifen und mit innerer Anschauung, d. h. mit Theorie, zu verbinden. Natürlich wäre es naiv anzunehmen, die Chemiker, die mit räumlichen Molekülmodellen experimentierten, hätten sich dazu in Kindergärten anregen lassen. So direkt verlaufen Transferprozesse zwischen den unterschiedlichen Bereichen einer Kultur in den seltensten Fällen. Es wäre historiographisch daher müßig, nach monokausalen Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu suchen. Fest steht: Wer in der Mitte des 19. Jahrhunderts in London lebte, wird die Fröbelschen Baukästen gekannt haben – aber auch die Brücken und Bahnhofshallen aus kraftvollen Stahlträgern oder die Skelettstruktur des Crystal Palace. Sie gehörten zum historischen Erfahrungsraum einer Zeit, in der sich die Geltingsansprüche von Industrie und Bürgertum auch im Konstruktiven manifestierten. Die Erfahrung,

sich die Welt konstruierend zu eigen machen zu können, verbindet die Modelle der Chemiker mit den Fröbelschen Baukästen und den neuen Raumlösungen der Ingenieure – eine kollektive Erfahrung, die einen epochenspezifischen Blick auf die Wirklichkeit hervorbrachte. Der Kunsthistoriker Michael Baxandall hat dies »the period eye« genannt.

Hand und Verstand

Modelle können mehrfache Botschaften tragen und unterschiedlichen Zwecken dienen. August Wilhelm Hofmann, der Chemiker, der ursprünglich Architekt hätte werden wollen, erfand körperliche Molekülmodelle, um die Aufmerksamkeit der Studenten zu fesseln, um viktorianische Gentlemen von den Möglichkeiten der modernen Synthesechemie zu überzeugen und um die Chemiker als die

13

Hybridform der Hofmannschen Glyptic Formulæ, jedoch mit tetraedrischen Kohlenstoff-Atomen. Die Plakette weist einen spanischen Hersteller aus: »Colección para demostrar las Combinaciones Químicas según A. W. Hofmann, constructor Gonzalez Verdiguier, Madrid« (Science Museum, London, acc. no 1977126).



Baumeister einer neuen Welt zu präsentieren 13. August Kekulé – auch er zunächst Architekturstudent – tat den entscheidenden Schritt, den Übergang von der ebenen Strukturformel zum tetraedrischen Kohlenstoff, nicht aus theoretischen Überlegungen heraus, sondern zunächst, um ein mechanisches Problem beim Zusammenbasteln seiner Vorlesungsmodelle zu lösen. Über die Macht der Anschauung hat sich diese Anschauungsform – trotz aller erkenntnistheoretischen Vorbehalte – gewissermaßen in die Köpfe eingeschlichen und bei der nachfolgenden Generation eine völlig neue Auffassung vom räumlichen Bau der Materie bewirkt.

Aber eben nicht nur in den Köpfen und in der Anschauung: Die Eroberung des chemischen Raumes geschah auch mit den Händen. Modelle sind Vermittler par excellence. Sie vermitteln zwischen Hand und Verstand. Und wenn Chemie die Kunst ist, stoffliche Bestandteile zu trennen und zielgerichtet wieder zusammenzufügen (wie schon die frühneuzeitliche Definition lautet), dann verbinden Molekülmodelle das, was der Chemiker mit seinen Händen tut, mit dem, was in seinen Reaktionsgefäßen geschieht, und der Art und Weise, wie er dieses Geschehen theoretisch und in Begriffen fasst.

Aber Modelle vermitteln auch in anderer Hinsicht: als Medium der visuellen Kommunikation zwischen Lehrer und Schüler; als Mittler zwischen dem Wissen des Experten und der Öffentlichkeit; als Verbindungsglied schließlich zwischen den Theorien der Chemie und dem Geist einer Zeit. Modelle schaffen damit einen symbolischen und

gestischen Raum, in den sich Begriffe, Handlungsmuster, kulturelle Orientierungen, aber auch die Geltungsansprüche einer Berufsgruppe einschreiben lassen. Und es ist offenbar die Mehrdeutigkeit dieses symbolischen Raumes, die den Transfer zwischen den einzelnen Bereichen einer Kultur gewährleistet und damit die Entstehung neuen Wissens erleichtert.

Im Fall der Kugel-Stäbchen-Modelle verlief dieser Transferprozess zwischen der Welt des aufstrebenden Industriebürgertums, dessen Selbstbewusstsein neue architektonische Lösungen schuf und das seinen Kindern beibrachte, die Welt er-greifend zu be-greifen, und den Hörsälen und Labors der Chemiker, die das konstruierende Begreifen auf die Welt der Stoffe anwandten. Dass so ein Transfer funktioniert, d. h. dass gesellschaftliche und kulturelle Erfahrung sich in Theorien und Modelle übersetzen lässt, die sich ihrerseits als brauchbar erweisen zum Verständnis der Natur, das ist im Grunde verblüffend – jedenfalls für den, der naturwissenschaftliche Modelle für Abbilder der Natur hält. In seinem Buch »Die Maus, die Fliege und der Mensch« schreibt der französische Genetiker François Jacob über den Entdeckungsprozess in der Molekularbiologie: »Nachdem man ein Modell hervorgebracht hat, das man selbst nur mit Mühe ernst nimmt, stellt man erstaunt fest, dass es einen Teil Wahrheit enthält; dass die Welt, oder zumindest ein kleines Bruchstück der Welt, genau dem entspricht, was man ersonnen hat. Zumindest vorläufig.«

Prof. Dr. rer. nat.

Christoph Meinel

geb. 1949 in Dresden. Studium der Chemie, danach der Geschichte und Wissenschaftsgeschichte in Marburg, Promotion 1977. Postdoc-Jahr an der University of Kent, Habilitation 1987 in Hamburg. 1987–1990 Fellow am Wissenschaftskolleg zu Berlin und Koordinator des Verbundes für Wissenschaftsgeschichte. 1990 Professur für Geschichte der Naturwissenschaften in Mainz. Seit 1990 Lehrstuhl für Wissenschaftsgeschichte an der Universität Regensburg. Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina. Forschungsbereiche: Naturwissenschaften und Naturphilosophie in der Frühen Neuzeit; Chemie im 18. und 19. Jahrhundert.



Hier erfahren Sie mehr – Porsche Online: Telefon 01805 356 - 911, Fax - 912 (EUR 0,12/min) oder www.porsche.de.

**Das Licht legt bis zur Erde
rund 150 Millionen Kilometer zurück.
Chapeau.**

Der neue 911 Targa 4.



PORSCHE

Inszenierte Universität

Akademische Festkultur in der Frühen Neuzeit

Humanismusforschung

Universität inszeniert sich selbst, nicht nur im wissenschaftlichen Schaffen. Disputationen im Mittelalter, Deklamationen im Humanismus, das Schul- und Jesuitentheater des Barock, die »alte Burschenherrlichkeit«, die Studentenrevolte von 1968 transportieren ein je eigenes Bild von Universität in die Öffentlichkeit. Je weniger eine Universität über eigene Mittel verfügt, umso mehr muss sie sich in Szene setzen. Was heute mit Hochglanzbroschüren oder Internetauftritten geschieht, wurde an den Universitäten der Frühen Neuzeit vor allem auf der Bühne gesucht: Anerkennung, Zulauf und finanzielle Zuwendungen. Einen Einblick in die Techniken und Absichten universitärer Selbstdarstellung bietet eine neu entdeckte Handschrift des späthumanistischen Jesuiten, Pädagogen, Dichters und Latinisten Jakob Pontanus (1542–1626).

Universitätskultur stellt sich in der Öffentlichkeit dar. Das ist nicht nur in Zeiten der »Eliteuniversitäten« so, das gehört zu ihrer Institution. Ein besonderer Anlass dafür ist seit dem Mittelalter

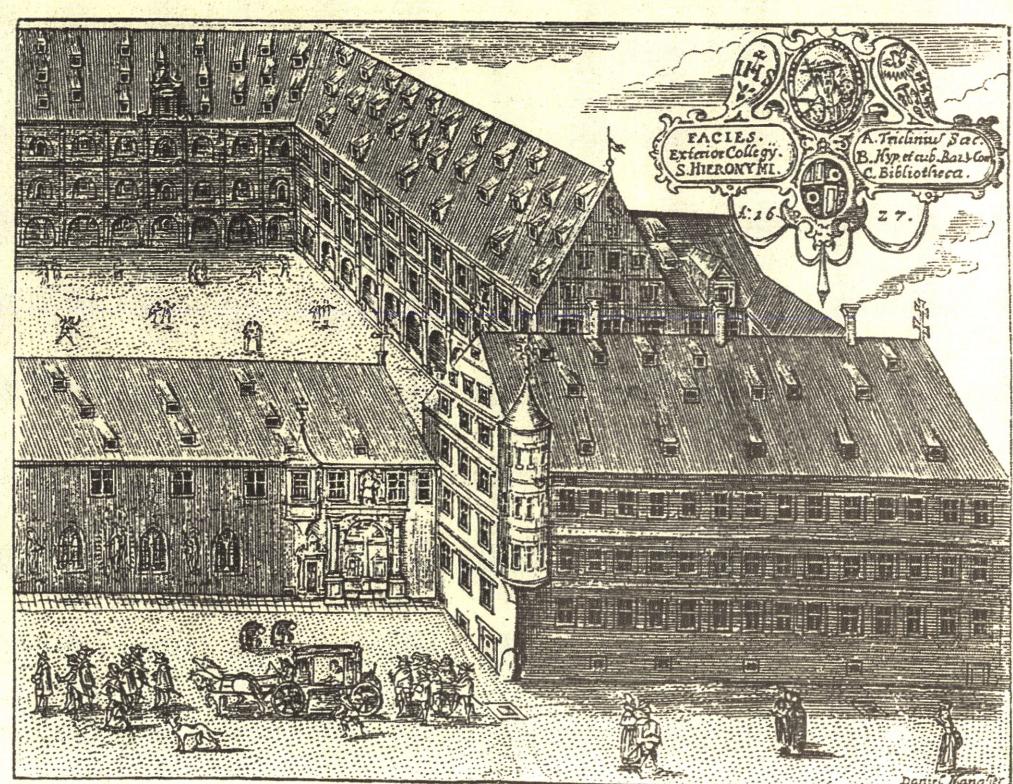
der *actus publicus*, in dem sich die Universität als solche präsentiert: die Eröffnung des Studienjahres und der Promotionsakt. An den katholischen Universitäten der Frühen Neuzeit entwickeln sich weitere Universitätsfeste im Laufe des Kirchenjahrs: Weihnachten, Fastnacht, Fronleichnam, begangen mit Theateraufführungen vor fürstlichem, akademischem und bürgerlichem Publikum.

Eine unbekannte Handschrift

Ein Bündel von Materialien zu solchen Universitätsfesten und Promotionsakten an der Universität Dillingen (1549/51–1803) 1, zumeist Werke des Pädagogen, Dramatikers und späthumanistischen Latinisten Jakob Pontanus SJ (Jakob Spanmüller, 1542–1626) 2, bietet die bislang unbekannte Sammelhandschrift Studienbibliothek Dillingen XV 399 3. Da sie erst bei der systematischen Neuaufstellung der Bestände im neuen Bibliotheksgebäude nach 1966 katalogisiert wurde (»Orationes et Declamationes in Promotionibus, 1583«), war sie der älteren Forschung unbekannt. Im Rahmen der Erfassung und Auswertung des Lehrinhalts der

1

Die Universität Dillingen um 1627. Der Stich Daniel Mannassers (†1637) zeigt auch das geschäftige Treiben auf der Straße vor dem Universitätsgebäude: eine Universität mitten im Leben.

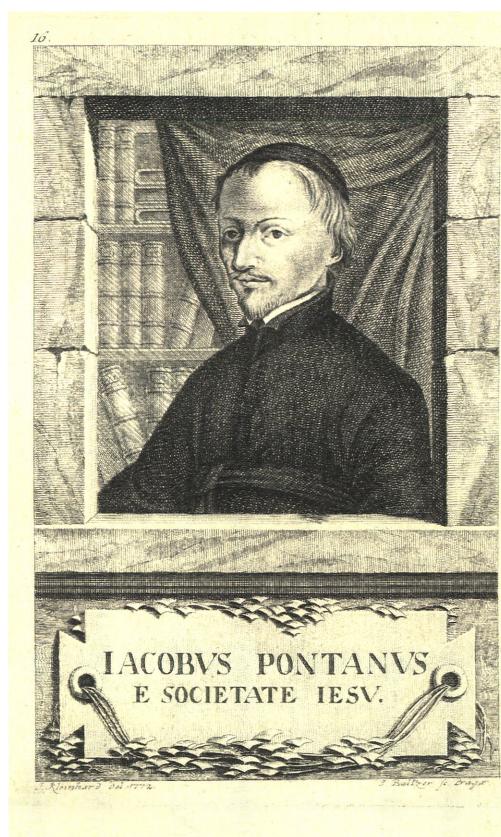


zwischen 1555 und 1648 an der Universität Dillingen gehaltenen philosophischen Disputationen wurde sie erstmals untersucht und entpuppte sich als die umfassendste handschriftliche Sammlung von frühen Werken Pontanus', allerdings nicht als Autograph. Für die derzeit vermehrt untersuchte Universitätskultur der Frühen Neuzeit, insbesondere die öffentlichen Akte und Feste, stellt sie eine herausragende Quellensammlung dar.

Ein glänzender Latinist: Jakob Pontanus

Jakob Spanmüller 2 wurde ca. 1542 in Most (Brüx, Bruck) in Böhmen geboren. 1564 trat er in Prag in die Gesellschaft Jesu ein, ging aber im Herbst 1566 zum Studium der Philosophie nach Ingolstadt. 1570 wechselte er an die Universität Dillingen, wo er am 6. April 1570 zum Bakkalaureus und am 15. Mai 1571 zum Magister der Philosophie promoviert wurde. Bereits ab Herbst 1570 war er *Professor Humanitatis* in Dillingen, 1576–1579 Professor der Rhetorik. In diesen Funktionen hatte er die beiden obersten Gymnasialklassen zu unterrichten und war zugleich der offizielle Poet und Rhetor der Universität, zuständig für Theater, Gedichte, Deklamationen, akademische Reden. Erst nach dieser Tätigkeit wurde er 1581 zum Priester geweiht. 1582 berief ihn die Ordensleitung zum Aufbau des neu gegründeten Jesuitengymnasiums bei St. Salvator in Augsburg, wo er als »magister perpetuus« sein weiteres Leben bis zu seinem Tod 1626 verbringen sollte. 1586 wurde Pontanus Mitglied der von der Ordensleitung eingesetzten Kommission zur Erarbeitung einer weltweiten Studienordnung für die Gymnasien und Universitäten der Gesellschaft Jesu. In zwei Gutachten setzte er sich vehement für die Beibehaltung einer literarisch-humanistischen Ausbildung am Gymnasium ein und wehrte das Ansinnen der Theologen ab, der formal-logischen Schulung den Vorzug zu geben.

Zu dieser Zeit war Pontanus bereits ein gefeierter Poet, Dramendichter und Dramaturg, dessen Stücke u. a. in Innsbruck und Freiburg in der Schweiz aufgeführt wurden. Den literarischen Ruhm des auch von den Augsburger Protestanten verehrten Humanisten begründen aber seine *Progymnasmata Latinitatis* in drei Bänden (1588–1594). In diesen Schülergesprächen wird nicht nur das nötige Realwissen in dialogischer Situation vermittelt, sondern zugleich beste klassische Latinität gelehrt. Sie sollten bis 1759 nicht weniger als 40 Auflagen (Teilauflagen eingerechnet) erleben. Ein Fürst wollte durch sie sogar Cicero an seinen Schulen ersetzen. Für die Poetik unübersehbar sind die *Poeticarum Institutionum libri tres* von 1594, in deren Anhang Pontanus im *Tyrcinum Poeticum* eine erste Auswahl seiner frühen Gedichte veröffentlicht. 1595 folgen die *Floridorum libri octo*, weitgehend geistliche Lyrik, 1609 die *Colloquia sacra*, geistliche Schülergespräche, 1615–1620 die *Attica Bellaria*, köstliches literarisches Tafelkonfekt aus antiken und humanistischen Schriftstellern, und 1626 die *Philokalia*, eine Anthologie aus den von Pontanus hoch geschätzten Kirchenvätern und klassischen Autoren. Damit hatten Schüler und Gebildete alles zur Verfügung, was »Humanitas« im Sinne der Zeit beinhaltet.



2
Jakob Pontanus SJ, 1542–1626
(Stich von Johann Balzer
(1738–1799), Prag, nach Entwurf
von Johann Kleinhard, Prag 1772,
in der Herzog-August-Bibliothek,
Wolfenbüttel).

Der Schulmann, Dramatiker,
Latinist und Vorkämpfer für
eine literarisch-humanistische
Ausbildung an den Jesuiten-
gymnasien war 1570–1582 an der
Universität Dillingen tätig.

3
Die Handschrift Studienbibliothek
Dillingen (StuBD) XV 399
(digitalisiert durch die Universitäts-
bibliothek Regensburg) enthält
die umfangreichste Sammlung
von Werken Jakob Pontanus'
aus seiner Dillinger Lehrtätigkeit.
17 x 21 x 6,5 cm;
Einband: Pergament, aus *Missale*
(Texte aus dem Messformular
des Dienstags in der Karwoche),
süddeutsch, 15. Jahrhundert,
mit Brandloch.



Eine »Musterschule«: Universität Dillingen

Die Universität Dillingen **1**, an der Pontanus 1570–1582 als Student und Lehrer tätig war, wurde 1549 als *Collegium Sancti Hieronymi* vom Augsburger Fürstbischof und Protektor der Germanischen Nation Kardinal Otto Truchsess von Waldburg (1514–1573, Bischof seit 1543) in seiner Residenzstadt Dillingen »zur erbawung Christenlicher pflantzen und widerbringung Catholischer Leer und gaistlicher Zucht daselbst auffgericht« **4**. Durch die Bulle Julius' III. vom 6. April 1551 zur Universität erhoben, am 30. Juni 1553 von Kaiser Karl V. bestätigt, wurde sie im Oktober 1563 nach großen Personalschwierigkeiten der ursprünglich vorgesehenen Dominikaner den Jesuiten übergeben. Die publizistische Bedeutung dieser ersten Universitätsgründung im nachreformatorischen katholischen Deutschland, besucht vor allem von Studenten aus den katholischen Gebieten Schwabens und der Schweiz, aus Tirol, aber auch aus Bayern, Böhmen, Polen und Litauen, wird unterstrichen durch die von Kardinal Otto begründete Akademische Druckerei. Obwohl die päpstliche

Bulle alle vier Fakultäten vorsah, wurden zunächst nur zwei realisiert: Philosophie (*Artes liberales*) und Theologie. Der Übergang an die Jesuiten änderte die Verfassung der Hohen Schule zur ersten reinen »Jesuitenuniversität« nördlich der Alpen. In ihr herrschte nicht die übliche kollegiale Universitätsverfassung, vielmehr war der vom Ordensgeneral ernannte Rektor des Jesuitenkollegs zugleich Rektor der Universität: Dillingen sollte so zur »Musterschule des Ordens« werden.

Rhetorische Selbstdarstellung

Akademische Reden sind bis heute wichtige Zeugen der inneren und äußeren Probleme des Universitätslebens. Die in der Dillinger Handschrift folio (= Blatt) 1–255 vorliegenden Reden und Disputationen dienen alle den Promotionsakten zum Bakkalaureat, Lizentiat und Magisterium (= Doktorat) der Philosophie an der Universität Dillingen zwischen 1572 und 1582 **5**. Sie entsprechen den auf den erhaltenen Promotionskatalogen gedruckten Fragen **7**. Die Autorschaft Pontanus' ist durch den einheitlichen Stil und die teilweise Übernahme in die *Progymnasmata Latinitatis* **6** ausgewiesen.

4

Wappen der Universität Dillingen.
Unter den Feuerzungen der
Heilig-Geist-Taube finden sich
Elemente des Familienwappens
der Truchsessen von Waldburg
(Tannenzapfen und Löwen) und
der Hammer, den Papst Julius III.
1550 zur Öffnung der Heiligen Pforte
verwendet und anschließend
Kardinal Otto Truchsess von
Waldburg geschenkt hat. Der
Wahlspruch »Meine Worte sind wie
Feuer und wie ein Hammer, der die
Felsen zermalmt« (Jeremia 23, 39)
ist Verpflichtung der neuen
Universität auf das Wort Gottes und
gegenreformatorisches Programm
zugleich (StuBD XVγ 133, I, fol. 2r).



1. Litteras. De simili, namque ipsa deus
Ceterum nato genitio, lenemq; iuventia
Purpureum et latus velles effaserat haec uer
Quale mang ad uerbi dico et uerbi flava

Hinc etiam ista haec memnonem scribem, Henclam, Hoc tam et
alios eis rebates non raro dicti animaduicti huius et Prospicuum, et
Sic pater scriptit hanc deinde natura quoddam regiam. Et omnis fu
nereus pro excellenti et regulari ualvo tritum est. Vetus cuiuslibet
apud Euudem a Jobas hoc referuntur. Neque per illud sicut
Togariolos, qd illa quicquid est uide et filii maris praeceps metu
qui primum et formam intercedit, in qua insed regalis quodam dignitas dei
debet etiam hunc abducere. Cetera canticula dixi, et demum rem
rebus, qui praeceps corporis ipsius habebit superuenient alios, cum pos
sestis natus magnus opera apud uerba intercedit, nisi qui publice tradidit p
dicti concentus, et invenimus psemplicius solebatur illius interea psemplicius
quodam et inuenimus. Namque et augustinus et uero Heli natale in eis
lubet et Porcius in illa modo obtemperaverint, et statim in t. de Rebus meo
rat. Quod et Ethicus ad palestinianum regni clavis determinat. In pse
milla libro cum uerbo dicitur sicut, que canticis mortales longe inter
vallo anni mortali uertentur, dixi, qui rerum potestus, et huius
Hoc siue hecum reperi, in lo uis corporis, aliud adeo in ipsa forma. Non
si dicitur aliquis ea eleganter, quod in Doctorum statu patet. Hoc enim
quoniam potest verentissime fieri, et tam humanum dicitur agere
testimoniis, eam longe exagessum humanum. Prosternimus, praesertim qd
inuenimus dulitatem, quia illa impetuosa alios ipsi frumenti, conuenienti
sunt, et non sicut psemplicius, ne id agi, nec ad omnes amittuntur.
Et psemplicius psemplicius, ut illius deponit, maculam uero sequitur,
ut adens insignis est, et rutilis clavis humanum, nubes est, que
canticis, oblongis, atq; ut afferit Plinius. Togla maior, nubila uero

a uero different, ingressus eius celior, in fronte macula quodam dudum
nude residit. Et quia Veritas uulnus proprium dicens, in telli
genibus est ueris venient, similitudine psemplicius et deliciae horum est, plus
quam macelles te pacem fortis. Sic psemplicius Hinc etiam et Hec
et Eros agitur for me misericordia tua dicatur, in eodem cummne Iesus
Marie et Hecce, et Hecce, et Hecce, et Hecce, et Hecce, et Hecce, et Hecce
et Hecce. Ni res ab eodem patitur ualeat et ambobus descriptis, et
modis exercitioribus, qui ut psemplicius et maculam aureis sibi orna
uerat. Quod ergo de basi uero regis nominis affectus, fatus est faber
li quaque tener, clavis dicitur, nec ego haec locum neglegam, immo
git quam opib; canticis agit. Quicunq; canticis, factis, canticis
canticis ad ministrandum necessaria virtutes sunt, xxiima Specie uenit
canticis et canticis, que regis psemplicius et allegoriam psemplicius hanc
nam, clavis nos psemplicius principem depanem statim dicas, est, sed
Sensib; ad hominum animas uelutariae delectio, capaces uim est
potest. Haec sunt N. D. quibus solatam miti scholam expedit
patet, quae ultimam tibi gradem, quendam hunc concutere. Hoc
etiam audita non invenienda sunt ex his. Num natus et ergo
plus fuerit adiuvare, qua
Directio et disciplina

Argumenta X

1. Hinc etiam, ut ostenderem in tua discensione, lepidam duotiam affectus de
cogno, sic uero affectus, idem sensu frequentius dicitur, rite dicitur.
Est: alterum domi delicate, alterum in aliis mendaciously psemplicius datur.
Eiusdem tempore, cum Lacedamoni frequentes contumelias, magna
origine, et psemplicius ad uitium momentanum, effectant et perficiunt
educationis et doctrinae, quod ego uobis in uane commonestram, modi
canticis psemplicius, postquam in medie psemplicius et legato, atq; omni uirilis
huius alter patrem, alter matrem, psemplicius petunt. Interrogatus Lycus.
Quid uollet sibi, hi inquit, idem natus parentibus dicens, coactus
retulit, alter uenter derit, alter uenitius emiscerat. Postrem
sur idem in dominica postea contradicat. Hoc non refutat quem tam
quis

Die Reden, darunter auch Muster für Promotionsgesuch und Danksagung, wurden zum größten Teil nicht von Pontanus selbst gehalten. Die Inhaltsangabe, das *argumentum*, lieferte normalerweise der zum Promotor bestellte Professor. Die Promotionsordnung sieht ausdrücklich ein »argumentum nobile« bzw. »illustre« vor. Die rhetorische Ausgestaltung, der *ornatus* mit klassischen Zitaten und Argumenten, war Sache des Rhetors.

Im Mittelpunkt der Dillingen Reden zum Bakkalaureat und Lizentiat stehen vor allem grundlegende Fragen des Studienverlaufs und der Wertung der humanistisch-philosophischen Studien (*Artes Liberales*) in der Zeit der Ausarbeitung der jesuitischen Studienordnung. Die Philosophie ist noch klar hingestellt in den *Cursus Artium* mit einem literarischen und mathematischen Programm, in dem auch die Musik nicht fehlen darf. Gymnasiale und universitäre Ausbildung sind noch nicht getrennt. Das Ideal ist der *vir trilinguis*, der Latein, Griechisch und Hebräisch perfekt beherrscht. Die Künste, deren ethische Wirkung Pontanus besonders am Herzen liegt, haben aber drei Voraussetzungen: gute natürliche Anlagen, Unterweisung und dauernde Übung. Zwar stehen die sprachlichen Künste im Vordergrund, doch auch Mathe- matik und Musik werden in eigenen Reden mit gehörigem Lob bedacht. Die Ausbildung in den Künsten ist mit Ovid Voraussetzung für die richtige Philosophie, die entsprechend den jesuitischen Vorgaben in einem mit dem Christentum verträglichen Aristotelismus besteht. Die Vorteile für den Staat werden in ausschließlich antiker Argumentation herausgearbeitet. Medizin kann zwar den

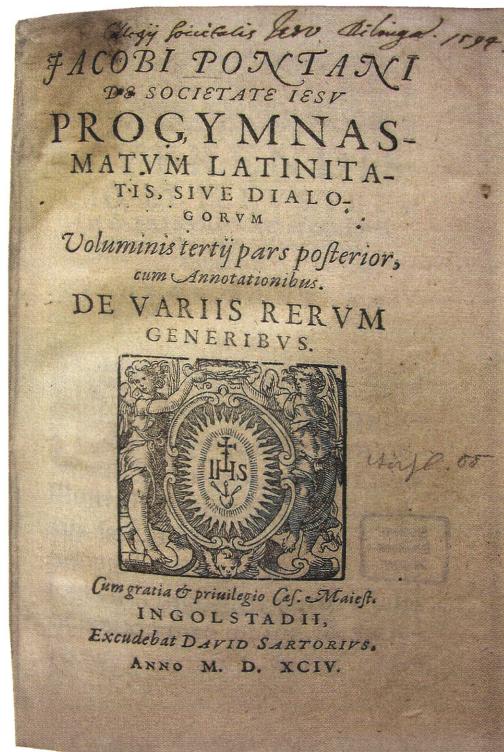
Leib heilen, Philosophie und Rhetorik aber, wie Cicero in Wort und Tat beweist, die Seele.

Ritueller Zweikampf: Disputation

Im Promotionsakt zum Bakkalaureat und Magisterium ist jeweils auch eine kurze ritualisierte und rhetorisch aufgeputzte (»ornate et copiose«) Disputation mit Argumenten und Gegenargumenten

5

Anfang der am 28. April 1579
unter Jakob Pontanus gehaltenen
Disputation: *Utrum natura et
genus plus conferat ad virtutem,
quam educatio et disciplina*
(Tragen Naturanlagen und
Abstammung mehr zur Tüchtigkeit
bei als Erziehung und wissenschaftliche
Bildung?)
(StuBD XV 399 fol. 163r
»Argumenta X«).



6

Zahlreiche Reden und Disputationen
aus der Handschrift XV 399 hat
Pontanus zu Dialogen umgearbeitet
und in seine *Progymnasmata Latinitatis*, Ingolstadt 1588–1594,
aufgenommen.

Quod bonum, faustum, felix fortunatumq; sit.



DIE NONARVM MAII, PER RELIGIOSVM ACERVDITVM
M. IAČOBVM PONTANVM PROFESSOREM ORDINARIVM SOCIETATIS IESV.
doctissimi Adolescentes, artiumq; liberalium, ac Philosophiaæ Licentiatu*m* supremam in ijsdem
arribus & Philosofia dignitatem, in Gymnasio Diligano consequentur: quorum deinceps nomina sequuntur.

NOMINA CANDIDATORVM.

*IACOBVS SARTORIUS Bibracensis.
F. MICHAEL VVEYSSVN GIVS VVettenhausanus.
IOAN NÆS BVRCKHARDVS Ochsenfurtenis.
GASPARVS SPRINGAVFF Schwenningenis.
GEORGIVS MVNDING Vnderstehenis.
IOAN NÆS FABER Dilinganus.*

AB HIS CANDIDATIS QVAESTIONES IN SEQVENTES
disputabuntur, vt eruditio*n*is suæ specimen, documentumque præbeant.

POLITICA.

Vtrum Rex, an priuatus ciuis aptior sit ad beatuviuendum.

OECONOMICA.

An extra patriam educandi sint liberi.

ETHICÆ.

An quispiam se ipse laudare possit.
An etiam politice inimicos diligere conueniat.

PHYSICÆ.

Aquanean ignis vtilior videatur.
Vtrum inane in rebus cohærere possit.

DILINÆ

In aula Academica, Anno à Christo nato,

M. D. LXXXVII.

Quid narrum latus de te quid primus pangeret et conser-
la. In agnus: gloria, lenitas, honor.
T. Dea, o quis dubitare natus celestis arbitri!
Defrisimus inter mala tibi famili.
Reita iubes certe, scibet quod, relata proferat,
Dicitur **C.** fatis sua in felocita negas.
Regula ei noscere malo certissima **V.**
Illi, qui dicitur, illi, qui dicitur, illi, qui dicitur,
Qui dicitur ea, sancta, iata quinque labores,
Adserit enim, iusta, tanta pietate pio,
Hic appetit pio, licet ininde amandi,
Hic solus liber, solus et locuplet,
Per te mortali iam suavit in corpore metet,
Causa et aligerant regna supremo peccati.

IN PHILOSOPHIAM ET PARTES EIVS CARMEN ELEGIACVM.

*Eiusmodi apertum circumvolvunt olypha,
Sicq[ue]m, tuncq[ue]m, tuncq[ue]m, tuncq[ue]m,
Inde per altera traditam impone res eatus.
Circumdat tercet, circumdat, salutem
Ruptis etiam sellae foliis intelle manet;
Quicquid, tunc latere, polimodo fuitur, opera
Nautae tunc paudent cognoscere morte,
Huius illius subiecte prebeat amorem.
Nautae tunc paudent cognoscere morte,
Maniculat plantam in orbis extremitate,
Cum lenti imposita non sponant equa legem,
In rapidis boreas tunc ferat arama Nostram.
Amigrauit in dolo doces eludere robarum
Exponit, quibus est nra probare, medea.*

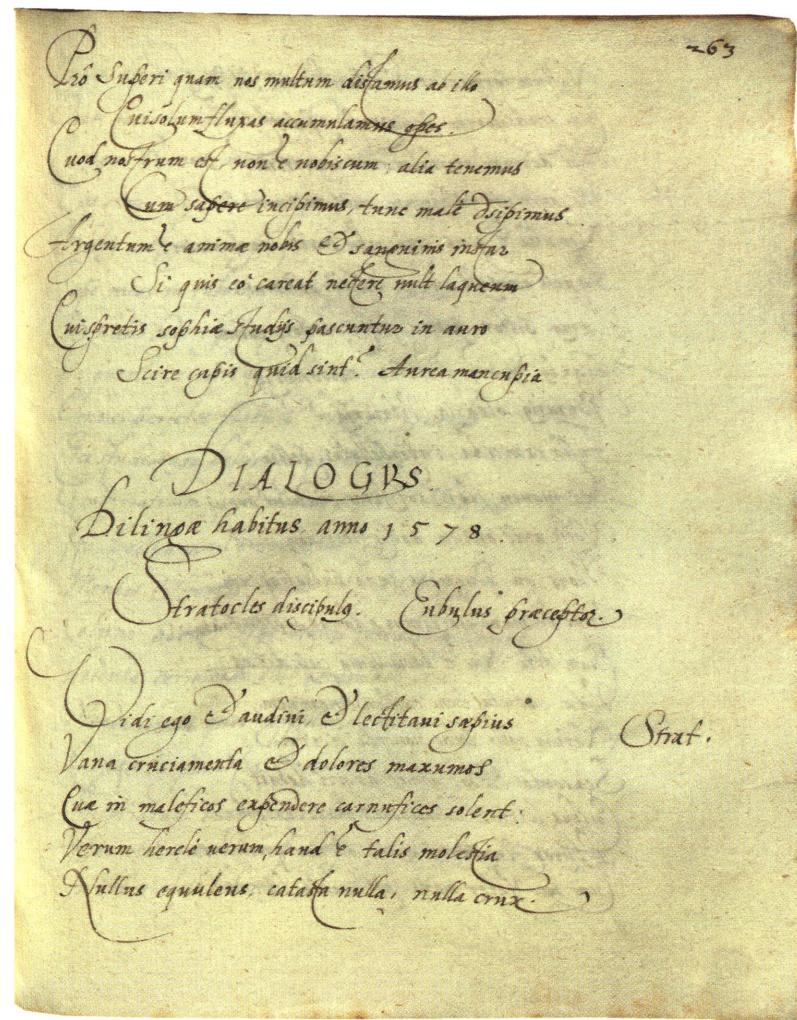
*Conspicuit amplexus, tuus quodam tempore, regnus,
In ubi non erit auctor in anglo.
Sicut querit Dalzielus propter matrem, fuscis,
Dum manet ad portum nuptia pugnae vitam,
Contempnit in famulis veteribus pectoris effusis,
Frenatque impatiens cui maledicat amos,
O dulcissimum Salustius! Stolidissima matrix,
De cuiusque non caluisse misse pete,
Huc aderit Sophia, ex tibi non communissima tria
O laetitia, gloria, lenitas, honestas,
Te collimus, domine, tibi fratres sanctorum honorum,
Cum bono sis, nos perire possis, parent,
Quisque, hodie inservit te bonus, te catogas,
Tutare auxilium, & pertendat, iustis.*

LAV'S DEO VIRGINIOVE MATERI

(*in utramque partem*) mit Entscheidung der Frage durch den Promotor bzw. einen neu promovierten Magister vorgesehen. In der Dillinger Sammlung finden sich 52 Disputationen zu Promotionsakten **5**. Nach der ursprünglichen Verwendung hat sie Pontanus zum Teil in den *Progymnasmata* zu Schülerdialogen umgestaltet **6**.

Thematisch handeln die Disputationen neben der Darstellung des Nutzens der Philosophie insgesamt vor allem von ethischen, politischen und naturwissenschaftlichen Fragen. Die Philosophie bestand ja im Curriculum der Jesuiten normalerweise aus einem dreijährigen aristotelischen *Cursus* mit Logik, *Physica* (Naturphilosophie bzw. -wissenschaft) und Metaphysik. Ethik und Mathematik waren ›Nebenfächer‹. Gerade bei den Bakkalaureatsdisputationen sind aber ethische Themen vorgesehen. Zentral wird hier die von den Jesuiten auch dramatisch gestaltete Auseinandersetzung zwischen christlich-aristotelischer und stoischer Tugend- und Affektenlehre (z.B. Tapferkeit, Furcht, Zorn, Gewalt, Rache, Suizid). Zur aristotelischen Ethik gehört im Rahmen der Haushaltungskunst (*Oeconomica*) auch die Kindererziehung. Deshalb ist hier auch der bevorzugte Ort pädagogischer Fragen, z.B. nach dem Leseprogramm der Kinder und Studenten, der Prügelstrafe oder dem Tischgetränk für Kinder. Der dritte Teil der aristotelischen Ethik ist die Politik. Diese steht in Dillingen formal im Zeichen der in jedem Promotionsakt und bei den Preisverleihungen evozierten *Respublica Christiana* und setzt sich ab von einer rein aristotelischen, stoischen oder tacitistischen Staatstheorie. Sie wird jedoch von Pontanus durchgängig aus antiken Quellen erhoben. In diesem Zusammenhang wird – angesichts der Bildungsresistenz des alten Erbades und der aufstrebenden Rolle des neuen Beamtenadels – mehrfach die Rolle des Adels thematisiert, ohne freilich einen eigenen Gelehrtenadel einzufordern. Zum Kriegswesen haben wir nur eine einzige Antwort Pontanus': Im Krieg hilft nächst der eigenen Tüchtigkeit (*virtus*) vor allem die christlich auf Gott hin interpretierte *fortuna*, wie an antiken Schlachten und der Tradition von Opfern, Gebeten und Tempeln bei den Römern dargestellt wird.

In der Naturphilosophie ist Pontanus selbstverständlich an die Vorgaben der Promotoren, die ordensinterne Zensur und die Standardlehrnen des Schul-Aristotelismus seiner Zeit gebunden. Die naturphilosophischen Fragen betreffen, von der Würde des menschlichen Körpers abgesehen, nur Fragen zur Kosmologie (*de caelo*) und Meteorologie. Sie greifen aber in aktuelle Kontroversen ein, z.B. um das kopernikanische Weltbild. Das kopernikanische System erhält, physikalisch betrachtet, wie an den meisten Universitäten Europas auch in Dillingen keine Unterstützung. 1580 wird die Frage der Erdbewegung von Pontanus in klarer Bejahung der Ruhe der Erde ausschließlich mit philosophischen Argumenten der Antike ausgearbeitet. Ein Rekurs auf die Bibel unterbleibt bezeichnenderweise. Die Magisterdisputation 1578 erörtert in *utramque partem* die Frage, ob die Kometen wirklich Ursachen ihrer angeblichen Wirkungen (Pest, Hungersnot, Krieg, Tod von Fürsten) seien.



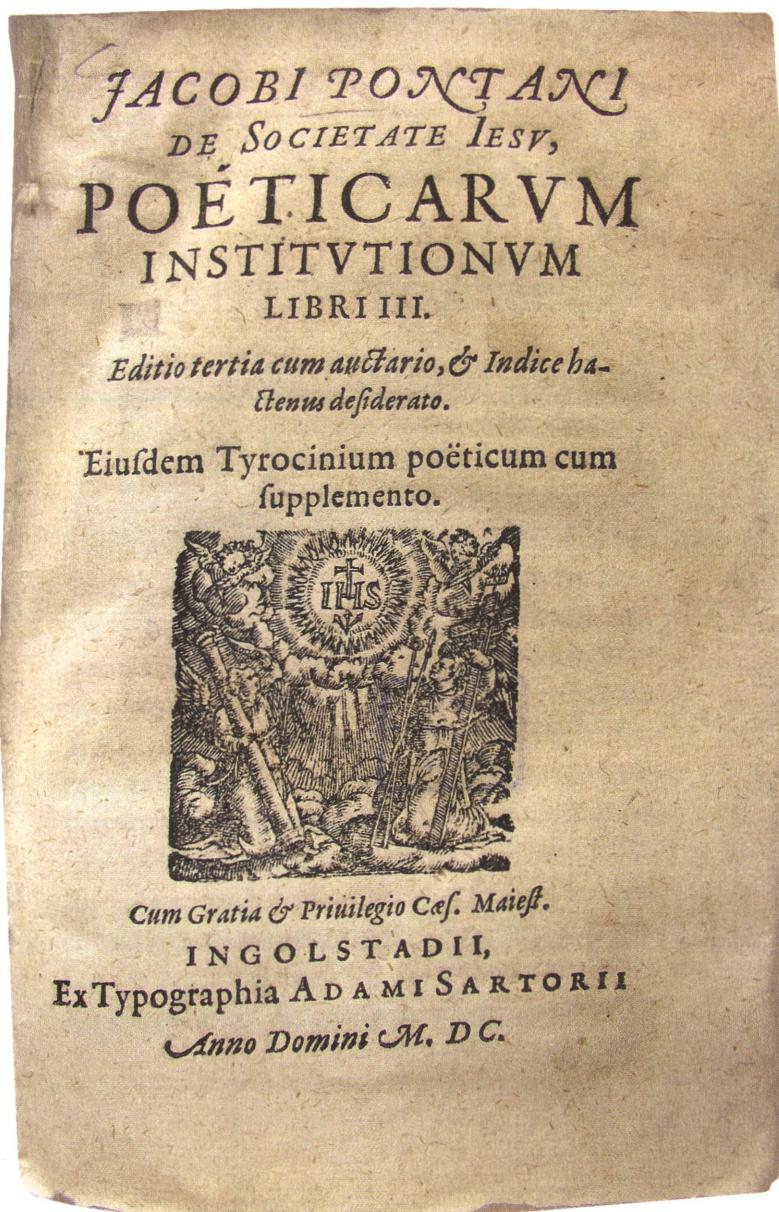
Schule und Leben auf der Bühne

Die drei Dramen Jakob Pontanus' in der Handschrift gehören in die Frühzeit des Jesuitentheaters. Das erfolgreichste Stück, der *Stratocles*, ist hier in der Dillinger Urfassung als Dialog mit dem Datum der Erstaufführung 1578 gegeben **8**. Es zeigt die Entscheidung des kriegsbegeisterten Studenten Stratocles (›Heer-Ruhm‹), der – den Mahnungen seines Lehrers Eubulus (›Wohl-Rat‹) zum Trotz – den Büchern den Rücken kehrt und in die Niederlande zieht, um dort unter Don Juan d'Austria zu kämpfen. In späteren Fassungen des Dramas wird er freilich, durch Soldaten über die Schrecken des Krieges belehrt, davon abstehen.

Ein Stück zur Eröffnung des neuen Studienjahrs, das aber auch in der Fastnacht gegeben wurde, sind die *Beani* (Beanen), bisher nur in der Innsbrucker Fassung als *Ludus ad instaurationem studiorum* bekannt. Es wurde zur Fastnacht 1587, wohl auch 1591 vor dem bayerischen Herzog Wilhelm V., wiederholt. Durch Nikodemus Frischlins *Priscianus vapulans* und Georgius Macropedius' *Rebelles* inspiriert, werden zwei Schülerpaare einander gegenübergestellt: Flagrio und Typtomenus, die (lateinisch bzw. griechisch) »Geschlagenen«, die aus der Schule in den Türkenkrieg fliehen wollen, Romaeus und Hellenius als von Latein bzw. Griechisch begeisterte Musterschüler. Diese kommen ihrem von den beiden Schulschwänzern malträtierten Lehrer Sophronius zu Hilfe und

7 (linke Seite)
Katalog der Magisterpromotion
1577 unter Pontanus mit einem
seiner Promotionsgedichte
(StuBD XV 133, I, fol. 64r).

8 (oben)
Jakob Pontanus, Anfang des Dramas
Stratocles in der ursprünglichen
Dialogfassung, mit Datierung
(StuBD XV 399, fol. 263r).



9
Jakob Pontanus, *Institutiones Poeticae*, 3. Auflage Ingolstadt 1600. In den Anhang *Tyrocinium Poeticum* sind zahlreiche Dichtungen der Handschrift in Überarbeitung aufgenommen.

führen die »Finsterlinge« (*tenebrones*) mit Hilfe des Richters Acacius der gerechten Strafe zu. Die Fabel bietet genug Raum für eine humanistische Selbstdarstellung der lateinischen und griechischen Sprache, aber auch zur meisterlichen Ironisierung des eigenen Schulbetriebs.

Ein typisch jesuitisches »Antifastnachtsspiel« ist schließlich der bisher unbekannte *Ludus Bacchaniorum*, dessen Erstaufführung (unter dem Titel *Gastrophilus*) als Zwischenspiel zu Plautus' *Mosellaria* für 1578 bezeugt ist. Die Versittlichung der Fastnachtszeit lag den Jesuiten besonders am Herzen. Unser Stück, das in zwei Teilen kontrastreich agiert, schildert zunächst komödiantisch das wüste Treiben des heruntergekommenen Gastrophilus (»Magenfreund«) in den Bacchanalien, das in einer Prügelszene mit seiner Frau Inopia (Not), Tochter der Luxuria (Ausschweifung), gipfelt. Der zweite Teil zeigt die Bekehrung des Gastrophilus durch Metanoea (Umkehr) und die Entlarvung Bacchus' als Sohn des Cacodaemon (Böser Geist = Jupiter) und leitet so zum Epilog der Quadragesima (Fastenzeit) über. Die Personen Cacodaemon und Metanoea erinnern an das Drama *Hypocrisis* des niederländischen Protestant Giulelmus Gnaphaeus

(1492–1568), den Pontanus – keineswegs abschätzigen ebenso wie die Reformatoren Melanchthon, Bucer und Oekolampad bei der Behandlung der gräzierten Namen in den *Beani* nennt. Man weiß sich eben über die Konfessionsgrenzen hinweg einer humanistischen *Res publica literaria* zugehörig.

Prügel, Preise, neue Götter

Theatralischen Charakter hatte auch die jährliche Preisverleihung an die besten Schüler aus den Gymnasialklassen. Sie fand meist bei der Eröffnung des neuen Studienjahrs in Verbindung mit einem Theaterstück auf der Bühne statt und wurde oft von einer der dramatischen Personen vorgenommen. Diese kann dabei von einem Herold unterstützt werden, der die bis zu 20 Preisträger aufruft, ohne sich in der Wortwahl zu wiederholen. Die Übergabe erfolgte mit einem kurzen Epigramm, das die Leistung poetisch würdigt. Die Preise bestanden in einem Kranz und einem Buch in Goldschnitt bzw. mit Goldprägung.

Pontanus hat in Dillingen für drei aufeinander folgende Jahre szenische Monologe zur Preisverleihung geschaffen, die später auch an anderen Orten (z.B. Freiburg in der Schweiz) übernommen wurden: *Labor*, *Honor*, *Gloria*. Die ersten beiden sind mit Änderungen auch in das *Tyrocinium Poeticum* aufgenommen 9. Mit *Labor* betritt ein Protagonist humanistischer Werte die Bühne: die geistige Anstrengung, vorgestellt als griesgrämiger Alter, gesandt von der *Iustitia*, assistiert von Scherzen zum Binden und Prügeln der faulen Schüler. Den meisten Raum nimmt hier die Strafrede an diese ein, in der die Vorwürfe der gestressten Schüler an *Labor* selbst zitiert werden. Die Mühe der fleißigen Schüler aber wird versüßt durch die Musen, von deren Lippen Nektar träufelt.

Im nächsten Jahr tritt als königliche Gestalt *Honor* – als institutionelle Anerkennung eines trefflichen Mannes ein zentraler römischer und humanistischer Wert –, der Sohn von *Labor* und *Solertia* (Geschicklichkeit), auf und stellt sich nach einer kurzen Charakterisierung der faulen und fleißigen Schüler als Ernährer aller Künste und Wissenschaften (Cicero) vor, ja als der neue Gott, dem das allgemeine Streben nach Ehre (*Philotimia*) gilt. In der Schule zeigt sich das Streben nach Ehre schon bei den kleinsten Schülern in der bereits hier gepflegten Disputation. Nach der Preisverleihung kündigt *Honor* für das nächste Jahr seine Schwester *Gloria*, die öffentliche Anerkennung, an.

Diese, eine entzückende junge Dame und herrscherliche Gestalt, weiß sich sogar der Tugend (*virtus*) überlegen. Denn auch der stoische Weise sucht doch bei aller Verachtung des Ruhms in seinem Tugenddunkel nichts anderes als den Ruhm. Doch dieser kann leer sein (*vana gloria, cenodoxia*): Man will als gelehrt, tugendhaft, heilig gelten und ist doch voller Dreck, ungebildet, rüfig wie eine Funzel. Der Weg zur *Gloria*, die einsam auf einer hohen Felsenburg sitzt, ist rau, dornig, steinig, den Vielen unbekannt. Wer aber auf dem Weg von Wachen (*vigilia*) und geistiger Anstrengung (*labor*) zu ihr kommt, den kann *Gloria* sogar zum Gott machen.

Das neue Göttermahl

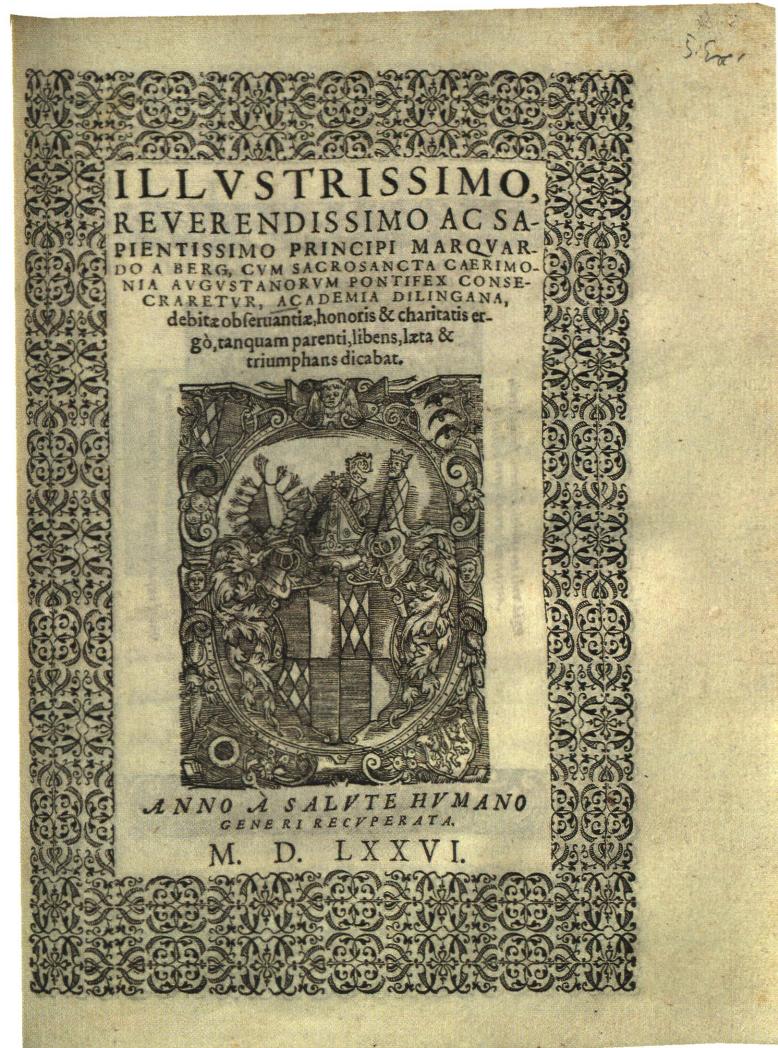
Neben Studieneröffnung, Preisverleihung und Fastnacht war bis ins 17. Jahrhundert das von den Jesuiten hoch stilisierte Fronleichnamsfest ein wichtiges Datum für die Aufführung dramatischer und poetischer Werke. Die Dillinger Handschrift enthält acht Dialoge und sieben monodische Gedichte auf die Eucharistie, zum Teil verändert und abgeschwächt aufgenommen in das *Tyrcinum Poeticum* [3]. In ihnen wird – in protestantischem Umfeld – das auch für die akademische Welt noch neue katholische Dogma der Realpräsenz Christi in der Eucharistie dargelegt, wie es vom Trierer Konzil gegen die Protestantenten 1551 definiert wurde. Die antikisierende humanistische Geisteswelt wird aber nicht verlassen. Beim Empfang des neuen Fürstbischofs Johann Eglof von Knöringen (reg. 1573–1575) zu Fronleichnam 1573 wurden an den vier Altären des Prozessionswegs solche Dialoge und Gedichte vorgetragen, unzählige andere (»milia carmina«) wurden an den Kirchenwänden angeschlagen.

Pontanus' Meisterschaft zeigt sich in der humanistischen, freien, oft sehr persönlichen Gestaltung der einzelnen theologischen Themen in einer zwischen antikem, biblischem und mystischem Vokabular und Bild oszillierenden Sprache. Da sind selbstverständlich die »getauften« antiken Götter Ceres (Brot) und Bacchus (Wein) dabei; auch Ganymed, Jupiters geliebter Mundschenk, darf nicht fehlen. Doch die antike Wirklichkeit wird überboten durch das Neue: Gott selbst wird unsere Speise, so sehr, dass (nur in der handschriftlichen Fassung) unser Fleisch (*viscera*) sein Fleisch, das seine unseres wird. Gott wird Mensch; wir werden Gott (*theiosis*). Anders als natürliche Speise stellt diese Gabe Christi an seine Braut, die Kirche, weder Hunger noch Durst, sondern steigert das Verlangen zu mystischer Liebestrunkenheit, ja bis zum Liebestod. Das muss doch gefeiert werden mit der ganzen Pracht des Fronleichnamfestes, mit Blumen, Kränzen, Weihrauch und dem poetisch geschilderten Wettstreit der Instrumente.

Zur äußeren Feier und zur mystischen Verinnerlichung tritt dann vor allem in den Dialogen die didaktische Erklärung des eucharistischen Geheimnisses in klarer katholischer Position. Ausfälle gegen die Protestantenten halten sich im Vergleich zur zeitgenössischen Polemik in erfreulichen Grenzen. Nur bei der Frage des Laienkelches, wenn Pontanus die Hussiten und seine böhmische Heimat im Blickfeld hat, wird er sehr emotional. Im Druck verzichtet er – entsprechend den Richtlinien für das Zusammenleben in der bikonfessionellen Stadt Augsburg, wo Pontanus seit 1582 am Jesuitengymnasium lehrte, – auf solche Polemik ganz oder münzt sie auf die Türken um. Deren Niederlage bei Lepanto 1571 besingt er in einer Elegie zum Fronleichnamstag 1572, wo dann selbst Neptun aus seiner Höhle an die Oberfläche kommt, um das Spektakel zu sehen.

Die Gunst der Mächtigen

Universitäten sind abhängig von der Gunst und dem Mäzenatentum der Mächtigen. Der Poet ist also gefragt, wenn solche bei Besuchen mit Gedichten durch Schüler gebührend zu empfangen sind.



10

Das Gedichthändchen der Universität Dillingen zur Bischofsweihe Marquards vom Berg 1576 aus der Feder Pontanus'.

Ein Corpus solcher Dichtungen ist in der Dillinger Sammlung [3] enthalten. Ein Teil spielt 1573, als der neue Fürstbischof Johann Eglof von Knöringen, ein gefeierter Humanist, am 23. Mai feierlich in der Universität begrüßt wird. Zwei weitere Gedichte sind bei der Rückkehr nach Dillingen von der Huldigungsfahrt durch das Hochstift am 28. September zu datieren. Am 21. Juni 1573 macht Herzog Albrecht V. von Bayern (1528–1579) mit Herzogin Anna (1528–1590) und dem künftigen Herzog Wilhelm V. (1548–1626) dem neuen Bischof in Dillingen seine Aufwartung. Dabei steht auch ein Besuch der Universität auf dem Programm. Im November 1578 kommt Herzog Albrecht mit Gefolge erneut nach Dillingen.

Auf einen hohen habsburgisch-bayerischen Besuch zwischen 1576 und 1580 beziehen sich weitere Gedichte: Erzherzog Ferdinand II. von Tirol (1529–1595) besuchte zusammen mit seiner Frau Philippine Welser (1527–1580), seinen Söhnen und seinen beiden Schwestern, Herzogin Anna von Bayern und Erzherzogin Eleonora (1534–1594), verheiratet mit Fürst Wilhelm Gonzaga von Mantua (1538–1587), Dillingen. Neben einem Besuch des Jesuitenkollegs stand eine Theateraufführung auf dem Programm, zu der die fürstlichen Personen einzeln oder in Gruppen begrüßt wurden. Weitere Gedichte betreffen nicht namentlich genannte weltliche und kirchliche Würdenträger, aber auch den späteren Bischof Marquard vom Berg (reg.



ASSERTIONES RHETORICAE, QVAS IN CELEBRI ACADEMIA DILINGANA DEFENDET INGENVVS ADOLESCENS MARTINVS RVMELIN, QVI EIDEM FACULTATI PER ANNVM ibidem operam dedit. Præside D. Professore Oratoriæ ordinario.

I.

Etsi multæ recensentur & variae diversorum authorum à F. Quintiliano finitiones, quibus Rhetoricam circumscrubunt, nos tamen vnam maximè probamus, qua videntur Cicero & alij graues authores vñi, vt Rhetorica sit doctrina bene dicendi.

II.

Atq; hanc definitionem valde aptam & idoneam iudicamus ad manifestandam Rhetoricæ vim & naturam, dummodo recte intelligatur. In cuius explicatione longè aberrauit Quintilianus, quod tamen venia ipsius dixerim, dum altero verbo significari autumat oratoris mores, altero omnia lumina & ornamenta orationis, quasi bene dicere copiosè & ornate loqui, vt nunquam vita repugnet oratio.

III.

Quæ expositio non modò cum veritate pugnat, sed etiam Cicero nisi contraria, qui in secundo libro de oratore: Bene dicere, ait, est scienter & perite & ornata dicere, vt hinc facile intelligi possit, longè aliter Ciceronem sensisse, quam Quintilianus imaginatur.

IV.

Itaq; nos censemus hanc definitionem ita explicari posse & debere Rhetoricam esse quandam artem & doctrinam quæ viam muniat ad scienter, perite & ornata dicendum.

V.

Est autem Rhetorica vera scientia, eaq; contemplativa, cu ad nullum opus externum dirigat intellectum, sed tota occupetur in speculanda sui obiecti natura.

VI.

Cuius obiectum ad eum statuimus orationem, cum & huius natura præcipue inuestigetur, eiusq; principia, forme & proprietates considerentur & ad ipsam cetera omnia referantur in Rhetorica;

VII.

Materiam Rhetorices, vt magni viri tradiderunt, existimamus esse res omnes quæ in disceptationem hominum cadere possunt, nec tamen id inde effici, vt quidam inepti colligunt, Rhetorica in numerū scientiarum, quas reales vocant, collocari debere.

VIII.

Finis huius scientiæ quantumvis alij aliter sentiant, cōsistit in supeditando instrumento idoneo ad inducendam in animis auditorum persuasionem, non autem in persuadendo, aut in bene dicendo.

IX.

Causa efficiens apud Græcos quidem Aristoteles putari debet, apud Romanos Cicero, tametsi non negamus plurimos alios in tradendis huius artis præceptis elaborasse, vt & ex Bruto Ciceronis, & ex tertio libro F. Quintiliani manifestum est.

X.

Ex his quæ diximus appare falsam esse Quintiliani sententiā, qui contendit planum facere Rhetoricam virtutem appellari debere, & oratorem esse virum bonum, pro qua etiam veluti pro focis & aris acerimè pugnat,

XI.

Tota porro dicendi facultas in tres partes diuidi potest cōmodissime, in vim oratoris, orationem & questionem, cuius diuisionis Cicero author exitit in partitionibus oratorij.

XII.

Sub vi oratoris Cicero comprehendit inuentionem, dispositionē, elocutionem, actionem & memoriam, quæ ab alijs partes eloquentia dicī solent, quarum quatuor priores maximè propriæ sunt & necessariae oratori: ultima non item, quam proinde si subtiliter & acutè loqui velimus, ab arte remouendam existimamus.

XIII.

Neq; probamus illos qui Rhetoricam patrijs & auitis bonis spoliante, inuentionem dispositionem dialectice tribuant, actionem histriónibus adscribunt, quasi sola elocutio ad Rhetoricam pertinet. Nam vt cōcedamus dialecticum inuenire & disponere & histriones agere, quis tam rudi est qui non adiuraret, aliam atq; aliam rationem in his rebus à diuersis artificib; obseruaris?

XIV.

Quamuis autem huiusmodi particule partes officij oratoris à multis vocentur, nihil impedit tamen, quin ab arte considerari debeant, & partes artis vocari aliquo modo possint.

XV.

Orationis quatuor partes constitutimus apprimè necessariaς, quarum si vel una desit, oratio nomen suū amittit, sicutq; haec: Exordium, Narratio, Confirmatio, Peroratio, quarum dispositionē pro commodiitate causæ, oratoris prudentia moderabitur.

XVI.

Quæstionis duo sunt genera: Vnum infinitum & commune, quod nullis nec personis, nec locis, nec temporibus notatum de vniuerso genere queritur; alterum certum & definitum, rem locatam in certis personis, locis, temporibus pertractat. Illud à Græcis θεοις, hoc ἄνθρωποι nuncupatur.

XVII.

Ac Cicero quidem tū in topicis, tū in partitionibus oratorij ait, infinitum quæstionem sub definita, cuius pars sit, contineri: nos autem saluo honore Ciceronis vt inceptam & falsam hanc sententiam rejicimus. Quod si haec: An Socrati sit administranda respub. Athenis; istam complectitur: An homini philosopho in patria liceat administrare rem publicam: ista tamen non est quæstio infinita, sed est quæstio neutra, utriusq; tamen capax, vt manifestum est speculatibus.

XVIII.

Pertinet autem vtriusq; quæstionis genus ad oratorem, licet in definito frequentius quam in illo communi & infinito versetur.

XIX.

Definitæ quæstionis tria sunt genera, quæ dicuntur à Cicerone & Quintiliano, genera causarum: nos hæc arbitramur ad infinitam quoq; accommodari posse & debere. Sed tunc non genera causarum, sed genera orationum seu formæ Rhetorica secundum Aristotelem dici debent.

XX.

Status quem dicunt esse quæstionem primam quæ nascitur ex intentione & depulsione, modo ab accusatore sit, modo à defensore, estq; triplices: Vnus conjectura, alter finitionis, tertius qualitatis, nec præter hos alius quartus ponidetur.

1575–1591). Zu dessen Bischofsweihe 1576 gab die Universität ein beigelegenes Gedichtbändchen Pontanus' heraus [10], um den notorischen Jesuitengegner für den Orden und die schlecht dotierte Universität zu gewinnen. Doch dies konnte selbst die glänzendste späthumanistische Poesie nicht leisten.

Scholastik und Lebenswelt

Die Sammlung aus der Dillinger Lehrtätigkeit Pontanus' ist ein beeindruckendes Zeugnis universitärer Festkultur. Im engeren akademischen Bereich der Promotionen, Preisverleihungen und im weiteren der Dramen, des Fronleichnamsfestes und der fürstlichen Besuche tritt uns ein akademisches Selbstbewusstein der noch relativ kleinen, in diesen Jahren aber stark gewachsenen Universität Dillingen entgegen, das gar nichts Provinziales an sich hat, sondern sich in humanistischer Rückbesinnung auf die Antike in der jesuitischen, akademischen und politischen Lebenswelt ihrer Gegenwart zu präsentieren versteht [11]. Die Erforschung solcher Wechselwirkungen zwischen akademisch-scholastischer Philosophie und Theologie und den frühneuzeitlichen Lebenswelten in Schule, Stadt und Kloster, z. B. in Studien- und Lebensordnungen, ist Ziel eines längerfristigen Regensburger Lehrstuhlprojekts. Für dieses war der Dillinger Handschriftenfund ein seltener Glücksfall.

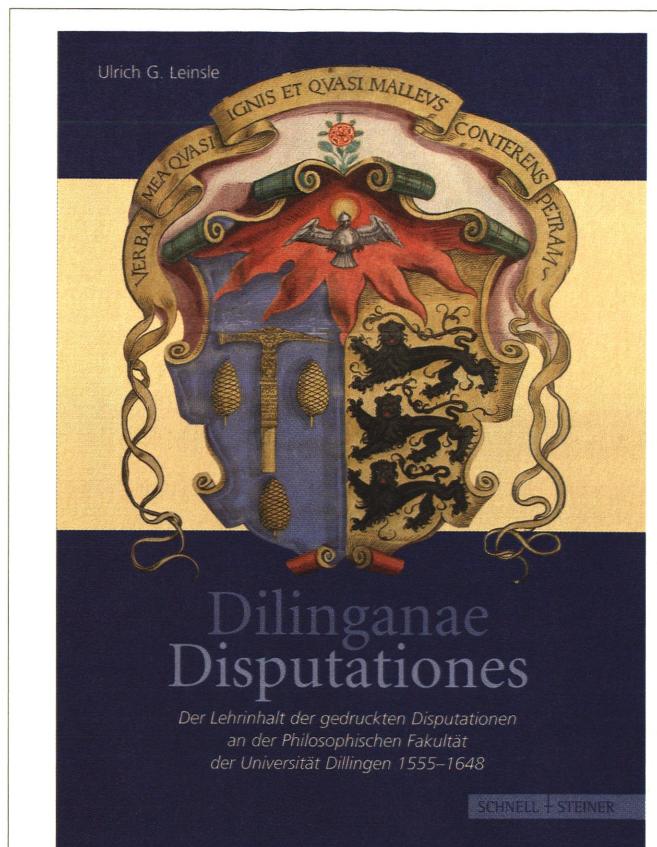
Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 69

Prof. Dr. phil. Dr. theol.

Ulrich G. Leinsle O.Praem
geb. 1948 Mittelrieden/Schwaben.
Studium der Philosophie und
Katholischen Theologie in Augs-
burg, München, Innsbruck und
Rom. 1974 Promotion in Theologie
(Grabmann-Institut München).
1978 Promotion in Philosophie
(Rom). 1978–1989 Assistent und
Prof. für Philosophie an der Katho-
lisch-Theologischen Hochschule
Linz, 1986–1988 Rektor. 1985
Habilitation für >Christliche Philoso-

phie< an der Universität Innsbruck.

Seit 1989 Lehrstuhl für Systemati-
sche Theologie (Philosophisch-
theologische Propädeutik) an der
Universität Regensburg.
Seit 1997 Präsident der Historischen
Kommission des Prämonstratenser-
ordens (Averbode, Belgien).
Forschungsgebiete:
Philosophie und Theologie des
Mittelalters, Katholische und pro-
testantische Schulphilosophie der
Frühen Neuzeit, Kulturgeschichte
des Prämonstratenserordens.



Die Universität Dillingen an der Donau (1549/53–1803) gilt als eine „Eliteuniversität der Frühen Neuzeit“. Erstmals wird hier die Philosophie einer Jesuitenuniversität anhand der gedruckten Disputationsschriften in allen vorgeschriebenen Fächern (Logik, Naturphilosophie, Metaphysik, Ethik, Politik) untersucht. Da in den Disputationen die Kontroversen im Vordergrund stehen, ergibt sich ein faszinierendes Bild des wissenschaftlichen Streitgesprächs.

Die Jesuiten bestimmten die akademische Bildungslandschaft im katholischen Deutschland jener Epoche. Die Universität Dillingen, 1563 den Jesuiten übergeben, gilt als eine „Musterschule des Ordens“. Sie zog weit über den schwäbischen Raum hinaus Studenten aus Italien, der Schweiz, Polen und Litauen an. An ihr sollte sich nach dem Willen des Ordens die Eigenart jesuitischer Lehre ausdrücken.

Erstmals wird in diesem Band die Philosophie einer Jesuitenuniversität anhand der gedruckten Disputationsschriften (bis 1648) in allen vorgeschriebenen Fächern untersucht. Im Unterschied zum Lehrbuchwissen stehen in den über 300 untersuchten Disputationen die aktuellen, kontrovers diskutierten Fragen im Vordergrund.

- Erstmals wird die Philosophie einer Jesuitenuniversität anhand der gedruckten Disputationsschriften untersucht
- Faszinierendes Bild des wissenschaftlichen Streitgesprächs der Frühen Neuzeit
- Von besonderem Interesse für Philosophen und Wissenschaftshistoriker wie für Neulateiner, Germanisten, Historiker und Theologen

Ulrich G. Leinsle

Dilinganae Disputationes

Der Lehrinhalt der gedruckten Disputationen an der Philosophischen Fakultät der Universität Dillingen 1555–1648

Reihe: Jesuitica – Quellen und Studien zu Geschichte, Kunst und Literatur der Gesellschaft Jesu im deutschsprachigen Raum, Band 11

1. Auflage 2006, 680 Seiten, 1 Farb-, 14 s/w-Abbildungen, 17 x 24 cm,

Leinen mit Schutzumschlag, fadengeheftet

ISBN: 978-3-7954-1873-1

€ 66,- [D] / Fr 112,-

Verlag Schnell & Steiner GmbH · Leibnizstraße 13 · D-93055 Regensburg

Tel.: +49- (0)9 41-7 87 85-26 · Fax: +49- (0)9 41-7 87 85-16

www.schnell-und-steiner.de · bestellung@schnell-und-steiner.de

Nanomotoren mit Rauschantrieb

Quantenratschen

Quantenstatistische Physik

Brownsche Motoren nutzen das thermische Rauschen als Antrieb für die gerichtete Bewegung von mikroskopischen Teilchen. Hier betrachten wir mikroskopische Brownsche Ratschen die, wie eine aus dem Alltag bekannte Ratsche, eine Unsymmetrie in ihrem Aufbau besitzen. Der Blick in die Quantenwelt führt zur Quantenratsche, die auf dem Zusammenspiel von thermischem Rauschen und dem Tunneln beruht. Mit einer Quantenratsche können z. B. Elektronen in Nanostrukturen zur Bewegung in eine bestimmte Richtung gezwungen werden. Die Fähigkeit von Quantenteilchen, durch Barrieren zu tunneln, führt zu neuen interessanten Effekten.

Ratschen

Im Prinzip ist die Ratsche ein unsymmetrisches Zahnrad, das sich nur in eine Richtung drehen kann, wenn die Drehung in die andere Richtung durch einen Sperrhaken blockiert ist. Ratschen kommen in vielen Bereichen der Technik vor, z.B. bei Schraubenschlüsseln, die sich nur in eine Richtung drehen. Andere Ratschen sind Windmühlen. Ein Getriebesystem mit einem Ratschengerüste konvertiert Bewegung des Windes, auch wenn dieser seine Richtung dauernd verändert, in brauchbare Arbeit. So kann Wasser gepumpt oder Getreide gemahlen werden. Entscheidend für die Bewegung der Windmühle ist einerseits die Asymmetrie der Ratsche und andererseits ein Nichtgleichgewicht in der Luft, das durch den Wind erzeugt wird. Ohne Wind gibt es keine Bewegung.

Sehr viele Maschinen in unserer technischen Umwelt sind Wärmekraftmaschinen. Eine Wärmekraftmaschine nutzt den Temperaturunterschied zwischen zwei Wärmereservoirs aus. Beim Betrieb wird ein Teil der Wärme des wärmeren Reservoirs in brauchbare Energie umgewandelt, und ein anderer Teil wird als Wärme vom warmen zum kalten Reservoir überführt. Je höher der Temperaturunterschied der beiden Reservoirs ist, desto größer ist der Wirkungsgrad, wie der französische Physiker Sadi Carnot im Jahre 1824 erstmals gezeigt hat.

Nach dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik ist es nicht möglich, eine Wärmekraftmaschine zu bauen, die einem einzigen Reservoir Wärme entzieht und die Wärme in Arbeit verwandelt. So kann sich ein Schiff auf dem Meer nicht dadurch fortbewegen, dass es Energie allein aus der Wärme des Wassers gewinnt.

Die Feynman-Ratsche

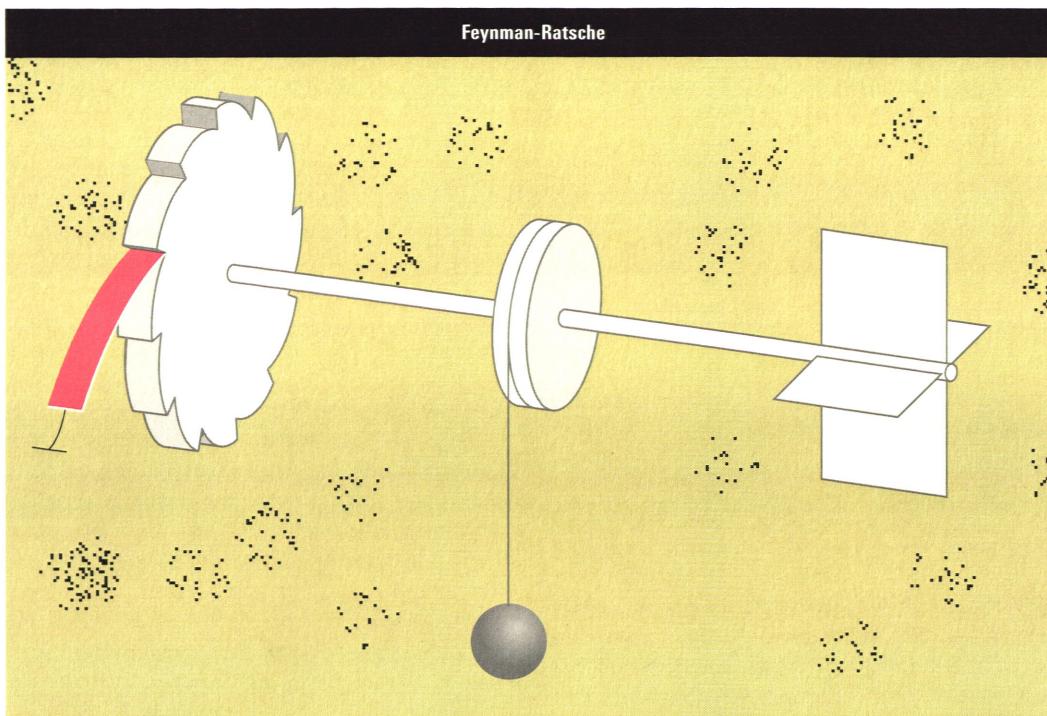
Im Jahre 1827 entdeckte der britische Botaniker R. Brown die nach ihm benannte Brownsche Molekularbewegung von Teilchen. Brown hat im Mikroskop beobachtet, dass in Wasser suspendierte mikroskopische Teilchen, z.B. kleine Kugelchen, die viel größer sind als die Wassermoleküle, eine Zickzack-Bewegung ausführen. Er hat dies darauf zurückgeführt, dass Wassermoleküle in unregelmäßiger Weise gegen die Kugelchen stoßen und sich diese infolgedessen mal in die eine und mal in die andere Richtung bewegen. Sie bewegen sich aber im Mittel nicht vom Fleck. Die Brownsche Bewegung ist eine Manifestation des thermischen Rauschens eines Systems. Albert Einstein hat 1905 eine grundlegende mikroskopische Theorie der Brownschen Molekularbewegung entwickelt, die auch heute Gültigkeit besitzt.

Im thermischen Gleichgewicht haben die Wassermoleküle die Temperatur T (gemessen in Grad Kelvin). Die Temperatur T=0 entspricht dem absoluten Nullpunkt der Temperaturskala. Bei endlichen Temperaturen führen die Wassermoleküle eine statistische Bewegung aus. Der Wert der Temperatur selbst ist ein Maß für die Größe der thermischen Fluktuation, d.h. für die statistisch auftretende Energieänderung eines Teilchens. Die Größenordnung der Energieänderung eines Wassermoleküls durch thermische Fluktuation ist in der Größenordnung von $k_B T$, wobei $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Joule/Kelvin die Boltzmann-Konstante ist. Die Stärke der Fluktuation nimmt mit der Temperatur zu und verschwindet, andererseits, am absoluten Nullpunkt.

Im Jahre 1912 kam durch den polnischen Physiker Marian von Smoluchowski (Professor in Lemberg und Krakau) die Frage auf, ob man die Brownsche Molekularbewegung dazu verwenden könnte, eine *mikroskopische* Maschine zu bauen, die aus dem thermischen Rauschen Arbeit verrichten kann, also eine Maschine, die Teilchen gezielt in eine Richtung bewegen kann.

Der amerikanische Nobelpreisträger Richard Feynman hat (um 1966) diese Frage aufgegriffen und sich eine raffinierte Mikromaschine ausgedacht, von der man annehmen könnte, dass sie in der Lage sei, Rauschbewegungen in brauchbare Arbeit zu verwandeln. Er hat die Feynman-Ratsche **1** erfunden. Man betreibt diese Maschine in einem Gedankenexperiment. Das erste Gedankenexperiment wurde 1905 von Einstein durchgeführt bei der Behandlung der speziellen Relativitätstheorie. Seither ist das Gedankenexperiment eine bewährte Methode der Physik. Beim Gedankenexperiment

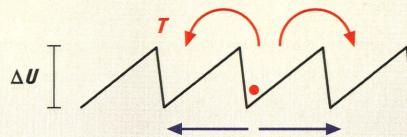
Feynman-Ratsche



1

Die Feynman-Ratsche. Die Frage ist: Kann aufgrund der Fluktuation der Stöße – d.h. Stößen auf das Paddel – ein Drehmoment ausgeübt werden, so dass sich das Zahnrad im Uhrzeigersinn dreht? Die Antwort von Feynman: Das Zahnrad kann sich zwar im Prinzip gelegentlich mal im Uhrzeigersinn drehen, aber genauso oft dreht es sich gegen den Uhrzeigersinn. Dies kommt dadurch zustande, dass die Luftmoleküle auch auf den Sperrhaken treffen und diesen kurzzeitig anheben. Im Mittel bleibt das am Faden befestigte Gewicht in seiner Lage stehen. Es wird keine Arbeit durch die thermische Fluktuation der Luft erzeugt.

Prinzip der Feynman-Ratsche



wird eine konkrete physikalische Anordnung – in Gedanken – wie ein Experiment aufgebaut und theoretisch analysiert. Bei der Feynman-Ratsche wird ein Instrument (die Ratsche) im mikroskopischen Bereich eingeführt. Sie hat zunächst dieselben Eigenschaften wie eine makroskopische Ratsche. Durch die Verkleinerung in die mikroskopische Dimension, also in die Dimension der Atome und Moleküle, besitzt sie Eigenschaften, die eine makroskopische Ratsche nicht hat. Insbesondere kann die mikroskopische Ratsche durch Stöße der Atome oder Moleküle bewegt werden. Diese Situation wird nach den Gesetzen der statistischen Physik korrekt und vollständig theoretisch analysiert und führt zum eindeutigen Schluss: Das Gewicht wird nicht angehoben. Die konkrete Rechnung führte also zu einem Ergebnis, das beim Vergleich mit dem Zweiten Hauptsatz Bestand hat, also den Zweiten Hauptsatz nicht verletzt.

Das Zentrum der Feynman-Ratsche ist ein unsymmetrisch aufgebautes Zahnrad mit einem Sperrhaken. Das Zahnrad sitzt auf einer Achse. Nicht gezeichnet im Bild ist die Befestigung der Achse; man kann sich vorstellen, dass die Achse an beiden Enden mit Hilfe von Kugellagern gehalten wird. Fest verbunden mit der Achse ist ein Paddel und außerdem eine Spule, auf die ein Faden aufgerollt werden kann. An dem Faden befindet sich ein kleines Gewicht. Wenn man mit der Hand an dem Paddel dreht, dann lässt es sich leicht im Uhrzeigersinn drehen. Dabei wird das Gewicht angehoben, also Arbeit geleistet. Das Paddel lässt sich aber wegen des Sperrhakens nicht gegen den Uhrzeigersinn drehen. Die Frage von Feynman bestand darin, ob auch Luftmoleküle (schwarze Punkte) die Ratsche im Uhrzeigersinn drehen können. Man könnte bei naiver Betrachtung erwarten, dass infolge der statistisch erfolgenden Stöße der Luftmoleküle auf das Paddel dieses gedreht wird und die Sperre in die nächste Stufe des Zahnrads springt. Damit würde das Gewicht angehoben, d.h.

das System würde Arbeit leisten. Bei Wiederholung des Vorgangs könnte das Gas an dem System Arbeit leisten, d.h. man könnte aus dem Rauschen des Gases Energie gewinnen. Dies widerspricht dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik. Feynman hat in einer theoretisch brillanten Behandlung der Feynman-Ratsche gezeigt, dass das Anheben eines Gewichts zwar gelegentlich vorkommen kann – bei entsprechender mikroskopischer Dimensionierung der Maschine – dass aber ein Gegeneffekt auftritt. Dieser besteht darin, dass Moleküle durch ihre statistische Bewegung auch die Sperre hochheben können und sich das Zahnrad gelegentlich gegen den Uhrzeigersinn dreht. Im Mittel bleibt das Zahnrad in der gleichen Stellung, es gibt keine gerichtete Drehung, das Gewicht bleibt an derselben Stelle.

Wir wollen die Feynman-Ratsche mit einem modellmäßigen Bild illustrieren 2. Ein Teilchen (rot), das in gewisser Weise den Sperrhaken repräsentiert, befindet sich in einem periodischen asymmetrischen Potential der Barrierenhöhe. Das Teilchen ist in thermischer Bewegung entsprechend der Temperatur T, d.h. seine Energie ändert sich infolge der thermischen Bewegung permanent. Dabei ist die Größe der Energieänderung von der Größenordnung $k_B T$. Durch die thermische Bewegung kann das Teilchen auch mal soviel Energie gewin-

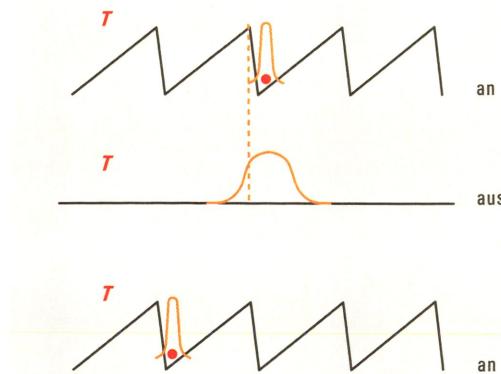
2

Schematische Darstellung der Feynman-Ratsche. Die Ratsche besteht aus einem sägezahnartigen periodischen Potential (Höhe ΔU). Die einzelnen Zacken des Potentials sind unsymmetrisch. Ein Teilchen (rot markiert) befindet sich in einem Temperaturgleichgewicht (Temperatur T). Das Teilchen kann, wenn es zufällig durch thermische Fluktuation eine große Energie gewinnt, über die Barriere nach rechts bzw. nach links fliegen (rote Pfeile). Die Wahrscheinlichkeit für die Bewegung nach rechts (blaue Pfeile nach rechts) ist genauso groß wie die Wahrscheinlichkeit für die Bewegung nach links (blaue Pfeile nach links).

3

Flashing-Ratsche. Das Potential, das zunächst angeschaltet ist, wird aus und wieder eingeschaltet. Während das Potential ausgeschaltet ist, kann sich das Teilchen nach links oder nach rechts bewegen. Es entsteht eine Nettobewegung nach links in die Richtung der größeren Länge der Zähne des Potentials. Durch das Ein- und Ausschalten des Potentials wird bewirkt, dass aus der ungerichteten Fluktionsbewegung des Teilchens eine gerichtete Bewegung, d.h. eine Gleichrichtung von Fluktionsbewegungen entsteht.

Prinzip der Flashing-Ratsche



ausgeschaltet **3.** Zu Beginn ist das Potential eingeschaltet und das Teilchen befindet sich in einem Minimum des Potentials (einem Potentialtopf). Schaltet man das Potential aus, so kann sich das Teilchen aufgrund seiner Temperaturobewegung nach links oder nach rechts bewegen. Die Bewegung nach links erfolgt mit derselben Wahrscheinlichkeit wie die Bewegung nach rechts. Durch das Einschalten des Potentials wird das Teilchen im selben oder in einem anderen Topf eingefangen. Wegen der Asymmetrie des Ratschenpotentials wird das Teilchen im benachbarten Topf links nun mit der größeren Wahrscheinlichkeit eingefangen als im benachbarten Topf rechts. Die Bewegung des Teilchens bei ausgeschaltetem Potential wird in eine Nettobewegung (also nach links) umgewandelt. Wenn der Vorgang wiederholt wird, bewegt sich das Teilchen im Mittel nach links.

Den gleichen Effekt kann man erreichen, wenn das Potential zeitlich konstant ist und die Temperatur zwischen einem niedrigen und einem hohen Wert variiert wird. Dabei muss die höhere Temperatur so groß sein, dass das Teilchen die Potentialbarriere nicht mehr fühlt.

Die Wahrscheinlichkeit für einen Sprung hängt von der Temperatur ab. Wenn die Potentialbarriere groß ist gegen die mittlere Energie der thermischen Fluktuation ($\Delta U \gg k_B T$), dann ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Teilchen die Barriere überwindet, proportional zur Exponentialfunktion $\exp[-\Delta U/(k_B T)]$. Das heißt die Wahrscheinlichkeit, dass das Teilchen die Barriere überwindet, nimmt mit der Temperatur stark zu. Aber es besteht keine bevorzugte Richtung, und im Mittel ist die Bewegung nach links und nach rechts gleich wahrscheinlich. Trotz der Asymmetrie des Potentials bleibt das Teilchen im Mittel am gleichen Ort.

Klassische Ratschen und molekulare Motoren

Die Situation ist eine völlig andere, wenn sich das gesamte System (d.h. Teilchen plus Umgebung) in einem *Nichtgleichgewicht* befindet. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, das System aus dem thermischen Gleichgewicht zu treiben. Bei der Flashing-Ratsche (flashing = aufblitzen) kann das Teilchen Energie mit einem thermischen Reservoir austauschen. Das Potential wird wiederholt ein- und

ausgeschaltet. Das Prinzip der Ratsche ist in der Biologie verwirklicht und zwar schon seit Millionen von Jahren. Moleküle werden nach dem Prinzip der Ratsche in jeder Zelle unseres Körpers transportiert. So bewegt sich Kinesin (ein Protein) entlang von Mikrofilamenten (Mikrotubuli, bestehend aus polymeren Proteinen). Kinesin ist in der Lage (sozusagen als Lokomotive) andere Moleküle entlang der eindimensionalen Tubuli (der Gleise) mitzuziehen. Die Mikrotubuli haben Sägezahnform mit Energiebarrieren, welche die Bewegung von Kinesin verhindern. Die Hydrolyse von Adenosintriphosphat (ATP) ändert das Potential zu einer flachen Form. Durch die Freilassung von Hydrolyseprodukten kehrt das Potential schließlich wieder zur Sägezahnform zurück. Der Ratscheneffekt führt dazu, dass Kinesin in eine Richtung driftet. Dabei ist die Richtung bestimmt durch die Form des Potentials.

Zurzeit werden mikroskopische Ratschenpotentiale mit Hilfe von Mikrostrukturen entwickelt, welche die Bewegung von Molekülen in eine Richtung erzwingen. Damit können z.B. verschiedene

4

Rocking-Ratsche. Die Rocking-Ratsche besteht aus einem periodischen unsymmetrischen Potential, das einer Rocking (Schaukel-)Bewegung unterworfen wird. Die Rocking-Ratsche kann als klassische Ratsche oder als Quantenratsche betrieben werden. Bei hoher Temperatur arbeitet sie als klassische Ratsche mit einer mittleren Bewegung der Teilchen nach rechts und bei tiefer Temperatur als Quantenratsche, mit der bevorzugten Bewegung der Teilchen nach links.

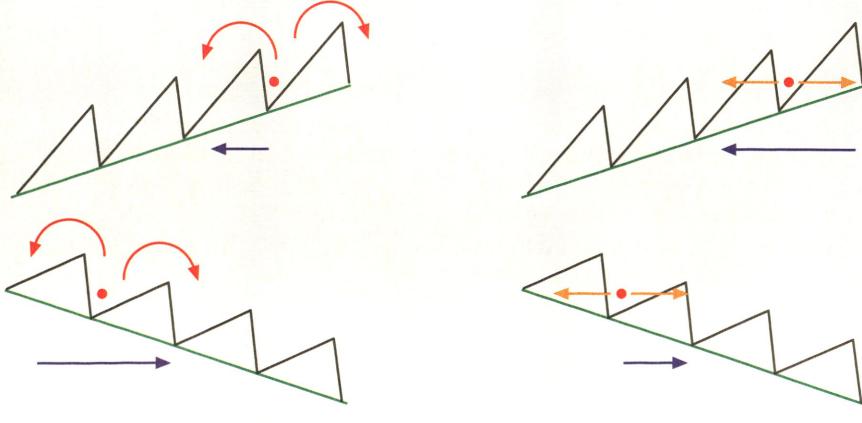
links:

Klassische Ratsche: Wenn das Potential nach links gekippt ist (links oben), dann bewegt sich das Teilchen leichter über die Barriere nach links; wenn das Potential nach rechts gekippt ist (links unten), dann bewegt sich das Teilchen bevorzugt nach rechts. Insgesamt ist die Bewegung nach rechts leichter, so dass ein Teilchenstrom nach rechts entsteht.

rechts:

Quantenratsche: Die bevorzugten Bewegungen sind nun gerade umgekehrt. Das Tunneln des Teilchens nach links ist leichter als das Tunneln nach rechts. Es entsteht ein Nettostrom nach links.

Klassische und Quanten-Rocking-Ratsche



Biomoleküle voneinander getrennt werden. Die klassischen Mikrorätschen werden in der Technik, insbesondere der Biotechnik, eine interessante Zukunft haben.

Quantenrätsche

Wir wollen in einem Gedankenexperiment eine Rocking-Rätsche (rocking = schaukeln) 4 behandeln. Die Temperatur ist konstant gehalten, und ein periodisches, asymmetrisches Potential ist ebenfalls zeitlich konstant. Aber das System wird einer äußeren Kraft unterworfen, wobei das Potential mal nach links, mal nach rechts gekippt wird. Die Kraft führt das System in ein Nichtgleichgewichtssystem über. Im zeitlichen Mittel erfolgt die Kippung nach links und nach rechts gleich oft, d.h. die zeitlich gemittelte äußere Kraft ist null. Trotzdem entsteht ein gerichteter Teilchenstrom.

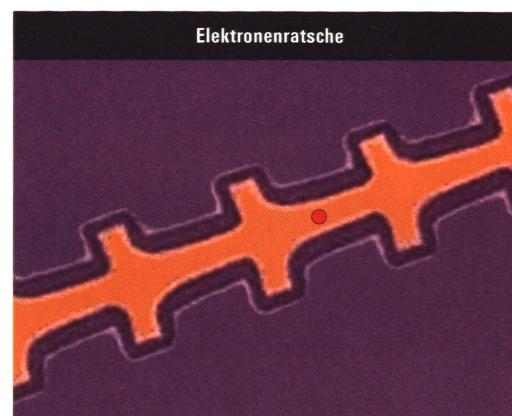
Wir wollen zunächst den klassischen Fall betrachten (4 links): Eine Potentialbarriere kann übersprungen werden, wenn ein Teilchen genügend Energie gewinnt, d.h. es kann die Barriere infolge von thermischen Fluktuationen überwinden. Im gedrehten Potential (4 links oben) ist die Potentialbarriere nach rechts hin weniger groß als die Barriere nach links. In der Rocking-Rätsche führt die thermische Bewegung dazu, dass sich ein Teilchen bevorzugt nach rechts bewegt.

In der quantenmechanischen Rocking-Rätsche (4 rechts) kann das Teilchen von einem Tal zum anderen tunneln, auch wenn seine Energie sehr klein ist. Das Tunneln kann auch auftreten, wenn die Temperatur der Teilchen nahe am absoluten Nullpunkt ist. Das Tunneln manifestiert die Quantennatur eines Teilchens. Ein Quantenteilchen hat zwei „Gesichter“. Es kann sich als Teilchen oder als Welle offenbaren, je nach Experiment. Dieser Dualismus ist charakteristisch für jedes Quantenteilchen, also für Elektronen und auch Atome. Ein Elektron in einem periodischen Potential kann sich entsprechend seiner dualistischen Natur als Teilchen bewegen oder aber als Welle. Insbesondere in einer Potentiallandschaft ist die Vorstellung der Wellenbewegung angemessen: Ein Elektron hat als Materiewelle eine Ausdehnung, die über viele räumliche Perioden des Potentials ausgedehnt ist. Im Teilchenbild bedeutet dies, dass das Elektron auch jenseits einer Potentialbarriere angetroffen werden kann, d.h. es tunnelt durch die Tunnelbarriere. Die Tunnelwahrscheinlichkeit hängt exponentiell von der Barrierenhöhe ab und auch vom Abstand, den das Teilchen durchtunnen muss. Beim Potential in der Figur 4 rechts ist das Tunneln in das gekippte Potential günstiger und es entsteht eine Nettobewegung nach links.

Da die thermische Bewegung zu niedriger Temperatur hin geringer wird und bei sehr tiefer Temperatur verschwindet, ist ein Übergang zwischen der thermischen Aktivierung über die Barriere und dem Tunneln durch die Barriere zu erwarten und damit eine Umkehr der Richtung des Teilchenstroms.

Das eben beschriebene Verhalten wurde von der Autorin dieses Artikels zusammen mit Peter Reimann und Peter Hänggi in Augsburg auf der Grundlage von theoretischen Untersuchungen vor-

hergesagt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in einer viel zitierten Publikation (aus dem Jahre 1997) dokumentiert. Die Vorhersage wurde einige Jahre später durch ein Experiment von Linke und Mitarbeitern aus Lund und Sydney nachgewiesen. Im Experiment wurde eine periodische Rätsche



5

Rocking-Rätsche für Elektronen.
Der strukturierte Bereich ist ein Kanal für Elektronen.
Der unsymmetrische Aufbau mit Ausbuchtungen des Kanals führt dazu, dass sich die Elektronen so verhalten, wie in dem zackenförmigen unsymmetrischen Potential.

für Elektronen 5 verwendet. Es handelte sich dabei um einen mikroskopischen Kanal für Elektronen, ein Elektron ist hier als roter Punkt dargestellt. Der Kanal (Länge ca. 30 Mikrometer; Breite periodisch variierend zwischen 1 und 2 Mikrometer; Tiefe weit unter 1 Mikrometer, also im Nanometerbereich) wurde aus GaAs und GaAlAs mit Hilfe einer modernen Strukturierungstechnik (Elektronenstrahlolithographie und Ätztechnik) hergestellt. Der Kanal war durch Wände begrenzt, die hinsichtlich der Kanalrichtung eine Asymmetrie aufwiesen. Der Kanal war etwa 10 Perioden lang (3 davon sind im Bild gezeigt). Zwischen den beiden Enden des Kanals wurde eine zeitabhängige elektrische Spannung angelegt. Die Spannung war eine zeitlang positiv geschaltet und wurde dann schlagartig negativ, um danach wieder positiv geschaltet zu werden. Der Vorgang wiederholte sich periodisch. Im Mittel hatte die Spannung den Wert null. Durch das Anlegen dieser Rechteck-Spannung ergab sich ein Rocking-Effekt mit dem Ergebnis, dass ein Gleichstrom, also eine gerichtete Teilchenbewegung, entstand. Beim Abkühlen drehte sich die Stromrichtung, obwohl außer der Temperatur keine anderen Parameter verändert wurden. Die klassische Rätsche wurde also durch Abkühlen, verbunden mit dem Ausschalten der thermischen Fluktuation, zur Quantenrätsche, bei der das Tunneln der Teilchen die Stromrichtung bestimmte. Der Tunneleffekt führte also zusammen mit dem Ratscheneffekt zur Energiegewinnung für die gerichtete Teilchenbewegung. Die Energie stammte aus der thermischen Bewegung der Teilchen und die Übertragung der Energie wurde durch das Rocking des periodischen, unsymmetrischen Potentials vermittelt.

Rätsche im tiefen Quantenregime

Ein Teilchen in einem periodischen Potential kann nicht jede beliebige Energie annehmen, sondern ist auf Energiebereiche (Energiebänder) beschränkt. Dies ist eine der fundamentalen Aussagen der Quantenmechanik. Energiebänder wurden ursprünglich für Metalle und Isolatoren eingeführt. In einem Metall bewegen sich Elektronen in teilweise

6

Josephson-Quanten-Ratsche.
Die Ratsche besteht aus einem Netzwerk von Josephson-Kontakten.

links:

Eine elektronenmikroskopische Aufnahme des Netzwerks.

rechts:

Die Josephson-Kontakte (Kreuzchen), die durch Leiterbahnen (schwarze Striche) verbunden sind. Wird ein Strom (I) durch das System geleitet, so entsteht eine Spannung. Die Größe der Spannung liefert eine Information über das Verhalten dieser Quantenratsche.

Ein Ratscheneffekt zeigte sich dadurch, dass die Stromrichtung von oben nach unten (+I) und von unten nach oben (-I) verschiedene Werte der Spannung lieferten.

7

Josephson-Ratsche und Energiepotentiale, gemessen in Josephson-Energie.

Je nach Anordnung der Josephson-Kontakte können verschiedene Szenarien realisiert werden.

Anordnung A:

Die Josephson-Kontakte sind regelmäßig angeordnet.

Es entsteht kein Ratscheneffekt.

Anordnung B:

Die Josephson-Kontakte sind unregelmäßig angeordnet. Trotzdem wird, in Übereinstimmung mit der Quantenmechanik, kein Ratscheneffekt beobachtet.

Anordnung C:

Die Josephson-Kontakte sind verschieden groß und unregelmäßig angeordnet. Das System stellt eine Quantenratsche dar.

8

Experimentelle Ergebnisse der Spannung für entgegengesetzte Stromrichtungen in den Proben A, B und C.

Proben A, B:

Entgegengesetzte Stromrichtungen liefern denselben Betrag der Spannung.

Probe C:

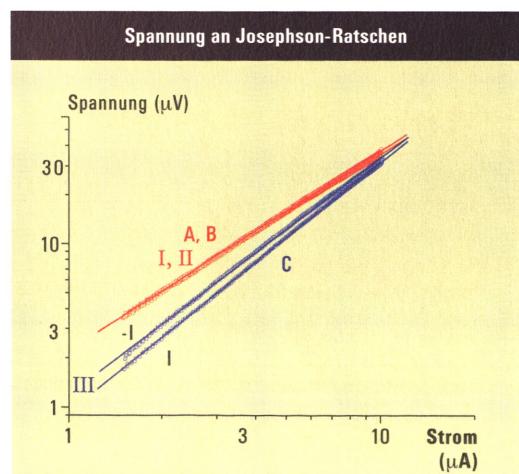
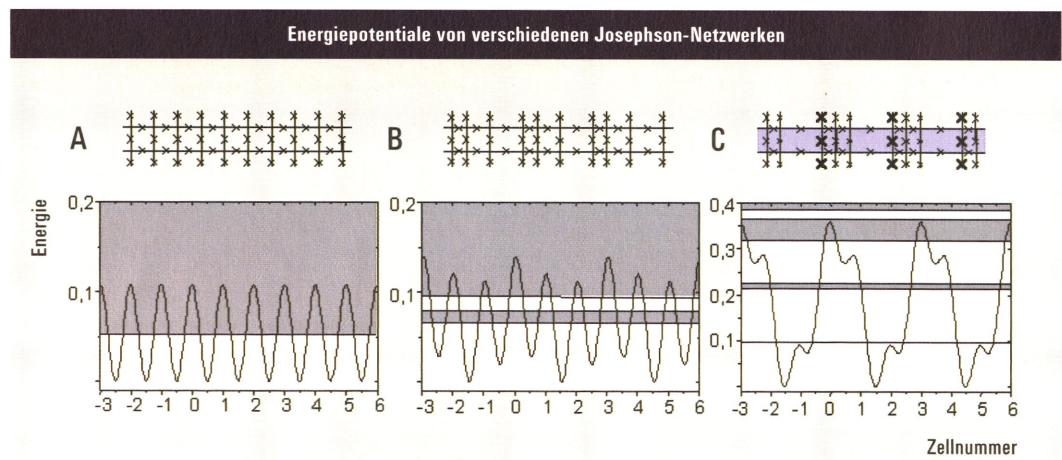
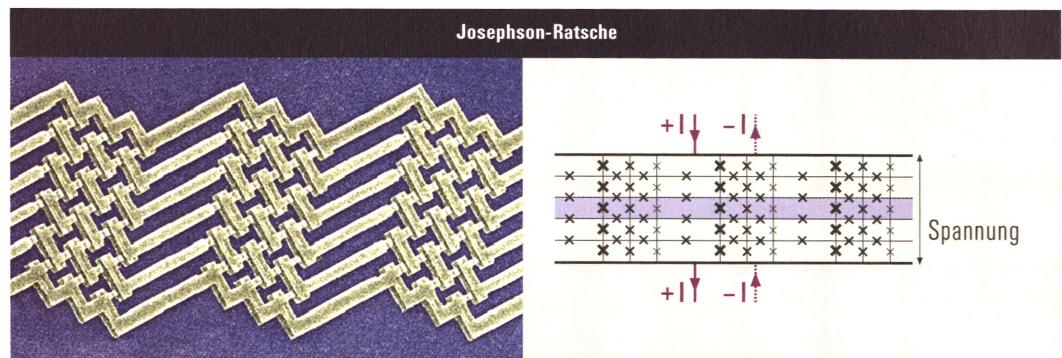
Entgegengesetzte Stromrichtungen liefern verschiedene Beträge der Spannung.

Die Ergebnisse sind in schöner Übereinstimmung mit der Theorie der Quantenratsche.

gefüllten Bändern, während Isolatoren nur vollständig besetzte Bänder besitzen und keinen Stromtransport zulassen. Die experimentelle Realisation des Ratscheneffektes erlaubt es, die Quantenmechanik in elementarer Weise zu studieren. In einem Experiment von Johannes Majer und Mitarbeitern in Delft wurden Tunnelteilchen als Wirbel in einem supraleitenden System hergestellt.

Das supraleitende System **6 links** bestand aus einem Netzwerk von Josephson-Kontakten, die durch Leiterbahnen (aus Aluminium) verbunden waren. Ein Josephson-Kontakt, benannt nach dem englischen Physik-Nobelpreisträger Brian Josephson (1973), besteht aus zwei Supraleitern (hier Aluminium), die durch dünne nicht-supraleitende Schichten (hier Oxide) getrennt sind. Im Experiment wurde senkrecht zum Netzwerk ein Magnetfeld angelegt. Dies erzeugte im Netzwerk magnetische Wirbel (topologische Anregungen). Diese

können als Tunnelteilchen das elektrische Verhalten des Netzwerks beeinflussen. Die Figur **6 rechts** zeigt eine schematische Darstellung der Josephson-Kontakte, die durch Kreuzchen angedeutet sind. Eine einzelne Zelle des Systems ist eine Fläche, die durch vier Josephson-Kontakte eingeschlossen wird. Das Besondere der Anordnung liegt darin, dass Josephson-Kontakte von drei verschiedenen Größen (groß, mittel und klein; 240 nm x 100 nm, bzw. 200 nm x 100 nm, bzw. 160 nm x 100 nm; nm = Nanometer) periodisch angeordnet sind. Durch ein Magnetfeld senkrecht zum Netzwerk werden magnetische Wirbel im System angeregt. Die magnetischen Wirbel haben eine niedrige Energie in Zellen mit großer Fläche und kleinen Kontakten. Wenn man die Kontaktgrößen und Zellflächen entsprechend wählt, können verschiedene Formen des Energiepotentials für die Teilchen (d.h. die Wirbel) experimentell hergestellt werden.



Das Bild **7** zeigt drei verschiedene Anordnungen von Josephson-Kontakten und die entsprechenden Potentiale, die ein einzelner Wirbel fühlt. Das Potential ist angegeben in Einheiten der Josephson-Energie (eine für einen Josephson-Kontakt typische Energie). Bei der Probe **A** entstand ein symmetrisches periodisches Potential, bei der Probe **B** ein asymmetrisches Potential und bei der Probe **C** ebenfalls ein asymmetrisches Potential, das aber eine andere Form der Asymmetrie aufwies. Die Probe **A** diente dazu, das Messverfahren zu testen und insbesondere zu untersuchen, ob durch die Herstellung der Proben ungewünschte Asymmetrien auftreten. Wenn dem Netzwerk der Josephson-Kontakte ein Strom aufgeprägt wird (z. B. der Strom aus einer Batterie), bewirkt er, dass die

magnetischen Wirbel sich bewegen. Die Bewegung führt zu einer Spannung quer zum Netzwerk. Im Experiment wurde die Spannung für die beiden Richtungen des Stroms bestimmt.

Es zeigte sich im Experiment, dass die Probe **A**, wie erwartet, keinen Ratscheneffekt aufwies **B**. Gleichermaßen galt trotz des asymmetrischen Potentials überraschenderweise auch für die Probe **B**, während die Probe **C** einen Ratscheneffekt zeigte. Dieser äußerte sich darin, dass der Betrag der Spannung die am Netzwerk entstand, von der Richtung des Stroms abhing.

Ein Verständnis der Messergebnisse wurde durch eine theoretische Untersuchung in unserer Regensburger Arbeitsgruppe erzielt. Dabei führte Joël Peguirion im Rahmen seiner Doktorarbeit (Dissertation 2005) ausführliche Rechnungen durch. Unsere Untersuchungen berücksichtigen, dass das Potential periodisch ist im Raum und in einer Fourier-Reihe entwickelt werden kann. Das ist wie bei der Zerlegung eines Tons in den Grundton, den ersten Oberton und höhere Obertöne. Unsere theoretische Behandlung zeigte, dass bei der Probe **B** die dem ersten Oberton entsprechende Harmonische im periodischen Potential fehlte und dass gerade deshalb der Ratscheneffekt ausblieb, während bei der Probe **C** der zweite Oberton vorhanden war und deshalb der Ratscheneffekt auftrat. Das Experiment zeigt, zusammen mit der Theorie, dass der quantenmechanische Ratscheneffekt tiefe Einblicke in die Quantenmechanik von Nanostrukturen liefert.

Ausblick

Das Gebiet der Brownschen Motoren ist noch in seinem Anfangsstadium. In Regensburg planen wir, die Quantenratschen weiter zu erforschen. Eine besondere Herausforderung ergibt sich aus der Frage: Kann man eine Spinnratsche für Elektronenfans bauen, d.h. kann man einen Spinstrom ohne Ladungsstrom erzeugen? Wie kann man eine Spinnratsche, die wegen der quantenmechanischen Natur des Spins (Spin = Eigendrehimpuls) des Elektrons nur eine Quantenratsche sein kann, quantenmechanisch aufbauen und wie experimentell? Die Spinnratsche könnte eine zentrale Rolle spielen in dem hochaktuellen Forschungsgebiet der Spintronik. Während in der modernen Elektronik die Ladung des Elektrons die Grundlage der Speicherung und Übertragung von Information ist, basiert die Spintronik auf dem Spin des Elektrons.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 70

Prof. Dr. rer. nat.

Milena Grifoni

geb. 1968 in Solna (Schweden).

Studium der Physik in Genua

(Italien). PhD, Universität Genua

1995. 1994–1998 Postdoc an

der Universität Augsburg,

dort Habilitation 1999.

1998–2000 Postdoc an den

Universitäten Stuttgart, Genua und

Karlsruhe. 2000–2003 Assistent

und Associate Professor an der

Technical University of Delft

(Niederlande). Seit 2003 Lehrstuhl

für Theoretische Physik an der

Universität Regensburg.

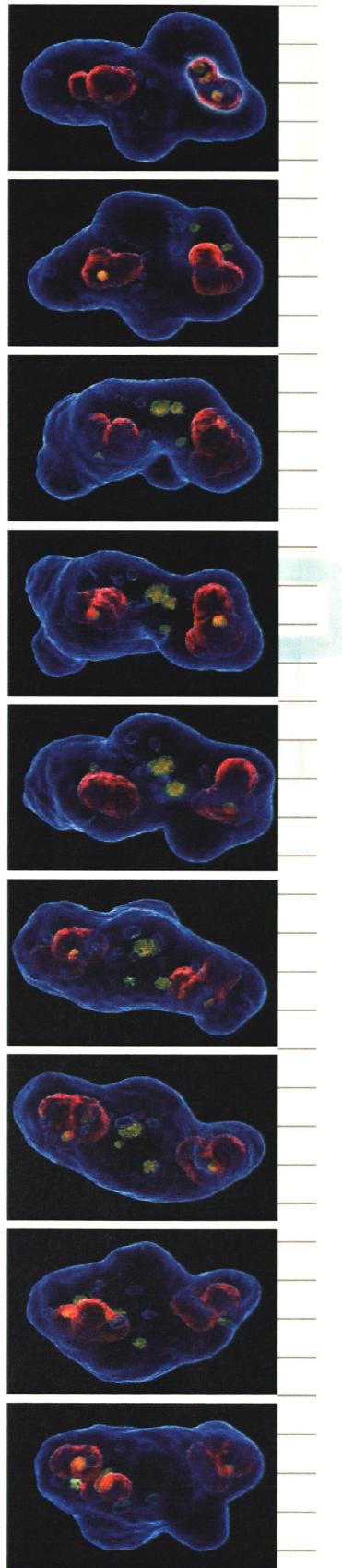
Forschungsgebiete:

Quantentransport und Quanten-

dissipation.

Evolution Takes Time.

Sometimes 0.0128 Seconds.



High Speed Dynamic Imaging
from Carl Zeiss.

LSM 5 DUO LSM 5 Live Duoscan Cell Observer HS AxioCam HS



We make it visible.

Die Schöne oder das Biest?

Modelle sollen Mathematik näher bringen

Blickpunkt

Viele Besucher der Fakultät für Mathematik oder der angrenzenden naturwissenschaftlichen Fakultäten betrachten mit Interesse die Ausstellung mathematischer Modelle. Sie ist in sechs Schaukästen im Foyer des Instituts zu sehen und wurde von Prof. Dr. Jürgen Neukirch (1937–1997) in den Jahren 1992 bis 1996 initiiert und realisiert. Ziel war es, die Mathematik sichtbar zu machen und ihre Schönheit zu zeigen.

Die Entwicklung und Verwendung mathematischer Modelle hat eine lange Tradition, die eine besondere Blüte Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts erlebte. Dies betraf meistens konkrete Abbilder der darstellenden Geometrie, die zu Lehrzwecken eingesetzt wurden. So wie es in manchen Schulsammlungen Modelle wie Prismen, Kegel oder Pyramiden gibt, die im Geometrie-Unterricht zur Veranschaulichung benutzt werden, wurden früher auch im Mathematikstudium Modelle aus Holz, Karton, Gips oder Metall verwendet, um den Studierenden geometrische Objekte und Sachverhalte nahe zu bringen. Zum Beispiel zeigte man Abbilder der fünf Platonischen Körper (Tetraeder,

Hexaeder [Würfel], Oktaeder, Dodekaeder und Ikosaeder), Rotationskörper oder Modelle von komplizierten algebraischen Flächen, auf denen man bestimmte Symmetrien und Geradenkonfigurationen darstellen kann.

In neuerer Zeit werden solche Modelle kaum noch benutzt, vielleicht aus den folgenden zwei Gründen. Zum einen ist die Mathematik fortgeschritten – von der Betrachtung spezieller Beispiele in niedrigen Dimensionen zu umfassenderen Theorien in beliebigen Dimensionen und viel allgemeineren Parameterräumen. Dies führt selbst in der Geometrie auf stärker algebraisierte Methoden, die immer weniger der konkreten Anschauung zugänglich sind, sondern eher eine Erfahrungsebene benötigen, die Emmy Noether (eine Pionierin der Algebra) »abstrakte Anschauung« genannt hat. Es ist genau diese Fähigkeit, die auch die Studierenden erwerben müssen, wobei aber die klassischen Modelle kaum helfen. Zum anderen gibt es selbst da, wo konkrete Anschauung hilfreich ist, mittlerweile bessere Methoden, nämlich durch die phantastischen Möglichkeiten der 3D-Visualisierung durch Computerprogramme (die übrigens ihrerseits auf sehr anspruchsvollen mathematischen Theorien basieren). So ist es nicht verwunderlich,



1

Die Riemannsche Zetafunktion. Die Spitze zeigt die Polstelle (wo die Funktion unbeschränkt wächst), die sechs Vertiefungen zeigen die ersten Nullstellen (wo die Funktion den Wert null annimmt) auf der kritischen Geraden.

dass die Modelle aus dem Lehrbetrieb weitgehend verschwunden sind und nur noch in Sammlungen von historischem Charakter auftauchen.

Was also ist das Ziel der Regensburger Exponate? Die Antwort hat Jürgen Neukirch selbst klar formuliert: Die Schönheit und Faszination der Mathematik zu zeigen! Dies wird vielleicht am ersten Exponat deutlich, das ihm besonders am Herzen lag: ein Abbild der *Riemannschen Zetafunktion* **1**. Diese berühmte Funktion hängt eng mit der geheimnisvollen Verteilung der Primzahlen zusammen. Die Riemannsche Vermutung besagt, dass alle Nullstellen auf zwei bestimmten Geraden liegen. Diese präzise Eigenschaft hätte enorme zahlentheoretische Konsequenzen; ihr Beweis wurde im Jahr 1900 von Hilbert zu den wichtigsten Problemen für das kommende Jahrhundert erklärt, ist aber bis heute nicht erbracht. Um ihrer Bedeutung gerecht zu werden, wurde das Modell der Zetafunktion in aufwändiger Weise aus Messing gefräst und mit Gold beschichtet. Gegenüber dieser Wirkung als »Glanzstück« der Ausstellung tritt die Bedeutung als konkrete Illustration zur Riemannschen Vermutung zurück: Die Figur zeigt zwar die ersten 6 Nullstellen auf der »kritischen Geraden«, aber Computerrechnungen haben schon verifiziert, dass die erste Milliarde aller Nullstellen auf dieser Geraden liegt. Es handelt sich also bei dem Modell weniger um ein Lernobjekt als um ein Kunstobjekt, das die Faszination dieser Zetafunktion vermitteln soll.

Auch bei den anderen Ausstellungsstücken geht es weniger um die Darstellung von konkreten Anschauungsobjekten, als darum, den Inhalt und die Schönheit von mathematischen Konzepten und Forschungsgegenständen sichtbar zu machen. Dazu werden natürlich auch kurze Texterklärungen für die Wissbegierigen angeboten, die tiefergehendes Verständnis ermöglichen und selbst noch für Mathematiker von Interesse sind. Aber ein Hauptanliegen ist es, bei den Betrachtern in intuitiver Weise Interesse und Verständnis für die Mathematik zu wecken.

Kein leichtes Unterfangen, da in diesem Fach die Lücke zwischen den Laien und den Adepts besonders groß ist. Die Mathematiker sprechen oft von der Schönheit der Mathematik und haben ein Einverständnis darüber, was sie damit meinen. Zum Beispiel kann ein Problem schön sein, weil es zwei ganz verschiedene Gegenstände in kühner Weise verknüpft. Eine Lösung kann schön sein, wenn sie überraschend, kurz und elegant ist. Eine Theorie kann schön sein, wenn sie genau die richtige Methode liefert, ein mathematisches Phänomen zu messen. Die Laien aber verwechseln die Mathematik oft mit Schulrechnen und empfinden sie als ein ungeliebtes »Biest«. Was also macht den Erfolg der Regensburger Modelle aus? Wodurch sehen die Betrachter eher die Schöne als das Biest? Ich zähle drei mögliche Punkte auf:

► **Konzeptionelle Planung:** Die Modelle sind nicht wahllos zusammengetragen, vielmehr wurden zehn besonders prägnante Themen gewählt und dafür jeweils Modelle ausgesucht. Zum Beispiel tauchen auch geometrische Modelle auf, aber sie illustrieren übergeordnete Begriffe wie zum Beispiel die *Krümmung*: positive (»nach außen«) wie bei der Kugel **2**



2
Die Kugel, hier mit 2 Metern Radius vorm Audimax der Universität Regensburg (Hermann Kleinknecht 1976, Tombak über Stahlgerüst). Sie hat in jedem Punkt die Krümmung 1.



3
Die Antikugel, gedreht aus Metall. Sie hat in jedem Punkt die Krümmung -1.

oder negative (»nach innen«) wie bei der Antikugel **3**. Weitere Themen sind etwa die *Nicht-Orientierbarkeit*, verdeutlicht durch das Möbius-Band **4**, das keine Vorder- und Rückseite hat, oder die Kleinsche Flasche **5**, die keine Innen- und Außenseite hat; sowie die *Katastrophentheorie*, illustriert durch gewisse »Elementarkatastrophen« oder die Kuspenfläche **6**, die sowohl einen Börsenkrach als auch einen unglücklichen Verlauf einer Orchesterprobe beschreibt.

► **Gestalterisch-künstlerische Elemente:** Für jedes Exponat wurden Material und Präsentation mit großer Sorgfalt gewählt. Die Kleinsche »Flasche« **5**

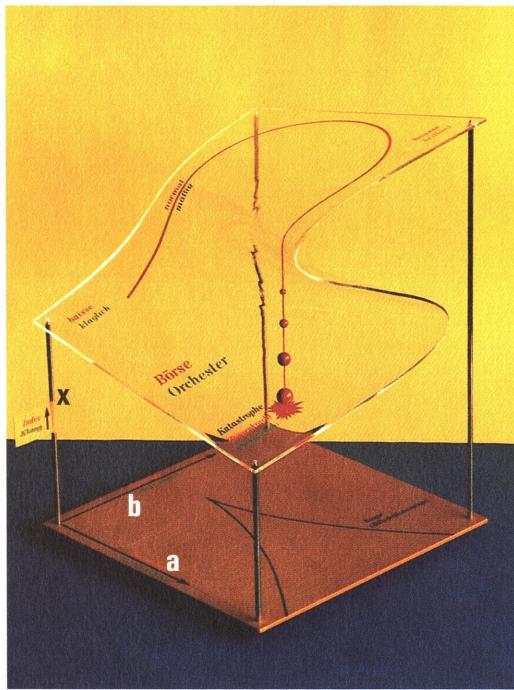


4
Das Möbius-Band. Es ist nicht orientierbar. Geht man zweimal herum, so hat man beide Seiten besucht und steht überkopf.

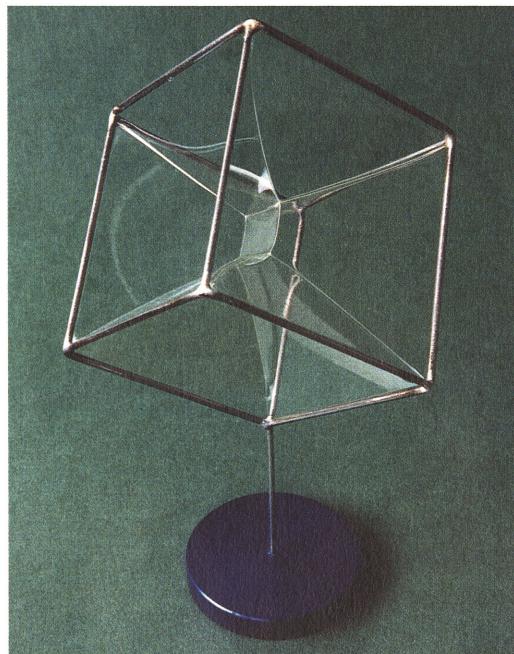


5
Die Kleinsche Flasche. Der Wein in ihr ist gleichzeitig innen und außen.

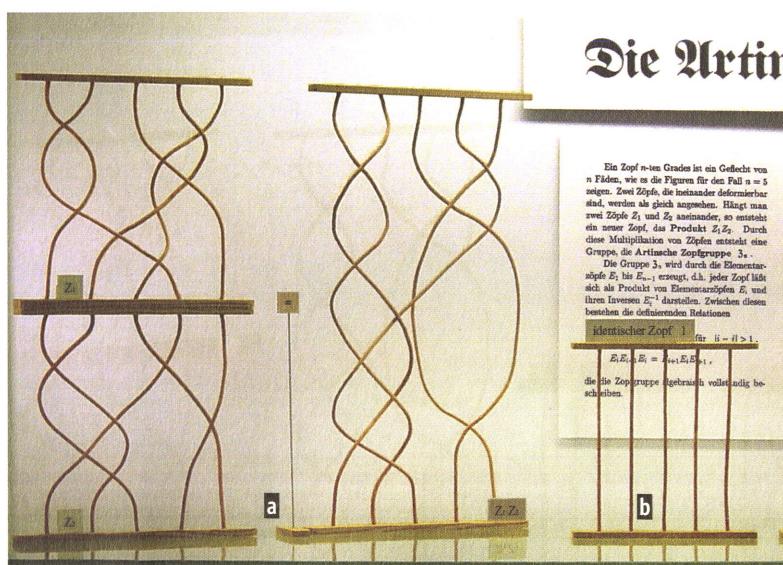
6
Die Kuspen-Katastrophe.
 Bei Änderung der steuernden Parameter (a-b-Koordinaten auf der Bodenplatte) wandert der Punkt scheinbar kontrolliert auf der Fläche herum, bis er plötzlich auf ein anderes Niveau stürzt (sprunghafte Änderung der Höhe x).



7
Minimalflächen.
 Diese entstehen physikalisch bei Seifenblasen in Drahtschlingen. Es handelt sich um Zustände minimaler Energie/Fläche (bei vorgegebenem Rand), wobei es im Allgemeinen viele solcher Zustände gibt. Die Klassifizierung ist schwierig, ebenso die Herstellung.
 links:
 Im Würfel.
 rechts:
 Die Kleeblattschlinge.



8
Artinsche Zöpfe, hier mit fünf Strängen, wobei es vier Elementarzöpfe gibt. Nach dem Aneinandersetzen (a** links) muss man sich den mittleren Balken wegdenken (**a** rechts).**



Die Artinsche Zopfgruppe

Ein Zopf n -tem Grades ist ein Geflecht von n Fäden, wie es die Figur für den Fall $n = 5$ zeigt. Zwei Zöpfe, die ineinander deformierbar sind, werden als gleich angesehen. Hängt man zwei Zöpfe Z_1 und Z_2 aneinander, so erhält man ein neuer Zopf, das Produkt $Z_1 Z_2$. Durch diese Multiplikation von Zöpfen entsteht eine Gruppe, die Artinsche Zopfgruppe \mathcal{Z}_n .

Die Gruppe \mathcal{Z}_3 , wird durch die Elementarzöpfe E_1 bis E_{n-1} erzeugt, d.h. jeder Zopf lädt sich als Produkt von Elementarzöpfen E_i und ihren Inversen E_i^{-1} darstellen. Zwischen diesen bestehen die definierten Relationen:

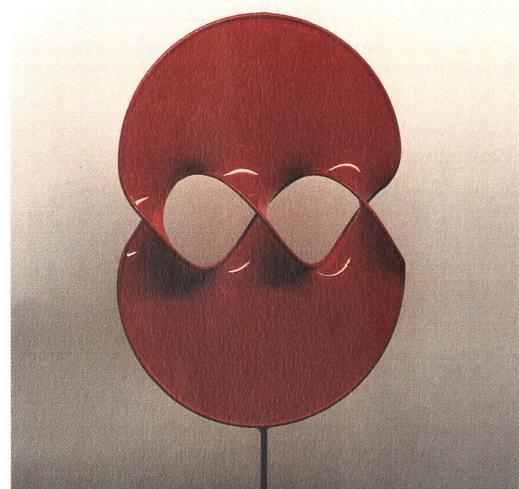
identischer Zopf: $E_i E_i = E_{i+1} E_{i+1}$ für $|i - i'| > 1$.

$E_i E_j = E_j E_i$ für $|i - j| > 1$,

die die Zopfgruppe überraschend vollständig beschreiben.

zum Beispiel wurde aufwändig eigens als Glasflasche geblasen (einfachere Drahtmodelle sind im Handel erhältlich), die Minimalflächen **7** sind keine Plastik-Imitationen, sondern bestehen tatsächlich aus (sehr spezieller und lackierter!) Seifenlauge, und die ebenmäßig runde Antikugel **3** wurde aus Metall an einer Drehbank gefertigt. Selbst die Gipsmodelle haben ansprechende Farben bekommen. Bei der erwähnten Zetafunktion **1** genügte die ursprünglich geplante Messingoberfläche nicht den höchsten Ansprüchen, sie wurde von einem Juwelier vergoldet.

► **Großer Einsatz, Streben nach Perfektion:** Viele Modelle gab es nicht im Handel oder nicht in der gewünschten Form; also wurden sie selbst angefertigt. Dies geschah unter Mitwirkung von verschiedenen, zum Teil überraschenden Helfern: Zum Beispiel erwies sich nach vergeblicher Suche bei den Glasbläsern im Bayerischen Wald, dass die Glasbläserwerkstatt der Chemie die komplizierte Kleinsche Flasche **5** blasen konnte. Bei der Herstellung komplexer Metallstrukturen leistete die Physik-Werkstatt Beeindruckendes. Oft legte Jürgen Neukirch selbst Hand an. Seine Studentin Eva-Maria Strobel, die ihm unter anderem bei der Sisyphus-Arbeit an den Minimalflächen **7** half, hat dies an anderer Stelle ausführlich beschrieben. Aber auch über die Beschaffung der Materialien



gibt es viele Anekdoten. So machte erst ein Brillendraht von der Firma Rodenstock die richtige Biegung der Kuspenfläche **6** möglich, und Neukirch erhielt die sehr teure Silikonmasse zur Herstellung von Gipsabdrücken durch einen spontanen Besuch beim Wacker-Werk Burghausen geschenkt und transportierte sie in zwei Eimern abgefüllt nach Hause. Insgesamt gibt eine längere Liste von Sponsoren Zeugnis von freundlichem Wohlwollen, aber auch von der großen Überzeugungskraft des Initiatoren.

Der Hauptpunkt bleibt, dass es die Regensburger Mathematischen Modelle offenbar schaffen, Mathematiker und Nicht-Mathematiker zum Stehenbleiben und Schauen zu verleiten und mit Einblicken in die Mathematik zu belohnen. Ein persönlicher Favorit von mir sind die auf den ersten Blick vielleicht unscheinbaren *Artinschen Zöpfe* **8**. Die mathematischen Zöpfe, die hier geflochten wurden, können mehr als drei Stränge haben, die miteinander verflochten werden. Sie veranschaulichen das recht abstrakte Konzept einer *Gruppe*, also eines Ensembles, dessen Mitglieder (Elemente genannt) »addiert« werden können wie gewöhnliche Zahlen ($2+3=5$). Bei den Zöpfen ist das Addieren das Aneinandersetzen **8a**. Es gibt ein neutrales Element (wie die Null bei den Zahlen: $3+0=3$); bei den Zöpfen ist dies der »neutrale Zopf«, der nicht verdreht ist und beim Ansetzen nichts Neues ergibt **8b**. Schließlich gibt es zu jedem Element ein Inverses (wie das Negative bei den Zahlen: $3+(-3)=0$); in der Zopfgruppe ist das der »umgekehrt geflochtene Zopf«, der beim Anfügen

die Auflösung des Zopfes bewirkt **8c**. Man kann die Gruppe durch erzeugende Elemente beschreiben (wie die Eins bei den Zahlen: $2=1+1$, $3=1+1+1$); hier sind es die »Elementarzöpfe«, bei denen zwei Nachbarstränge einmal überschlagen werden. Dies ist also kein bloßes Abbild eines mathematischen Objekts, sondern die Visualisierung eines mathematischen Konzepts, in sehr gelungener Weise.

Abschließend sei bemerkt, dass es in den letzten zehn Jahren vermehrt Initiativen gab, die Schönheit der Mathematik einer breiteren Öffentlichkeit nahe zu bringen. Zwei Beispiele hierfür, verwandt mit der Regensburger Ausstellung, aber doch in andere Richtungen gehend: Das Gießener Mathematik-Museum spricht mit seiner Stoßrichtung »Mathematik zum Anfassen« Erwachsene und Kinder an, und auch eine ganze Reihe von Künstlern thematisiert mathematische Inhalte. So tauchen die verschlungenen *Borromäischen Ringe* nicht nur vor dem Newton Institute in Cambridge auf, sondern auch als dreifarbig Riesenskulptur vor den Regensburger Arkaden.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 70

Prof. Dr. rer. nat.

Uwe Jannsen

geb. 1954 in Meddewade, Schleswig-Holstein. 1972–1978 Studium der Mathematik und Physik in Hamburg, 1980 Promotion, 1980–1989 Wiss. Assistent in

Regensburg, 1983–1984 Postdoc an der Harvard-University, 1988 Habilitation, 1989–1991 Forschungsprofessur am MPI für Mathematik in Bonn, 1991–1999 Lehrstuhl für Mathematik an der



9

Jürgen Neukirch, Professor für Mathematik, bei der Arbeit an einem der Modelle (1994).

Universität zu Köln. Seit 1999 Lehrstuhl für Mathematik an der Universität Regensburg.
Forschungsgebiete:
Zahlentheorie und Algebraische Geometrie.

Innovative Biotechnologie Zukunft für Regensburg

Innovative Biotechnology Future for Regensburg

The BioPark Regensburg GmbH is the management and administrative headquarters of the biotechnology research cluster known as BioRegio Regensburg in the heart of Bavaria. Located at the northernmost point of the Danube, currently 42 firms with over 1100 employees are active in the field of life sciences.

The BioPark established in 1999 has a surface area of 12.000 sqm and is located directly on the University Campus and the Medical Centre. Currently over 20 tenants from the fields of biotechnology, university institutes and services are active in two buildings. Visit us under:

www.bioregio-regensburg.de

BIO PARK
REGENSBURG GMBH

D-93053 Regensburg · Telefon: +49 (0) 9 41 – 9 20 46-0 · Telefax: +49 (0) 9 41 – 9 20 46-24

Die Oxidation von Chinol Ein Schlüsselschritt in Photosynthese und Atmung

Biologische Energiewandlung

Photosynthese und Atmung sind gegenläufige Prozesse und bilden zusammen den vorherrschenden Stoffkreislauf der Lebewesen. Mithilfe der Sonne wird in der Photosynthese aus Wasser und Kohlendioxid, Nitrat und Sulfat die organische Substanz aufgebaut und in der Atmung wieder zerlegt. Bemerkenswerterweise wird in beiden Prozessen chemische Energie in Form von Adenosintriphosphat (ATP) auf gleiche Weise konserviert – einer der Belege, dass Photosynthese und Atmung in der Entwicklungsgeschichte auf eine gemeinsame Wurzel zurückgehen. Ein Schlüsselschritt in beiden Prozessen ist die Oxidation eines kleinen Moleküls, des Chinols, durch ein Eisen/Schwefel-Protein, welches in komplexer Verbindung mit Cytochromen als Chinol-Oxidoreduktase sowohl in der Photosynthese, als auch in der Atmung vorkommt. In einer kontrollierbar geschalteten Radikalreaktion werden dabei Protonen durch die Membran verschoben, welche im Rückfluss die ATP-Bildung antreiben. Die Reaktionsmechanismen sind fast so alt wie das Leben selbst und haben sich seither, in rund dreieinhalb Milliarden Jahren, nicht mehr verändert.

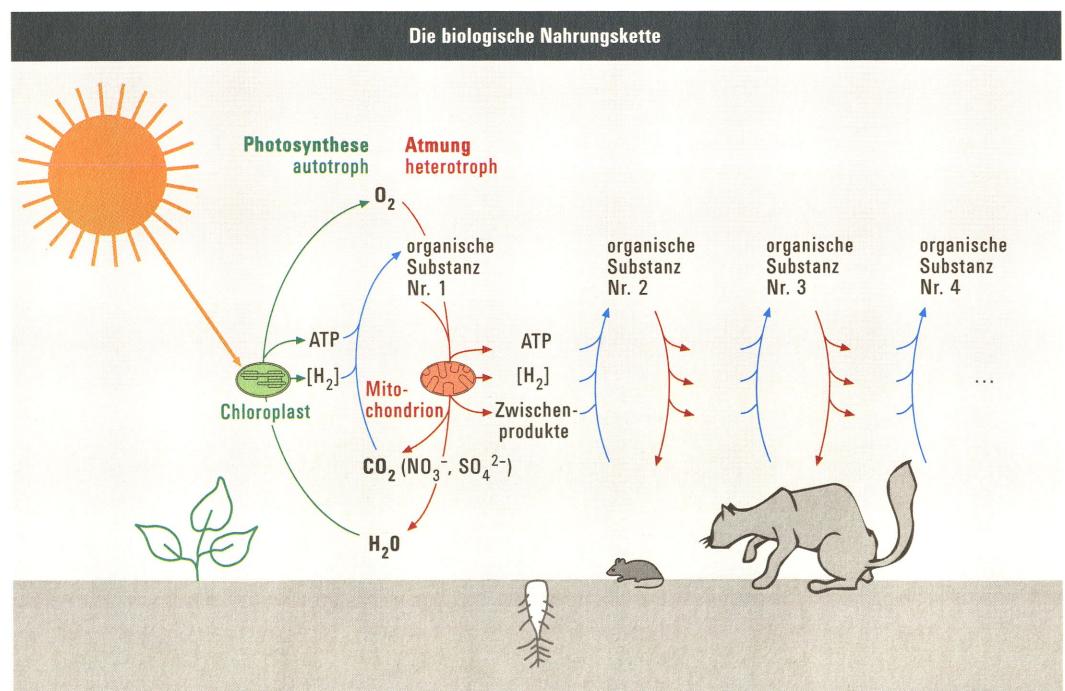
Ende des Jahres 2003 sind gleich zwei unabhängige Veröffentlichungen über die Kristallstruktur des Cytochrom b_6f -Komplexes (Abk. Cyt b_6f), einer Protonen pumpenden Plastoquinol-Plasto-

cyanin Oxidoreduktase, erschienen. Die beiden Arbeiten schlossen die Aufklärung des photosynthetischen Elektronentransports in atomarer Auflösung ab und bedeuteten die Krönung einer jahrzehntelangen Anstrengung, die von Regensburg aus angestoßen worden war. Die entsprechende Ubichinol-Cytochrom c Oxidoreduktase (Cyt bc₁-Komplex) der Atmung war schon einige Jahre zuvor aufgeklärt worden. Mit diesen Strukturen wurde unser Verständnis einer grundlegenden biologischen Energiewandlung deutlich erweitert. Wir wollen versuchen, im Folgenden den interessierten Leser an diesem Forschungserfolg teilhaben zu lassen. Dazu gehen wir zunächst auf den Kreislauf von Photosynthese und Atmung ein, wobei wir die zentrale Rolle der Chinoloxidation und die Nutzung der radikalalen Semichinonzwischenstufe in einer »Zug/Druck«-Reaktion herausarbeiten und die damit verbundene Schalterbewegung eines Eisen-Schwefel-Zentrums beschreiben. Anmerkungen zur Evolution dieses Schlüsselschritts der Energiekonservierung sowie zu den Forschungsbeiträgen aus Regensburg runden die Ausführungen ab.

Der biologische Kreislauf von Photosynthese und Atmung

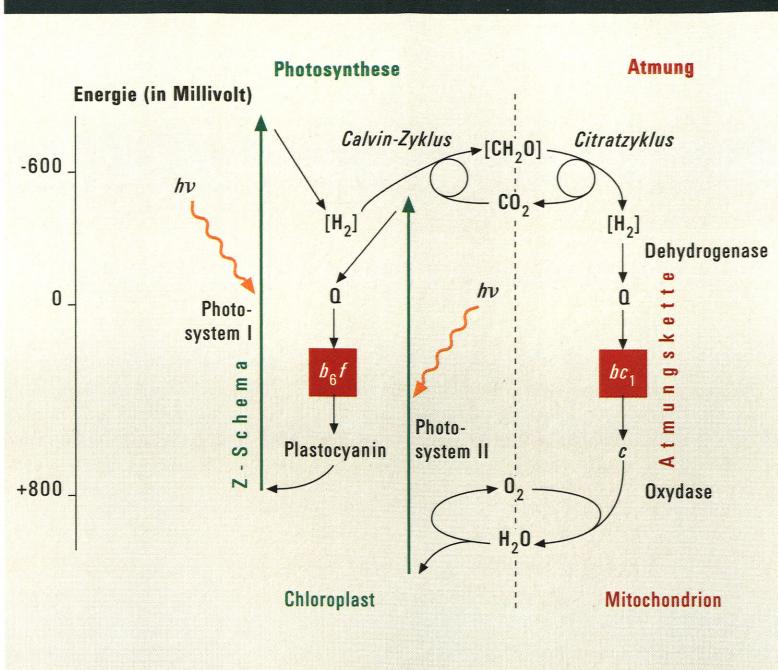
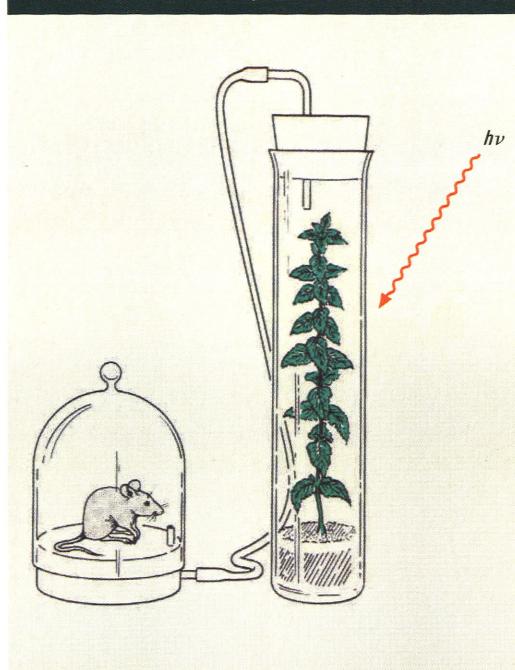
In den Chloroplasten der grünen Pflanzen und im Phytoplankton der Weltmeere wird Wasser durch

1 Am Anfang der biologischen Nahrungsstrecke steht die Photosynthese (grün); die entstehende organische Substanz wird in der Kette, im Wechsel von Aufbau (blau) und Abbau (rot) in die anorganischen Ausgangsverbindungen zurück überführt, wobei die Lichtenergie vollständig in Wärme umgewandelt wird.



Priestleys Versuch

Der Kreislauf von Photosynthese und Atmung in der Spannungsreihe



Sonnenlicht in Sauerstoff und chemisch gebundene Wasserstoff (H_2) (reduziertes Nicotinamid-Adenin-Dinukleotidphosphat, NADPH) gespalten (grün in 1). Zusätzlich wird chemische Energie in Form von Adenosintriphosphat (ATP) durch Bindung von anorganischem Phosphat an Adenosindiphosphat (ADP) gewonnen. Die beiden Energieträger ATP und NADPH verlieren ihre Energie nicht spontan, sondern geben sie nur unter den kontrollierten Bedingungen der biologischen Katalyse ab. In der Photosynthese werden sie für die Reduktion (Assimilation) von Kohlendioxid (CO_2) und anderen anorganischen Molekülen (Nitrat, Sulfat) zur organischen Substanz des Pflanzenkörpers gebraucht (blau in 1). Schon in der Pflanze wird dann bei Bedarf ein Teil der organischen Substanz (Speicherstoffe) zurück zu CO_2 und Wasser veratmet – bei Nacht, oder in den nicht-grünen Pflanzenteilen auch am Tag (rot in 1). Dabei entstehen in den mikroskopischen Kraftstationen der Zellen, den Mitochondrien, abermals ATP und gebundener Wasserstoff sowie Zwischenprodukte, die zum Aufbau der gewebseigenen organischen Substanz eingesetzt werden (blau). Es findet also ein Kreislauf von autotropher Assimilation (Photosynthese) und heterotropher Atmung statt, welcher am Anfang der Nahrungskette bereits in der Pflanze selbst vor sich geht. In den sich anschließenden, heterotrophen Organismen – den Pflanzenfressern folgen die Fleischfresser – setzt sich der Wechsel von Energie lieferndem Abbau und Energie verbrauchendem Aufbau fort, wobei von jedem Kettenglied etwas Wärme freigesetzt wird, bis letztendlich die Energie der eingefangenen Lichtquanten gänzlich in Wärme umgewandelt ist.

Der Stoffwechsel in der Biosphäre wird weitgehend durch diesen Kreislauf von Photosynthese und Atmung bestimmt. Schon 1771, noch vor der Entdeckung des Sauerstoffs, hat ihn der britische Arzt Joseph Priestley nachgewiesen 2. Er demonstrierte, dass eine Maus in einem geschlos-

senen Gefäß die Luft »verdirbt« und stirbt, was durch eine belichtete Pflanze verhindert werden kann. Das Experiment wird als die Geburtsstunde der Photosyntheseforschung angesehen. In der Atmungskette der Mitochondrien fällt die Elektronenenergie in der Folge der Redoxsysteme stetig ab, von gebundenem Wasserstoff (H_2), über Chinon und Cytochrome zum Wasser/Sauerstoff-System, wie im rechten Teil von 3 dargestellt. Im Elektronentransport der Chloroplasten wird sie dagegen durch die Lichtreaktionen in zwei hintereinander geschalteten Photosystemen angehoben (grüne Pfeile im linken Teil von 3). Diese Zick-Zack-Anordnung des photosynthetischen Elektronentransports im Energiediagramm ist als »Z-Schema« der Photosynthese bekannt. Durch die Wirkung des Sonnenlichts wird der Prozess der Atmung umgekehrt, das Wasser wird in Sauerstoff und Wasserstoff zerlegt. Die Elektronenenergie fällt zwischen den beiden Lichtreaktionen auch in der Photosynthekette ab, so wie in der Atmung.

Eine Oxidation von Chinol zu Chinon durch den Cytochromkomplex einer Chinol-Oxidoreduktase kommt sowohl in der Atmung als auch in der Photosynthese vor und ist in 3 rotbraun hervorgehoben. Chinone nehmen somit eine zentrale Stellung im Stoffkreislauf ein.

Elektronentransport und ATP-Bildung in biologischen Membranen

Die Chinoloxidation führt sowohl in der Photosynthese als auch in der Atmung zum Aufbau eines elektrochemischen Protonenpotenzials über die Membranen von Mitochondrien, Chloroplasten und Bakterien 4. Dieses Potenzial ist die treibende Kraft der ATP-Synthese. Die Atmungskette (obere Zeile im Membranschema) und der photosynthetische Elektronentransport (untere Zeile) sind in 4 von der Darstellung im Energiediagramm 3 in die Membran übertragen. Das erlaubt die Protonenbewegungen und die ATP-Bildung einzubeziehen.

2
Priestleys klassischer Versuch von 1771.

3
Der Kreislauf von Photosynthese und Atmung. Biologischer Kreislauf von Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) im Energiediagramm der Elektronen (Redoxskala).

$[\text{CH}_2\text{O}]$ Kohlenhydrat
(Zucker, Stärke)

c Cytochrom c
Pc Plastocyanin
(ein Kupferprotein)
Q Chinon
 bc_1 und b_6f
Chinol-oxidierende
Cytochromkomplexe

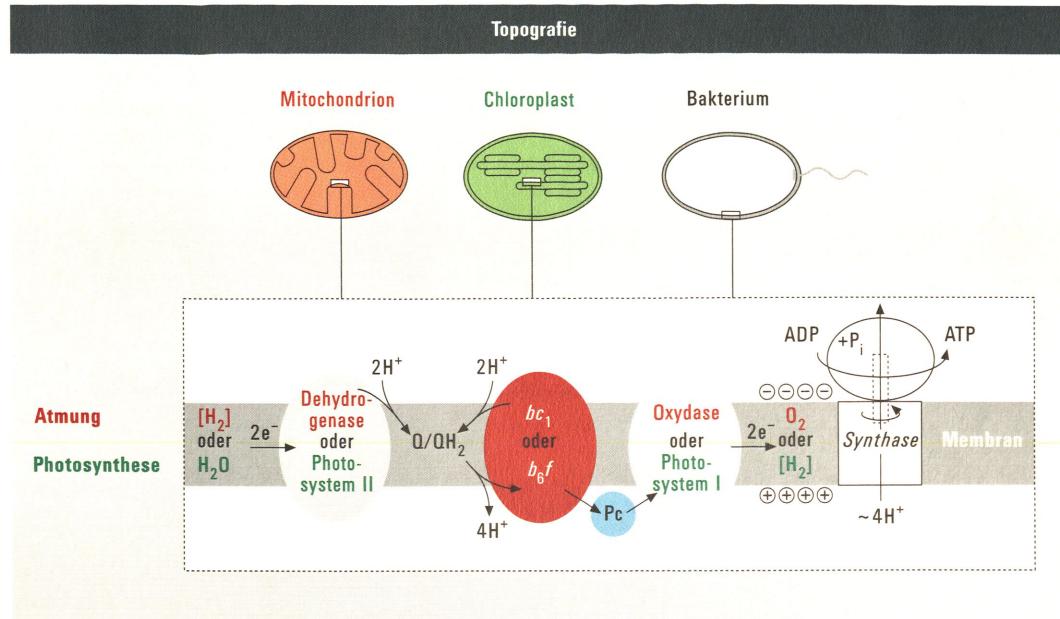
$h\nu$ Lichtquanten
Der Citratzyklus ist der universale Stoffwechselweg zur Anlieferung von gebundenem Wasserstoff (H_2) für die Atmungskette.

Der Calvin-Zyklus ist der weitest verbreitete Stoffwechselweg zur Assimilation von CO_2 .

4

Universelle Anordnung des Elektronentransports der Atmung und Photosynthese mit der ATP-Synthetase in den Membranen von Mitochondrien, Chloroplasten und Bakterien.

Der vergrößerte Membranbereich (unten) zeigt in der oberen Zeile die Reaktionsfolge der Atmung, in der unteren die der Photosynthese.



Das gesamte Geschehen umfasst jeweils vier, durch die Membran wirkende Proteinkomplexe. Für die Photosynthese sind dies die Chlorophyll-haltigen Reaktionszentren von Photosystem I und II, welche Wasser oxidieren und am Ende der Kette gebundenen Wasserstoff [H₂] erzeugen. In der Atmungskette wird statt dessen [H₂] durch die Dehydrogenasen oxidiert und am Ende Sauerstoff durch die Cyt c-Oxidase zu Wasser reduziert. In beiden Reaktionsketten kommen die Chinol-oxidierenden Cytochromkomplexe (rotbraun) und die ATP-Synthase, ein die ATP-Synthese katalysierendes Enzym hinzu. An der Außenseite wird Chinon (Q) unter Protonenaufnahme zu Chinol (QH₂) reduziert, das seinerseits an der Innenseite Cyt b₆f oder Cyt bc₁ reduziert und seine Protonen abgibt. Die Protonenverlagerung durch das Chinonsystem im Zusammenspiel mit Cyt b₆f oder Cyt bc₁ verläuft über den sogenannten Q-Zyklus 5 und

das entstehende elektrochemische Protonenpotential treibt die ATP-Bildung an. Die ATP-Synthase ist wie das Chinonsystem weit verbreitet. Sie ähnelt einer molekularen „Turbine“, für deren mechanistische und strukturelle Aufklärung Paul Boyer und John Walker 1997 den Nobelpreis für Chemie erhielten.

Das Redoxsystem des Chinons

Das Chinon in der Photosynthese ist Plastochinon. Es ist ein Benzochinon mit einer langen Isoprenoïd-Seitenkette, die es in der Lipidschicht der Membran hält. Ubichinon, das Chinon der Atmung, ist ganz ähnlich aufgebaut. Das Redoxsystem Chinol/Chinon überträgt in der Gesamtreaktion zwei Elektronen und zwei Protonen 6 oben. Es zeichnet sich durch eine instabile Semichinonzwischenstufe (Q^{·-}) aus, die als Radikal ein ungepaartes Elektron besitzt, welches sich unbedingt „will“. Es gibt

5

Unter »Q-Zyklus« wird ein Mechanismus der Protonenverschiebung über die Membran während der Chinoloxidation durch den zentralen Cytochromkomplex in Atmung und Photosynthese verstanden.

Der geschaltete Q-Zyklus

Durch die Ausnutzung der Energie des Radikals in der Semichinonzwischenstufe werden im Q-Zyklus doppelt so viel Protonen (4H⁺/2e⁻) über die Membran verschoben 4 als bei einfacher Reduktion von Chinon auf der einen und Oxidation von Chinol auf der anderen Membranoberfläche (Q-Schleife mit 2H⁺/2e⁻). Charakteristisch für den Q-Zyklus ist die Interaktion des Chinol/Chinonsystems mit den Redoxgruppen des Cytochromkomplexes an den zwei Bindungszentren Q_o und Q_r, die die Semichinonzwischenstufe unterschiedlich stabilisieren 6 und für Protonen von entgegengesetzten Membranoberflächen zugänglich sind (7 und 9). Die mögliche Reaktionsfolge ist:

im Experiment durch Ferricyanid 8 unten oxidiert, welches dann das FeS-Zentrum oxidiert.

3 Dieses bewegt sich in die Nähe des gebundenen QH₂, oxidiert es zum Semichinon-Radikalanion (Q^{·-}) und bleibt in dieser Position fixiert.

4 **Druckreaktion:** Q^{·-} kann deshalb sein Elektron nur an das benachbarte Häm b₆L mit einem niedrigen Redoxpotential loswerden. Dadurch bleibt ein Großteil der Elektronenenergie des Radikals erhalten und wird nicht in einer weiteren Reduktion des FeS-Zentrums vergeudet.

5 Sie wird nun genutzt, indem das Elektron durch die Membran tritt und über Häm b₆H das an Q_r gebundene Q zum Q⁺ reduziert, welches dort stabilisiert ist und gebunden bleibt.

6 An der Oxidationsstelle Q_o wird das verbliebene O gegen QH₂ ausgetauscht und das reduzierte FeS-Zentrum erlangt dadurch seine Beweglichkeit zurück.

7 Die Schritte 2 bis 5 wiederholen sich mit dem Unterschied, dass im Schritt 5 nun das an der Reduktionsstelle Q_r stabilisierte Q^{·-} unter Aufnahme von 2 Protonen zu QH₂ reduziert wird, welches abdissoziiert. Damit ist die Reaktionsfolge abgeschlossen.

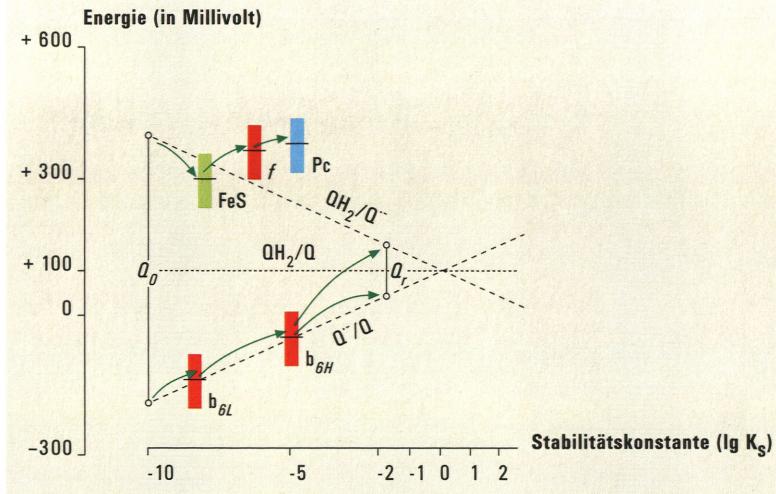
Es ist noch nicht geklärt, wie die Bewegung des FeS-Zentrums von den Redoxzuständen im Cytochromkomplex kontrolliert wird.

1 In Gegenwart von Chinol (QH₂) und Chinon (Q), bei einem herrschenden Redoxpotential von etwa 100 mV (6), liegen das FeS-Zentrum und die Hämgruppe von Cyt f reduziert, die beiden Hämgruppen von Cyt b₆ oxidiert im Cytochromkomplex vor. Chinol bindet an die Oxidationsstelle Q_o und Chinon an die Reduktionsstelle Q_r. In diesem Zustand kann sich das FeS-Zentrum zwischen den beiden Positionen bewegen (9). An Q_r ist das Semichinonradikal stabilisiert (geringe Aufspaltung der Halbpotentiale in 6 unten), an Q_o dagegen nicht (hohe Aufspaltung).

2 **Zugreaktion:** Häm f wird durch Plastocyanin (Pc in 4 und 6) oder

Das Redoxsystem von Chinon im photosynthetischen Elektronentransport

Halbreaktion 1 Halbreaktion 2	$QH_2 \rightleftharpoons Q^- + 2H^+ + e^-$ $Q^- \rightleftharpoons Q + e^-$	$(E_0' \approx +400 \text{ mV})$ $(E_0' \approx -200 \text{ mV})$
Gesamtreaktion	$QH_2 \rightleftharpoons Q + 2H^+ + 2e^-$	$(E_0' \approx +100 \text{ mV})$



Zentrifugation im Rohrzucker-Dichtegradienten **7b** eine rotbraune Bande auf. Glücklicherweise erwies sie sich als bereits angereicherter und wichtiger noch, als funktionell intakter Cyt *b*₆*f*. Diese Zufallsbeobachtung wurde anschließend von Eduard Hurt (jetzt an der Universität Heidelberg) in seiner Dissertation zu einem Reinigungsgang ausgearbeitet, der im Prinzip heute noch gilt. Nach Abtrennung fast allen Chlorophylls (über 99%) – eine letzte Abtrennung ist in **7b** als obere, grüne Bande in den Zentrifugenröhrchen sichtbar – präsentierte sich das Endprodukt aus den intensiv grünen Spinatblättern fast so »rot wie Blut«. Nicht von ungefähr. Die Hämgruppen des Cyt *b*₆*f* sind Eisenporphyrine wie das Häm in unserem Blut auch. Der Reinigungsgang aus Blättern wurde erfolgreich auf die Isolierung des Cyt *b*₆*f* aus Cyanobakterien und des Cyt *b*₆*c*₁ aus photosynthetischen Purpurbakterien übertragen. Unsere Methode wurde von anderen Arbeitsgruppen übernommen, über die Jahre verbessert und führte im Herbst 2003 zu den eingangs schon erwähnten Veröffentlichungen der Kristallstruktur. In **7d** ist ein Cyt *b*₆*f*-Kristall aus dem thermophilen Cyanobakterium *Mastigogladus laminosus* gezeigt, ebenfalls fast »blutrot«. Die Isolierung und Kristallisation gelang gleichzeitig auch in Paris, aus der Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii*, einem Modellorganismus für die Erforschung grüner Organismen.

Der Cyt *b*₆*f* besteht aus vier großen und vier kleinen Proteinuntereinheiten. Die großen sind Cytochrom *f*, Cytochrom Cyt *b*₆, das Rieske FeS-Protein und eine vierte Untereinheit mit einem Molekulargewicht von 16 kDa (1 Da = Masse eines Wasserstoffatoms). Nach der Spaltung des Komplexes durch das Detergent Natrium-Dodecylsulfat (SDS) sind sie als Proteinbanden in der Gel-Elektrophorese (SDS-PAGE) gut zu sehen, wie

6
Das Redoxsystem von Chinon.
oben:
Die Reaktionen mit den Redoxpotentialen.

unten:
Die Aufspaltung der Redoxpotentiale beider Halbreaktionen in Abhängigkeit von der Stabilitätskonstante K_s des Semichinon-Radikals im Cyt *b*₆*f*-Komplex:
FeS Rieske FeS-Protein (grün)
f Häm von Cyt *f* (rot)
b_{6L} und b_{6H}
die beiden Hämgruppen von
Cyt *b*₆ (rot) und Pc (blau)
Pc das Cu-Protein Plastocyanin
Q_o Oxidationsstelle von Chinol
Q_r Reduktionsstelle von Chinon

daher »gerne« sein Elektron ab, oder nimmt wieder eines auf, wirkt daher sowohl reduzierend als auch oxidierend. Die Elektronenenergie (Redoxpotenzial) der Gesamtreaktion von Plastochinol und Ubichinol (QH_2) zu den Chinonen (Q) liegt im mittleren Bereich der biologischen Redoxskala, bei etwa +100 mV (Millivolt). Die Energie der ersten Elektronenübertragung, vom relativ stabilen Chinol zum instabilen Semichinon ist merklich niedriger, das Redoxpotenzial daher deutlich höher und liegt bei etwa +400 mV **6**. Die Energie der zweiten Halbreaktion vom reaktiven Semichinon zum Chinon ist dagegen erhöht, ihr Redoxpotenzial mit etwa -300 mV erniedrigt, und zwar um den gleichen Betrag, um den das Redoxpotenzial der ersten Halbreaktion erhöht ist (Energieerhaltung – erster Hauptsatz der Thermodynamik). Das Ausmaß der Aufspaltung der beiden Halbpotenziale ist dem Logarithmus der Stabilitätskonstante K_s des Semichinonradikals proportional und hängt von seiner Bindung im Protein ab **6**. Für den Cyt *b*₆*f* ist sie an der Bindestelle Q_o der Chinol-oxidation mit 10^{-10} so niedrig wie im ungebundenen Zustand. Für die Chinonreduktion an Q_r ist K_s mit etwa 10^{-2} deutlich erhöht und die Aufspaltung daher erniedrigt. Zur Erzeugung des Semichinons in der ersten Halbreaktion bedarf es des stark oxidierenden FeS-Zentrums im Rieske-Protein. Aus dem relativ trügen Chinol wird unter kontrollierten Bedingungen das reaktive Semichinon zur Arbeitsleistung hervorgeholt. Offenbar hat es die Natur verstanden, die Reaktivität des instabilen Semichinons im Chinonsystem auszunützen, seine »Radikalität zu zähmen« und darauf, eine »intelligente« molekulare Maschinerie der Energiegewinnung, den »Q-Zyklus«, aufzubauen **5**. Er lässt sich als eine Zug-Druck-Reaktion begreifen: Das FeS-Zentrum zieht das erste Elektron aus dem trügen Chinol, das entstehende, aggressive Semichinon drückt das zweite Elektron in das Häm von Cyt *b*_{6L}.

In den 50er Jahren machte Britton Chance an der Johnson Foundation/Philadelphia an Mitochondrien eine lange Zeit unerklärlich gebliebene Beobachtung: Zieht man Elektronen mit Sauerstoff oder einem anderen Oxidanten aus Cytochrom *c* in der Atmungskette von Mitochondrien, so beobachtet man eine vorübergehende Reduktion von Cytochrom *b*, obwohl dies das stärkere Reduktionsmittel ist und daher bevorzugt oxidiert werden sollte. Das war die erste Beobachtung der Zug-Druck-Reaktion mittels des Semichinons, was 1973 von dem finnischen Forscher Marten Wikström erstmals richtig gedeutet und dann 1975 im so genannten Q-Zyklus von Peter Mitchell ausformuliert wurde. Genau diese Zug-Druck-Reaktion haben wir in Regensburg dann 1982 auch im isolierten Cyt *b*₆*f* für die Photosynthese nachgewiesen (siehe **3 unten**).

Die Isolierung, Charakterisierung und Kristallisation des Cyt *b*₆*f*-Komplexes

Im Herbst 1979 fiel uns in Regensburg mit Nathan Nelson aus Haifa während eines seiner Besuche in Regensburg zur Isolierung der ATP-Synthase aus Chloroplasten von Spinat nach abschließender

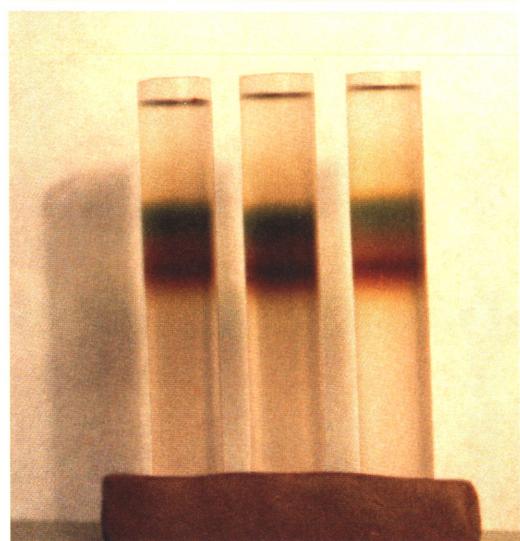
7

Isolierung, Proteinuntereinheiten und ein Kristall des Cytochrom b_6f -Komplexes.

a Ausschnitt eines Pflanzenblatts.



b Isolierung des Cyt b_6f als rotbraune Bande im Rohrzucker-Dichtegradienten.

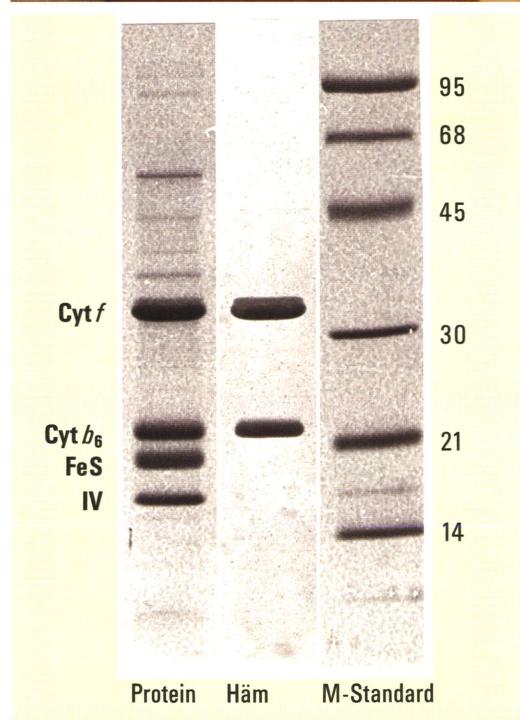


c Proteimmuster in der Elektrophorese (SDS-PAGE).

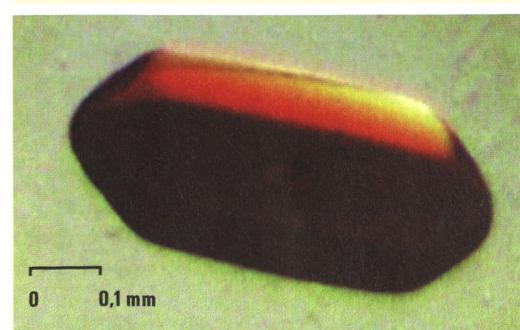
Spur links:
Färbung auf Proteine

Spur mitte:
Hämfärbung

Spur rechts:
Standardproteine mit
Angabe des Molekulargewichts
in kDa (Kilo-Dalton)



d Kristall des Cyt b_6f aus dem Cyanobakterium *Mastoglopladus laminosus*.



in 7 c gezeigt (linke Spur). Solche Proteinmuster sind gang und gäbe in der zellbiologischen Analytik. Im Cyt f und Cyt b_6 lassen sich die Hämgruppen auch nach der Behandlung mit SDS nachweisen (mittlere Spur in 7 c). Die Färbemethode wurde in der Gerichtsmedizin zur Feststellung geringster Blutspuren entwickelt, was auf die Verwandtschaft des Cyt b_6f mit dem Blutfarbstoff hinweist und ein Beispiel für die wechselseitige Befruchtung von Gerichtsmedizin und Zellbiologie darstellt.

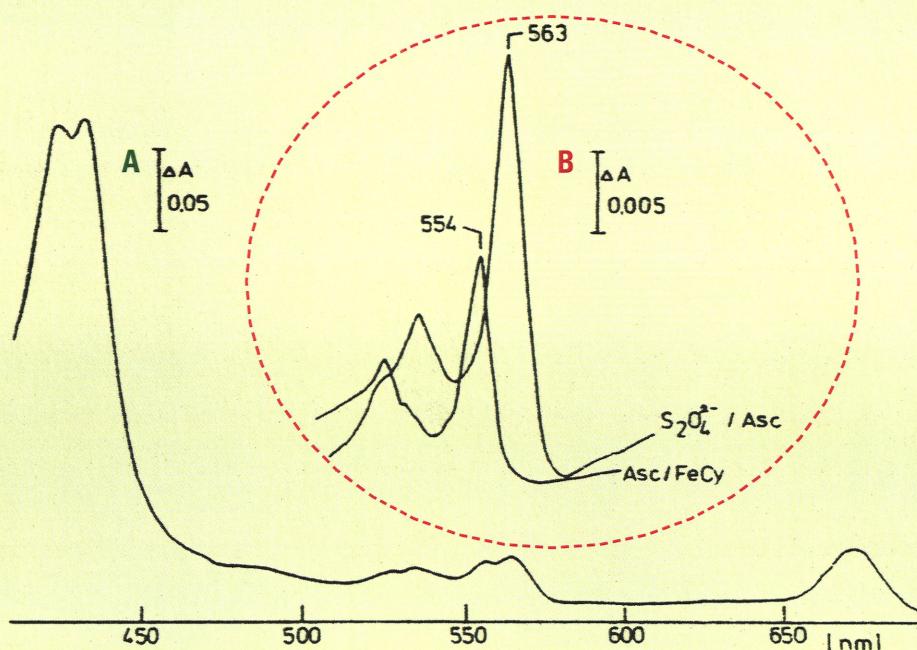
Das Absorptionsspektrum des isolierten Cyt b_6f in 8 oben zeigt die Anwesenheit von drei Hämgruppen. Eines ist durch das milde Reduktionsmittel Ascorbat reduzierbar und gehört zu Cyt f (Gipfel bei 554 nm), die beiden anderen (doppelt hoher Gipfel bei 563 nm) werden erst durch das stärkere Reduktionsmittel Dithionit (ein gängiges Bleichmittel) reduziert und sind dem Cyt b_6 zuzuordnen. Die Absorptionsbande bei 670 nm kommt von einem einzelnen Chlorophyll, welches bei der Aufreinigung gebunden bleibt. Auch der Kristall (7 d) zeigt ein entsprechendes Absorptionsspektrum, und das Chlorophyll hat seinen festen Platz in der Kristallstruktur (grüne Struktur in 9 oben). Seine Funktion ist unklar, aber seine Anwesenheit ist der Grund, dass unser Cyt b_6f nur fast blutrot erscheint – die Mischfarbe von Rot und Grün gibt Braun.

In 8 unten ist die »Zug/Druck«-Reaktion des Semichinons im isolierten Cyt b_6f gezeigt, die in einer Oxidanten-induzierten Reduktion von Cyt b_6 während der Oxidation von Cyt f sichtbar wird. Die Abnahme der Absorptionsdifferenz von 554–540 nm entspricht der Oxidation von Cyt f durch Ferricyanid (Zug), die Zunahme der Absorptionsdifferenz von 563–575 nm bedeutet die Reduktion von Cyt b_6 durch das dabei gebildete Semichinon (Druck). Die vorübergehende Zunahme der Absorptionsdifferenz von 563–575 also eine Reduktion des Cyt b_6 während der transienten Oxidation von Cyt f durch FeCy (554–540 nm) im intakten Komplex ist deutlich erkennbar, sie unterbleibt aber, wenn das Rieske FeS-Protein fehlt. Ein experimenteller Schlüsselbefund! Er führt uns die enge Verwandtschaft der Chinoloxidation in Photosynthese und Atmung vor Augen. Die von Britton Chance in Mitochondrien entdeckte Zug/Druck-Reaktion läuft auch im Cyt b_6f der Chloroplasten ab und bedarf des Rieske FeS-Proteins, genau wie das auch für den Cyt bc_1 in Mitochondrien zutrifft.

Das Rieske FeS-Protein als Schalter der Zug/Druck-Reaktion im Q-Zyklus

Das Rieske FeS-Protein ist nach John S. Rieske benannt, der dieses Eisen-Schwefel-Protein 1964 in der mitochondrialen Atmungskette entdeckt hat. Seine Rolle im Cyt b_6f wurde in Regensburg ab 1985 von den beiden Biophysikern Wolfgang Nitschke und Astrid Riedel ein Jahrzehnt lang eingehend mittels der Elektronen-Spin-Resonanz-Spektroskopie (ESR) charakterisiert. Im Vordergrund stand die Frage, woran denn sein für die Chinoloxidation erforderliches, für ein FeS-Zentrum ungewöhnlich hohes Redoxpotential liegt. Erst die

Spektrales Verhalten des Cytochrom b_6f -Komplexes

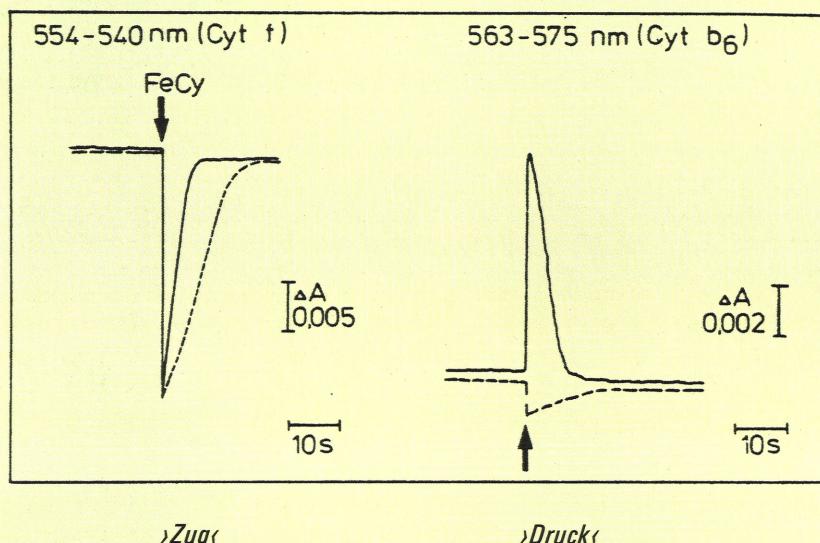


8

Spektrale Eigenschaften des isolierten Cytochrome b_6f -Komplexes.

oben:

Absorptionsspektrum für sichtbares Licht (A), darüber zehnfach gespreizt (B) die Redoxdifferenzspektren von Cyt f (Gipfel bei 554 nm) und Cyt b_6 (Gipfel bei 563 nm); Cyt f sieht man in der Differenz zwischen dem Ascorbat-reduzierten, zum Ferricyanid-oxidierten Spektrum, Cyt b_6 in der Differenz zwischen dem Dithionit-reduzierten, zum Ascorbat-reduzierten Spektrum.
Asc Ascorbat
FeCy Ferricyanid
 $S_2O_4^{2-}$ Dithionit



unten:

Oxidantien-induzierte Reduktion von Cyt b_6 (rechts: Absorptionszunahme 563-575 nm) während der transienten Oxidation von Cyt f (links: Absorptionsabnahme 554-540 nm), nach Zugabe (Pfeile) von Ferricyanid (FeCy) in Gegenwart eines Überschusses an Plastochinol, am intakten Komplex (durchgezogene Spuren); die Reaktion unterbleibt im Komplex, aus dem das Rieske FeS-Protein entfernt worden war (gestrichelte Spuren).
Die senkrechten Maßstäbe entsprechen Absorptionsänderungen (ΔA), die waagrechten im unteren Teil entsprechen 10 Sekunden.

Kristallstrukturen haben zur Klärung geführt. Die Eisenatome sind nämlich nicht wie gewöhnlich nur durch Schwefelatome von Cysteinresten an das Protein gebunden, sondern zur Hälfte von Stickstoffatomen in Histidinresten. Die Strukturaufklärung hat darüber hinaus aber noch einen weiteren, unerwarteten Befund erbracht, was Wolfgang Nitschke, schon nicht mehr in Regensburg sondern in Marseille, unabhängig mittels polarisierter ESR-Spektroskopie an räumlich orientierten Proben ermittelt hat. Die FeS-tragende Domäne im Rieske-Protein kann in den Komplexen zwei verschiedene Konformationen einnehmen, eine nahe am ersten Häm von Cyt b und eine nahe am Häm von Cyt f. Zur Chinoloxidation ist nicht nur das hohe Redoxpotential des Rieske FeS-Proteins wichtig, sondern auch seine konformationelle Dynamik, die als Schalter im Q-Zyklus wirkt 5.

Das Umschalten der Domäne mit dem FeS-Zentrum ist in 9 oben durch Doppelpfeile ange-

deutet, wo die Kristallstruktur des Cyt b_6f aus dem Cyanobakterium *Mastogladus laminosus* zu sehen ist. Der Komplex ist doppelt angelegt und besteht, wie schon in der SDS-PAGE von 7c erkennbar, aus den großen Proteinen Cyt f, Cyt b_6f , dem Rieske FeS-Protein und Untereinheit IV. Dazu kommt ein Bündel von vier kleinen Proteinen, jeweils wenig mehr als eine transmembrane Helix (grau). Die dimere Struktur wird durch das Rieske FeS-Protein durch Umklammerung zusammengehalten – die periphere Domäne mit dem FeS-Zentrum gehört zur einen Hälfte, die transmembrane Helix zur anderen (gelbgrüne Struktur in 9 oben).

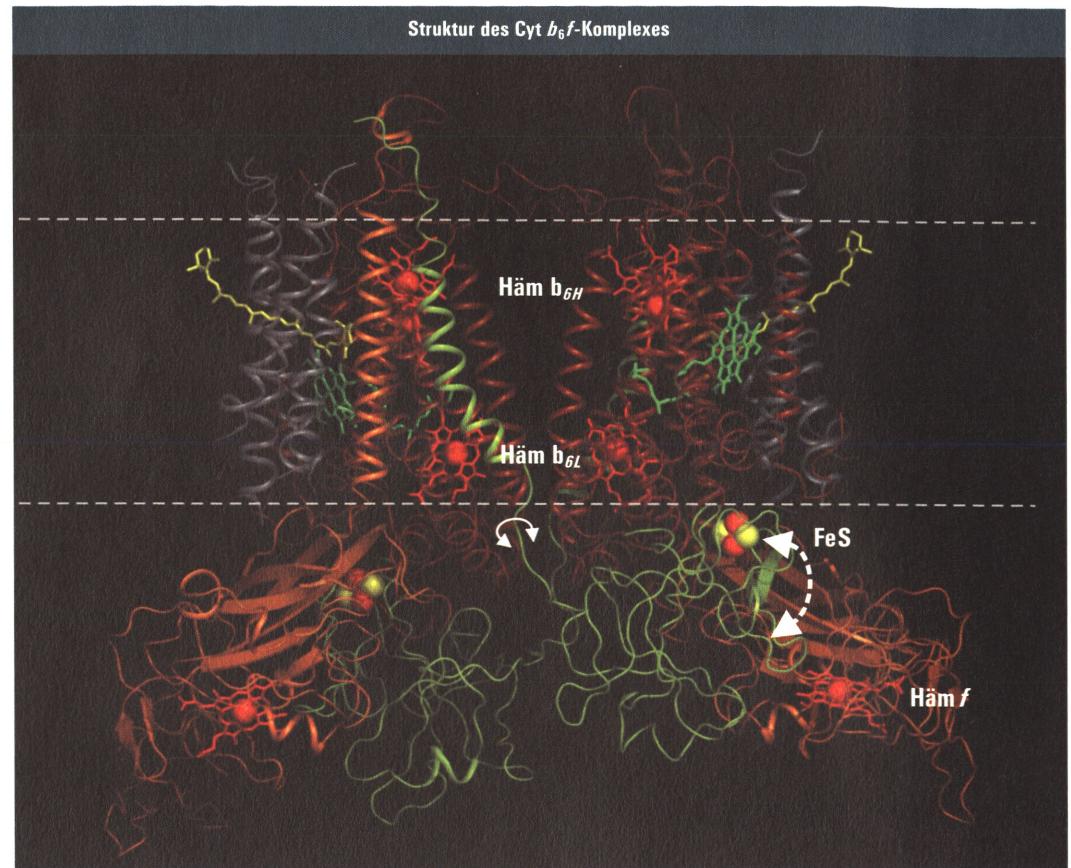
Was bedeuten die beiden Konformationen? Nicht weniger, als dass im Q-Zyklus ein molekularer Schalter wirkt, der sicher stellt, dass das zweite Elektron vom Semichinon nicht auch auf das FeS-Zentrum, sondern auf das Häm im Cyt b_6 übergeht und seine Energie für eine zusätzliche Verschiebung

9

Die Struktur des Cyt b_6f -Komplexes aus der Röntgenkristallographie.

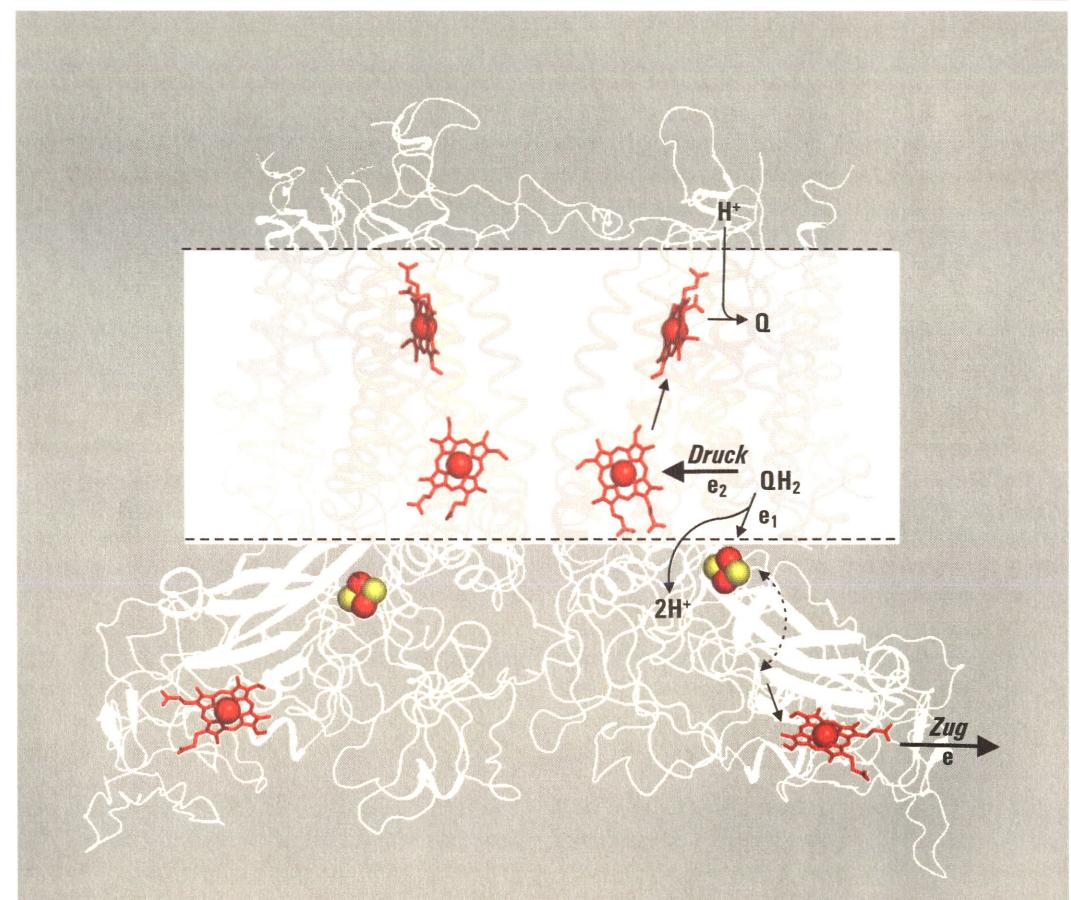
oben:

Seitenansicht des doppelt angelegten Komplexes in der Membran mit dem Rückgrat der Proteinketten; orangebraun: Cyt f , mit einer Helix in der Membran verankert; rotbraun: Cyt b_6 und Untereinheit IV, zusammen sieben transmembrane Helices; gelbgrün: Rieske FeS-Protein, mit einer transmembranen Helix; grau: ein Bündel von vier kleinen Proteinen, jeweils wenig mehr als eine transmembrane Helix von etwa 3 kDa; rot: Hämgruppen; 2Fe2S-Zentrum im Rieske-Protein (FeS); gelb für S und rot für Fe; grün: Chlorophyll, gelb: Carotinoid; Häm f : Hämgruppe von Cyt f ; Häm b_{6L} und Häm b_{6H} : die Hämgruppen im Cyt b_6 , eine mit niedrigerem und eine mit höherem Redoxpotential; der größere Doppelpfeil zeigt die Bewegung des FeS-Zentrums an, der kleinere Doppelpfeil den Angrpunkt der Drehbewegung; die gestrichelten Linien zeigen den Membranbereich an.



unten:

Darstellung der Zug/Druck-Reaktion im Q-Zyklus unter Hervorhebung der beteiligten Redoxzentren und der Protonentranslokation; der Doppelpfeil zeigt die Bewegung des FeS-Zentrums an.



eines Protons über die Membran genutzt wird. Zweitens, dass mit dieser Schalterfunktion experimentelle Hinweise zur Wirkung der Cytochromkomplexe als Redoxsensoren, die an der Chinoloxidation ansetzen, dem Schlüsselschritt in den Elektronentransportketten von Atmung und Photosynthese, einen experimentellen Ansatzpunkt erhalten. So eine Sensorrolle des Cyt *b*₆*f* in Bezug auf den Reduktionsgrad von Plastochinon ist bekannt und regelt die Lichtverteilung auf PS I und II über die Aktivierung einer Proteinkinase. Sie wird jetzt unter dem Gesichtspunkt des Konformationschalters erneut untersucht. Möglicherweise >meldet< eine analoge Sensorfunktion des Cyt *bc*₁ in den Mitochondrien den Energiezustand in atmenden Zellen, was über das Schicksal von differenzierten Zellen in einem alternden Organismus entscheidet, bis hin zum programmierten Zelltod (Apoptose).

Schlussmerkung

Das nach John S. Rieske benannte Eisen-Schwefel-Protein der Cytochromkomplexe in Atmung und Photosynthese ist universal verbreitet. Es findet sich nicht nur in den Mitochondrien und Chloroplasten aller Höheren Organismen (Eukaryoten: Tiere, Pflanzen und Pilze), sondern auch in den meisten Stämmen der Eubakterien und Archaeen (Prokaryoten). Bei den Pflanzen verläuft der Prozess der Chinoloxidation und ATP-Synthese doppelt ab, für die Photosynthese in den Chloroplasten, für die Atmung in den Mitochondrien. Sie besitzen daher auch zwei verschiedene Rieske FeS-Proteine, eines im Cyt *b*₆*f* und eines im Cyt *bc*₁. Bei den prokaryotischen Cyanobakterien sind Atmung und Photosynthese über die Chinoloxidation mit ein und demselben Rieske FeS-Protein verknüpft und laufen einschließlich der ATP-Synthese in derselben Membran ab.

Wenn nun Photosynthese und Atmung die gleichen Mechanismen der Chinoloxidation und

der ATP-Bildung verwenden **4** und daher einen gemeinsamen, möglicherweise schon dreieinhalb Milliarden Jahre zurückliegenden Ursprung haben, welcher Prozess war dann zuerst etabliert? Es ist plausibel, die unmittelbare Nutzung der Sonne, also die Photosynthese an den Anfang zu stellen. Einige Indizien sprechen heute jedoch für die Atmung als den ursprünglicheren Prozess, allerdings nicht mit Sauerstoff, da er in der anaeroben Uratmosphäre gefehlt hat. Er bildete sich ja erst durch die Wasser spaltende Photosynthese der frühesten Cyanobakterien und begann sich vor etwa zwei Milliarden Jahren in der Atmosphäre anzureichern, nachdem die reduzierenden Metalle an der Erdoberfläche, vornehmlich Eisen, oxidiert waren. Hauptargument für die Hypothese einer anaeroben Atmung vor der Photosynthese, z.B. in der Umgebung von Vulkanen mit Schwefel, ist, dass man bisher noch keine Archaeen entdeckt hat, die Chlorophyll bilden können, um mit Sonnenlicht in der Photosynthese gebundenen Wasserstoff zu erzeugen. Da sie jedoch das Rieske FeS-Protein besitzen, muss die Chinoloxidation der Atmung der ältere Prozess sein.

Wie immer – die weite Verbreitung der Chinoloxidation lässt darauf schließen, dass der komplizierte, ausgeklügelte Mechanismus des Protonentransports im Q-Zyklus für die ATP-Bildung sehr alt ist. Er muss sich schon unmittelbar nach der Entstehung des Lebens etabliert haben, so wie – ebenso erstaunlich – der ATP-Bildungsmechanismus durch Rotation in der ATP-Synthase. Offenbar sind die grundlegenden chemischen Reaktionen im biologischen Stoffwechsel früh optimiert worden und erhalten geblieben, im Gegensatz zum Wandel der Organismen in der Evolution seither.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 71

Prof. Dr. phil.
Günter Hauska
geb. 1940 in Wien.
Studium der Chemie an der Universität Wien, 1967 Promotion.
1968–1970 Postdoc-Aufenthalt an der Cornell University/N.Y., USA.
1971–1973 Wiss. Assistent,
1973–1976 Dozent an der Ruhr-Universität Bochum, Lst. für Biochemie der Pflanzen; 1973 Habilitation für Biochemie. Seit 1976 Professor am Institut für Botanik der Universität Regensburg.
1989/1990 Forschungsaufenthalt am Roche Institute for Molecular Biology, Nutley/N.J., USA.
Forschungsgebiete:
Energiegewinnung in photosynthetischen Organismen, Membranarchitektur (Plastocyanin, photosynthetische Reaktionszentren, Chinoloxidation durch Cytochromkomplexe, FeS- und Flavoproteine).

Dr. rer. nat.
Michael Schütz
geb. 1962 in Regensburg.
Studium der Biologie an der Universität Regensburg, 1997 Promotion, 1997–1998 Wiss. Assistent am Lehrstuhl für Zellbiologie und Pflanzenphysiologie der Universität Regensburg, Arbeitsgruppe Prof. Günter Hauska. 1999 Wiss. Mitarbeiter am Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Laboratoire de Bioénergétique et Ingénierie des Proteins, Marseille, Frankreich. Seit Mai 2000 Projektleiter (CRD) im Bereich Forschung und Entwicklung der Profos-AG in Regensburg.
Forschungsgebiete:
Energiegewinnung in Bakterien, Schwefelwasserstoff als Energie lieferant, Phagen und Phagenproteine zur Erkennung von Krankheitserregern in Nahrungsmitteln.

PD Dr. rer. nat.
Iris Maldener
Geb. 1960 in Neunkirchen/Saar.
Studium der Biologie (Diplom) in Regensburg, 1991 Promotion.
1991–1992 Forschungsaufenthalt am Plant Research Laboratory der Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA;
1992–2002 Wiss. Assistentin am Lehrstuhl für Zellbiologie und Pflanzenphysiologie, 2002 Habilitation in >Botanik und Zellbiologie<, seither Dozentin und Projektleiterin an der Universität Regensburg.
Forschungsgebiete:
Zelldifferenzierung bei Cyanobakterien, biologische Stickstofffixierung, Regulation von Photosynthese und Atmung in Heterozysten von Cyanobakterien; Schwermetallbindung mit Hilfe transgener Mikroalgen.

Experimente am eigenen Körper

Heinrich von Kleist und die Experimentalkulturen der Romantik

Wissenspoetologie

Die Debatte um die kulturwissenschaftliche Erweiterung der Philologien ist in einer ihrer Spielarten, der so genannten *Wissenspoetik*, geleitet von der Annahme, dass die Bereiche des Ästhetischen, Subjektiven, Diskursiven und des Rationalen, Objektiven, Realen nicht strikt voneinander getrennt sind. Als Beispiel für einen solchen Transfer kultureller Energien zwischen Wissen und Phantasie, Realem und Imaginärem dient im Folgenden die Betrachtung einiger Experimente aus dem Umfeld der romantischen Naturphilosophie. In diesen Experimenten der romantischen Naturphilosophen wird der Experimentator zum Bestandteil des Experiments. Anders als bei den streng empirisch orientierten Experimenten der Aufklärung fällt die verbindliche Subjekt-Objekt-Schranke im romantischen Selbstexperiment. Zeitgenossen wie der Physiker Johann Wilhelm Ritter glauben, im menschlichen Körper den »genauesten physicalischen Apparat den es geben kann« (Goethe) vorzufinden. Ihre Selbstexperimente fallen – wie etwa Ritters galvanische Experimente zur »Extremisierung der Empfindung« – radikal für Körper und Geist aus. Auch Heinrich von Kleist kennt diese Experimentalkultur, nimmt teil an ihr und übersetzt ihre Erkenntnisse in seine Dichtung.



1

Wilhelmine von Zenge, die Verlobte Heinrich von Kleists.

Sucht man in den Schriften Heinrich von Kleists nach dem Wort *Experiment* oder dem Kompositum *Experimentalphysik* finden sich lediglich drei Belegstellen.

Zwei Belege tauchen auf in einer kleineren Schrift Kleists mit dem Titel *Allerneuerster Erziehungsplan*, einer im Brief an die Schwester Ulrike vom 12. November 1799. Auffällig dabei ist, dass Kleist in allen drei Fällen den Begriff erstens ins unmittelbare naturwissenschaftliche Umfeld des Elektrizitäts-Diskurses seiner Epoche rückt und zweitens die mittels des Experiments erzeugte Gedankenfigur in die innerpsychische Sphäre hinein übersetzt. An der Logik dieses Transferprozesses orientieren sich die folgenden Überlegungen.

Gezeigt werden soll erstens, dass Kleist im Umfeld seines Physikstudiums mit den zeitgenössischen Experimenten zu Galvanismus und Elektrizität in enge Berührung kommt und sie nachvollzieht.

Beeinflusst von einem Axiom romantischer Naturphilosophie, nämlich der Vorstellung einer Existenz so genannter Leitprinzipien, die als Bauprinzip von Natur und Geist gleichermaßen Bestand haben, macht Kleist zweitens das ursprünglich dem Magnetismus entstammende Leit-

prinzip der Polarität mittels Analogieschluss zu einer Gedankenfigur seiner Dichtung.

Drittens jedoch bricht Kleist mit einer zentralen Folgerung romantischer Naturphilosophie, welche das Leitprinzip der Polarität impliziert. Dort nämlich, wo bei den Romantikern sich die getrennten Pole der Natur und des Geistes auf einer Metalebene zur Totalität der Einheit verbinden, verweigern Kleists narrative Experimente diesen Schritt. Polarität wird bei ihm nicht zur Voraussetzung von Synthese. Polarität bleibt Polarität. Kleist kreiert stattdessen eine Gedankenfigur, die als »das verweigerte Dritte« bezeichnet wird und welche als literarisches Narrativ in seiner Dichtung strukturierend wirkt.

Der Experimentator Kleist

Betrachtet sei jene Schrift vom 29. Oktober 1810, mit der Kleist das 25. Blatt der von ihm herausgegebenen *Berliner Abendblätter* einleitet. Der Text, von Kleist als »Aufsatz« bezeichnet, ist mit *Allerneuerster Erziehungsplan* tituliert und setzt mit folgenden Zeilen ein:

Hochgeehrtes Publikum,
Die Experimentalphysik, in dem Kapitel von den Eigenschaften elektrischer Körper, lehrt, daß wenn man in die Nähe dieser Körper, oder, um künstgerecht zu reden, in ihre Atmosphäre, einen unelektrischen (neutralen) Körper bringt, dieser plötzlich gleichfalls elektrisch wird, und zwar die entgegengesetzte Elektrizität annimmt. Es ist als ob die Natur einen Abscheu hätte, gegen alles, was, durch eine Verbindung von Umständen, einen überwiegenden und unförmlichen Wert angenommen hat; und zwischen je zwei Körpern, die sich berühren, scheint ein Bestreben angeordnet zu sein, das ursprüngliche Gleichgewicht, das zwischen ihnen aufgehoben ist, wieder herzustellen.

Was Kleist hier entwickelt, ist der physikalische Sachverhalt der Influenz. Das beschriebene Phänomen wird in einer Kleist ähnelnden Formulierung in der von Lichtenberg kommentierten sechsten Auflage der *Anfangsgründe der Naturlehre* erwähnt, die der Aufklärer Johann Christian Polykarp Erxleben verfasst hat. Dies ist deshalb von Interesse, weil Erxlebens Schrift als Lehrbuch den Vorlesungen von Christian Ernst Wünsch, Professor für Naturlehre und Mathematik in Frankfurt/Oder, zugrunde liegt. Bereits in seinem ersten, dem Sommersemester 1799, schreibt sich Kleist mit zehn weiteren Studenten für Wünschs privatim vorgetragene »Experimentalphysik« ein.

Es ist wahrscheinlich, dass Kleist über die Lektüre von Erxleben und den daraus destillierten Experimenten in Wünschs Kolleg mit dem Phänomen elektrostatischer Influenz in Berührung kommt. Jedenfalls scheint Kleist von Wünsch und dem präsentierten Stoff gefesselt gewesen zu sein. Er beschafft sich ein »prächtiges Kabinett von physikalischen Instrumenten« und fordert bald darauf auch die Schwester und die Verlobte Wilhelmine von Zenge **1** auf, »ein Kollegium über Experimentalphysik bei Wünsch« zu besuchen.

Was erregt nun die Zeitgenossen – Goethe, Alexander von Humboldt, Achim von Arnim, Novalis, nahezu alle im Umfeld von Romantik und Spätaufklärung sind beteiligt an den Experimenten zu Elektrizität und Galvanismus derart? Und inwiefern ist Kleist involviert?

Als sich im Januar 1799 Novalis bei der befreundeten Caroline Schlegel nach dem Befinden des Physikers Johann Wilhelm Ritter **2** erkundigt, teilt diese ihm – durchaus gehässig und in Anspielung auf den Experimentierwahn, den die berühmt gewordenen Versuche Galvanis auslösen – aus Jena mit:

Was kann ich Ihnen von Ritter melden? Er wohnt in Belvedere und schickt viel Frösche herüber, von welchen dort Ueberfluß und hier Mangel ist. Zuweilen begleitet er sie selbst, allein ich sah ihn noch nie, und die Andern versichern mir, er würde auch nicht drei Worte mit mir reden können und mögen.

Eher zufällig hatte der italienische Arzt Luigi Galvani um 1780 beobachtet, dass ein präparierter Froschschenkel durch elektrische Entladungen gereizt werden kann.

Galvani startete nach dieser Entdeckung eine Reihe von Experimenten. Er verband zwei Metalldrähte aus Zink und Silber mit den Schenkelnerven des Frosches. Brachte man die beiden Metalle miteinander in Kontakt und schloss damit den Stromkreis (Metall 1 – Schenkelnerv – Metall 2), zeigte der Froschschenkel eine galvanische Aktion: Er zuckte im Augenblick der Berührung. Galvani



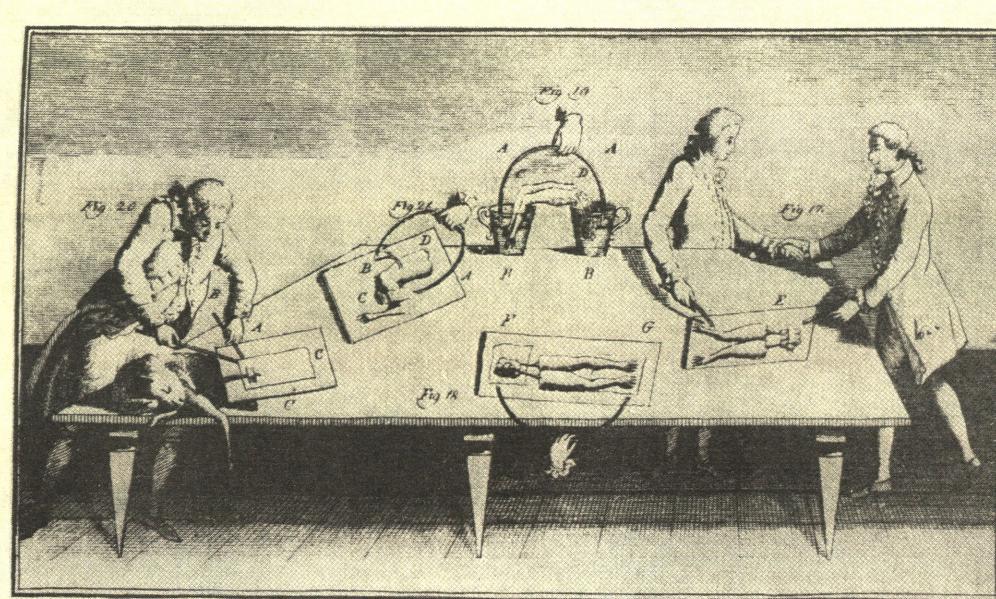
J.W. Ritter

2

Der Physiker Johann Wilhelm Ritter, dessen Schrift *Beweis, daß ein beständiger Galvanismus den Lebensprozeß im Thierreiche begleite* den Verfasser schlagartig im Kreis der deutschen literarischen Romantik bekannt machte.

ging nach einer Reihe von Versuchen mit unterschiedlichen Metallen und den dabei beobachteten Konvulsionen des Froschschenkels davon aus, dass »dem Tiere selbst Elektrizität innewohne«. Er bezeichnete dieses Phänomen, einen Terminus des Physiologen Pierre Bertholon aufgreifend, als »tierische Elektrizität«. Der Forscher interpretierte damit das Beobachtete irrtümlicherweise als ein Phänomen, welches seinen Ausgangspunkt in den Nervenbahnen des Frosches selbst nahm, die nach Galvanis Vorstellung von einer elektrischen Flüssigkeit durchströmt wurden **3**.

Der Physiker Alessandro Volta, ursprünglich ein Anhänger Galvanis, trat 1792 mit einer Gegentheorie an. Volta sah in der Verbindung der Metalle die eigentliche Quelle der elektrischen Erscheinung, welche anschließend die Nerven des Organismus lediglich affizierte.



3

Ein Experiment Luigi Galvanis an präparierten Froschschenkeln, die durch elektrische Entladungen gereizt werden.

Der sich an den beiden gegensätzlichen Theorien Galvanis und Voltas zum Galvanismus entzündende Streit entfachte im letzten Dezennium des 18. Jahrhunderts in ganz Europa eine beispiellose Experimentierwut, die weit über die Grenzen des Faches hinausging. Zahllose Forscher und naturwissenschaftliche Laien vollzogen die Versuche Galvanis und Voltas nach und sorgten auf diese Weise für einen zeitweiligen Froschmangel in den Tümpeln Deutschlands.

Johann Wilhelm Ritter nun geht in seiner Studie Beweis, daß ein beständiger Galvanismus den Lebensprozeß im Thierreiche begleite einen entscheidenden Schritt über Volta und Galvani hinaus. Wenn es sich beim Galvanismus um ein Prinzip handelte, das auf Metalle, Pflanzen und Tier-Einfluss nimmt, dann, so folgert Ritter, mussten sich diese Phänomene und Gesetzmäßigkeiten auch im menschlichen Organismus wiederfinden lassen. Da der Menschenkörper das höchste Glied

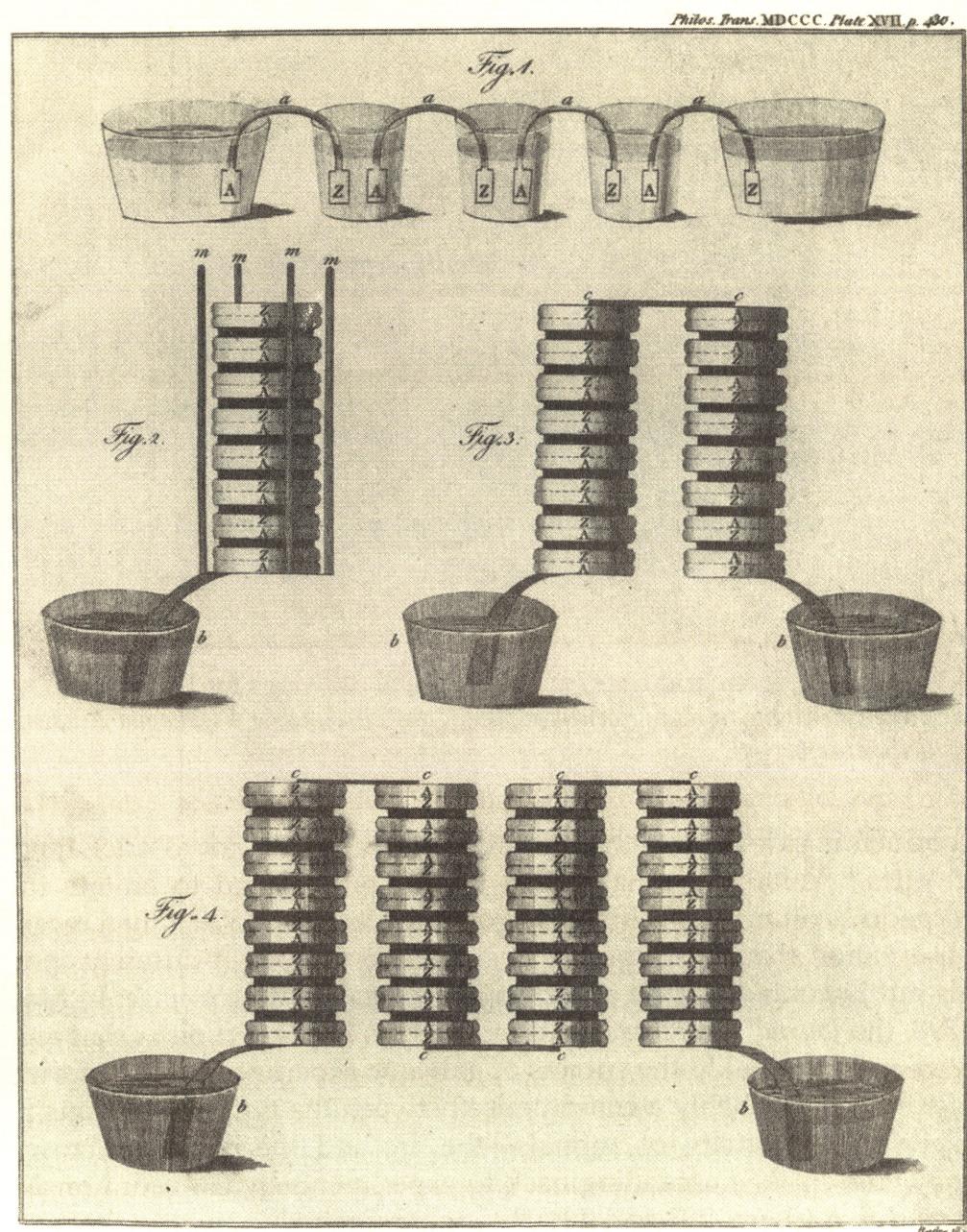
in der Kette des Lebens bildet, bedeutete sein Bauprinzip zu durchschauen, den Analogkörper Natur zu durchschauen. Bereits Alexander von Humboldt, Fowler und Hunter hatten vor Ritter galvanische Versuche am eigenen Körper angestellt. Neu bei Ritter ist, dass er das Selbstexperiment über seine galvanischen Versuche an eine äußerste, in der Wissenschaft bis dahin nicht betretene Grenze vorantreibt.

Im Jahre 1800 hatte Volta eine Entdeckung gemacht, die dies ermöglichte: die nach ihm benannte Voltasche Säule **4**. Mit Hilfe dieser Säule ließen sich elektrische Ströme erzeugen, und die Testergebnisse lieferten verblüffende Resultate.

Ritters Versuchsanordnungen liegen nun folgendermaßen: Er setzt abwechselnd ein bestimmtes Organ seines Körpers dem positiven (Zink) bzw. negativen Pol (Kupfer oder Silber) der Voltaschen Säule aus. So beginnt er damit, eine Hand in ein Gefäß mit Wasser zu tauchen, das mit dem nega-

4

Die Voltasche Säule.
Es handelt sich dabei um eine periodische Anordnung von Metallscheiben (in der Regel Zink und Kupfer), die durch salzlösungsfeuchte Pappe voneinander getrennt sind und deren Reihung höhere elektrische Spannungen erzeugte.



tiven Pol verbunden war, und schließt mit der anderen Hand den Stromkreis zum positiven Batteriepol auf die gleiche Weise. Ritter notiert akribisch Empfindung und Gegenempfindung. Am Silberpol scheint sich die Hand zu versteifen, am Zinkpol tritt das Entgegengesetzte auf, sie wird beweglicher, wärmer, erscheint ausgedehnter. Macht Ritter denselben Versuch an seiner Zunge, spürt er auf der einen Seite einen bitteren, alkalisch-stechenden, auf der anderen einen milden, sauren, stumpfen Geschmack. Bringt er den Augapfel mit dem Silberpol in Berührung, sieht er einen Blitz, der sich verdunkelt, rötlich ist und äußere Gegenstände vergrößert erkennen lässt. Der gleiche Versuch am Zinkpol verursacht einen bläulich gefärbten Blitz, der die äußeren Gegenstände verkleinert und verschleiert.

Belegt werden sollte damit: Die Polarität, das dualistische Prinzip als eines der zentralen Gesetzmäßigkeiten des Galvanismus, das Ritter in organischen und anorganischen Ketten beobachtet hatte, lässt sich auch im menschlichen Organismus wiederfinden.

Was wir wissen ist, dass Kleist die galvanischen Experimente Alexander von Humboldts gekannt hat. Humboldt – der mit Ritter engen Kontakt hält – wiederholt Ritters galvanische Experimente an Auge und Zunge, wobei er die erzeugte Elektrizität niedriger hält. Humboldt lässt sich zudem mit Blasenpflastern Wunden an den Schulterblättern beibringen, steckt zur Schließung der galvanischen Kette Nadeln hinein und beobachtet die Verwandlung der natürlichen Eiterung zu einer – von ihm so gedeuteten – bösartigen Geschwulstausscheidung.

Dieses galvanische Reizexperiment findet sich nun in varierter Form in Kleists Drama *Die Familie Schroffenstein*. Hier ist es Johann, der Sohn des Grafen von Schroffenstein, der in masochistischem Gestus gegenüber Ottokar äußert:

*Denn in die Brust schneid ich mir eine Wunde,
Die reiz ich stets mit Nadeln, halte stets
Sie offen, daß es mir recht sinnlich bleibe.*

Entweder tauscht sich Kleist in Paris mündlich mit Alexander von Humboldt über dessen galvanische Experimente aus, oder aber er rezipiert dessen 1797 veröffentlichtes Werk *Versuch über die gereizte Muskel- und Nervenfaser*, dessen zweiten Teil auf Bitten Humboldts wiederum Johann Wilhelm Ritter mit Kommentaren versieht. Auf einem dieser beiden Wege könnte Kleist im Umfeld der Lektüre auch auf die Experimente Ritters gestoßen sein. Dies jedoch muss Spekulation bleiben.

Als faktisch gesichert kann gelten: Kleist nimmt am naturwissenschaftlichen Diskurs seiner Epoche zum Galvanismus regen Anteil. Er stürzt sich in seiner Studien-Zeit in Frankfurt/Oder mit Enthusiasmus auf die Wissenschaften und gerät über das Kolleg bei Christian Ernst Wünsch auch in Berührung mit Experimenten im Umfeld von Galvanismus und Elektrizität. Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit vollzieht er diese nach und integriert schließlich in das in dieser Phase (1801–1802) verfasste Drama *Die Familie Schroffenstein* ein romantisches Selbstexperiment. Zu welchem Zwecke, ist zu fragen?

Poetisch experimentelle Transferfiguren

Zurück zu Kleist und seiner 1810 verfassten Schrift *Allerneuester Erziehungsplan*, in denen sich der wichtigste Beleg zu Kleists Verständnis der Experimentalphysik findet.

Wenn Lichtenberg in seinem Kommentar zu Erxlebens Anfangsgründen der Naturlehre bemerkt, der Verfasser habe mit dem Gesetz einen »Satz, den man mit Recht den ersten dieser ganzen Lehre nennen könnte« formuliert, so spielt er damit auf ein Leitprinzip an, welches ein zentrales Axiom romantischer Naturphilosophie bildet: das Leitprinzip der Polarität. Kleist nennt es in seinem *Allerneuesten Erziehungsplan* »das Polarverhältnis« und fährt im selben Text fort:

Dieses höchst merkwürdige Gesetz findet sich, auf eine, unseres Wissens, noch wenig beachtete Weise, auch in der moralischen Welt; dergestalt, daß ein Mensch, dessen Zustand indifferent ist, nicht nur augenblicklich aufhört, es zu sein, sobald er mit einem anderen, dessen Eigenschaften, gleichviel auf welche Weise, bestimmt sind, in Berührung tritt: sein Wesen sogar wird, um mich so auszudrücken, gänzlich in den entgegengesetzten Pol hinübergespielt; er nimmt die Bedingung + an, wenn jener von der Bedingung -, und die Bedingung -, wenn jener von der Bedingung + ist.

Kleist geht von einer Analogie zwischen dem »Polarverhältnis« von anorganischen Körpern im Zustande elektrostatischer Influenz und einem von ihm als »gemeines Gesetz des Widerspruchs« bezeichneten menschlichen Verhaltensmuster aus. Dieses Verhaltensmuster macht laut Kleist die Menschen geneigt, »uns, mit unserer Meinung, immer auf die entgegengesetzte Seite hinüber zu werfen«.

Kleist nutzt also das Phänomen der Polarität als Beleg für jene »merkwürdige[n] Übereinstimmung zwischen den Erscheinungen der physischen und moralischen Welt«.

Kant definiert, auf Newtons Gravitationstheorie fußend, in seinen *Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft* das Wesen der Materie durch den Antagonismus zweier Kräfte: Anziehungskraft und Rückstoß (Attraktion und Repulsion). Schelling forciert dieses Konzept. Denn hatte Kant das Polaritätspaar der Anziehungs- und Rückstoßkraft lediglich als die Bedingung der Existenz von Materie dargestellt, so erweitert Schelling die Polarität zum beherrschenden Bauprinzip der gesamten Natur, zum »allgemeinen Weltgesetz«, wie es in *Von der Weltseele* heißt. Elektrizität entsteht aus der Verbindung von positivem und negativem Pol, Chemie aus Mischung und Trennung der Stoffe, Magnetismus aus Verkettung von Nord- und Südpol, Galvanismus aus der Koppelung von Kettengliedern, die negative und positive Ladung tragen. Der Begriff der Polarität, erstmals im Englischen seit der Mitte des 17. Jahrhunderts belegt und ausschließlich auf die Erscheinungsweisen des Magnetismus gemünzt, wird von Schelling damit auf sämtliche Phänomenbereiche der Natur und des Geistes ausgedehnt.

Was für die ästhetische Sphäre weitaus entscheidender ist: Laut Kant weisen die Organismen der Natur und die Werke der Kunst, also auch jene der

Poesie, eine Analogie auf. Die Strukturähnlichkeit besteht für Kant in der zweckfreien Eigengesetzlichkeit beider Sphären. Sowohl die Kunst als auch die Schöpfungen der Natur vermögen im Betrachter jenes berühmte »Wohlgefallen [...] ohne alles Interesse« zu erzeugen, welches den Kern der Kantischen Bestimmung des Schönen bildet. Diese »Zweckmäßigkeit ohne Zweck« als Wesen des Schönen vermag sich laut Kant in der Natur und im Kunstprodukt widerzuspiegeln. Diese grundlegende Beziehung zwischen Natur und Kunst in der Kantischen Ästhetik wird von den frühromantischen Autoren aufgegriffen und nach der Seite der Poesie hin ausgebaut.

Denn Natur und Kunst weisen nicht nur eine analoge Struktur in punkto Zweckfreiheit auf, sondern dieses zweckfreie Spiel vollzieht sich in den Augen der Romantiker auch nach analogen Produktionsregeln. Genauer: Die Kunst konstruiert die Werke der Natur spielerisch nach. Sie vermag dies, weil die Baupläne der Natur mit den Bauplänen des menschlichen Geistes *identisch* sind und die erfassbare Struktur der empirischen Welt sich in der Struktur des menschlichen Geistes implementiert findet.

des Menschen zum Ausdruck gebracht. Er schreibt im Spätherbst 1807 an Marie von Kleist: »Jetzt bin ich nur neugierig, was Sie zu dem Käthchen von Heilbronn sagen werden, denn das ist die Kehrseite der Penthesilea, ihr anderer Pol«. Und noch einmal, an Heinrich von Collin, wenig später, mit einer ähnlichen Formulierung: »... wer das Käthchen liebt, dem kann die Penthesilea nicht ganz unbegreiflich sein, sie [...] sind ein und dasselbe Wesen, nur unter entgegengesetzten Bedingungen gedacht.«

Was hier stattfindet, ist nichts weniger als eine 1:1-Übertragung des naturwissenschaftlichen Phänomens einer Polarisierung von Ladungen durch elektrostatische Influenz auf die Gestaltungsprinzipien zweier poetischer Texte. Der Leitgedanke romantischer Naturphilosophie, dass Polarität nicht nur auf der oberen, mechanischen Stufe der Materie wirkt, sondern in anderer, höherer Gestalt im Wesen des Menschen wiederkehrt, spiegelt sich vielfältig in Kleists Figurenpsychologie, etwa in den von der Kleist-Forschung hinlänglich untersuchten polaren Charakterzeichnungen seiner Heldeninnen und Helden.

Festzuhalten bleibt bis hierhin: Kleist bringt sein aus der Experimentalphysik entnommenes Modell des »Gegensätzlichen« mit in die Sphäre seiner Dichtung ein. Doch – so meine These – Kleist wäre nicht Kleist, fänden die Analogien nicht ihre Grenzen. Denn obwohl der Dichter Heinrich von Kleist sich das Axiom einer Identität von Natur und Geist aus der romantischen Naturphilosophie partiell zu eigen macht und über das Leitprinzip der Polarität in seine Dichtungen hinein integriert – aus der Liaison Kleist – romantische Naturphilosophie wird keine Liebesheirat.

Das Bild forciert: Die Psyche ist für Kleist letztlich eben kein materielles Glied einer galvanischen Kette, kaum eine Qual des Geistes löst sich über elektrostatische Influenz auf, und Subjekt und Objekt lassen sich nicht durch »eine Säure oder ein Alkali« voneinander scheiden, auch wenn Kleist sich in dunklen Stunden noch so sehr danach sehnt. Hier – und dies wird in einem letzten Schritt zu zeigen sein – endet die Analogie zwischen Geist und Natur. Und Kleist reflektiert diesen Bruch mit der romantischen Naturphilosophie sehr genau. Er führt ihn zu einer neuen Gedankenfigur.

Die Figur des verweigerten Dritten

»So viel ich weiß, gibt es in der Natur / Kraft bloß und ihren Widerstand, nichts Drittes« lässt Heinrich von Kleist in seiner *Penthesilea* gleich zu Beginn den verunsicherten Odysseus sagen.

Der kann nicht verstehen, dass die Amazone mit ihrem Heer in die einander feindlich gegenüberstehenden Schlachtenreihen der Trojer und Griechen einbricht und beide Parteien gleichermaßen attackiert. Penthesilea weigert sich, oder genauer: ist unfähig, die lachende Dritte im Konflikt der Gegensätze zu sein.

Es bleibt nicht die einzige Passage bei Kleist, in der die Ordnungsphantasie einer Synthese, einer Verbindung zweier getrennter Pole auf höherer Ebene verweigert wird. Das »Versöhnungsgeschäft«, so wird die Gedankenfigur im *Erdbeben*



5

Friedrich von Hardenberg,
genannt Novalis, Verfasser des
Romans *Heinrich von Ofterdingen*
und Schöpfer der »blauen Blume«,
berühmtestes Symbol der litera-
rischen Romantik.

Eben dieser Geist – genauer: die produktive Einbildungskraft als seine kreativste Komponente – reproduziert die Schöpfungsprinzipien der äußeren Natur im Innern des Menschen. Dies ist Aufgabe und Zielsetzung der Poesie. Immer wieder finden sich bei den Frühromantikern Passagen, in denen diese analoge Verfahrensweise von Kunst und Natur thematisiert wird. Novalis 5 notiert sich zu diesem Verfahren im *Allgemeinen Brouillon*:

»Experimentieren mit Bildern und Begriffen im Vorstell[ungs]V[ermögen] ganz auf eine dem phys[ikalischen] Experim[entiren] analoge Weise. Zusammen Setzen. Entstehn lassen – etc.«
[Historisch-Kritische Ausgabe III, 443]

Geschult an Kant, findet sich auch bei Heinrich von Kleist die Vorstellung analoger Produktionsregeln zwischen dem Bauplan der Natur und jenem

in Chili genannt, ist Kleists Sache nicht. Dort, wo Kleist polare Konstellationen in äußerer und innerer Natur wahrnimmt, stellt er sich zunächst – ganz im Sinne romantischer Naturphilosophie – dem Versuch einer Synthese der konstatierten Pole der Unvereinbarkeiten. Doch es bleibt beim Versuch. Plus- und Minuspol treten zwar miteinander in Kontakt, aber sie schließen den Stromkreis nicht. Das lösende Dritte, welches die dichotomischen Ordnungsschemata der Natur ebenso wie des Geistes auf einer höheren Ebene zu verbinden vermag, dieses lösende Dritte wird bei Kleist verweigert. Die dritte Linie ist, wie Jeronimus in der *Familie Schroffenstein*, ausgelöscht. Zwar existieren immer wieder Zeichen der Hoffnung auf Synthese, so wie im besagten Drama zwischen dem Rossitzer Otto und Agnes aus Warwand, doch Ottokar erkennt frühzeitig, dass jenseits ihrer Liebe etwas Drittes hinzukommen müsste, um in den verfeindeten Vätern den Gedanken der Versöhnung zu generieren. Stattdessen heißt es bei Kleist:

Ja könnte man sie nur zusammenführen!
Denn einzeln denkt nur jeder seinen einen
Gedanken, käm der andere hinzu,
Gleich gäbs den dritten, der uns fehlt.

Diese verweigerte Figur des Dritten wird über das einzelne Textbeispiel hinaus bei Kleist zu einem literarischen Narrativ erhoben, welches als Störer und Mittler gleichermaßen innerhalb des poetischen Systems fungiert. Besagtes System ist einerseits geprägt von den etablierten dualistischen Semantiken, welche für das Abendland bestimmend sind und an deren Tradierung Kleist per Sozialisation und kulturellem Diskurs teilhat. Die Welt, wie sie Kleist nahegebracht wird, ist gespalten wie die Pole eines Magnets in Nordpol und Südpol, wahr und falsch, Geist und Materie, Innen und Außen, Kultur und Natur.

Andererseits – und hier erweist sich der Dichter Kleist als Seismograph einer kommenden Zeit – glaubt Kleist nicht an die Durchbrechung jener dichotomischen Ordnungsschemata durch ein wie

auch immer geartetes synthetisierendes System. Die »gebrechliche Einrichtung der Welt« wird nicht durch eine dialektische Versöhnung der Gegensätze wie in der Philosophie Hegels, nicht »durch die Entdeckung der Identität« wie bei Schelling, nicht durch die pantheistische Verklärung der Existenz wie beim gönnerhaften Kleistschen Übervater Goethe und schon gar nicht über das triadische Modell des Goldenen Zeitalters wie bei den Romantikern Novalis und Wackenroder zur Heilung und Versöhnung gebracht.

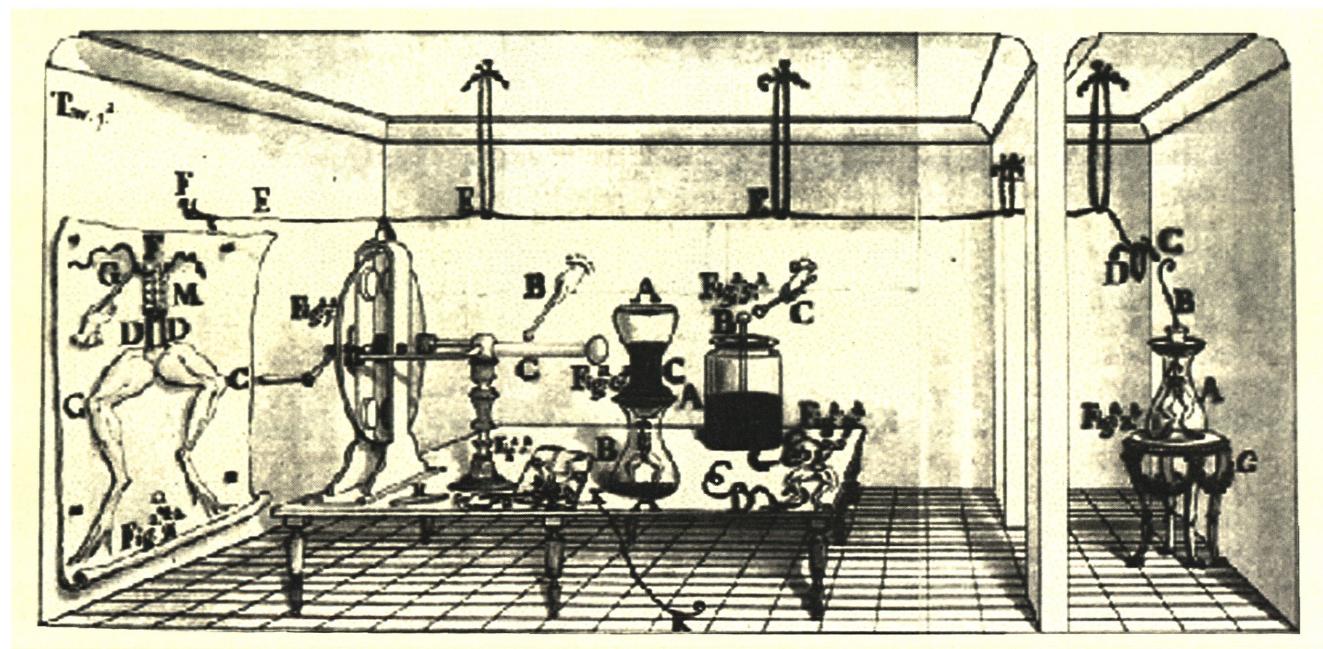
Weder entscheidet sich Kleist innerhalb dieser binären Opposition der klassischen abendländischen Episteme für einen der beiden Pole, noch glaubt er daran, den so schmerzlich wahrgekommenen Dualismus durch Etablierung einer wie auch immer gearteten Metaebene zu einer höheren Einheit verbinden zu können. Stattdessen verharrt Kleists Dichtung in jener für die Moderne so spezifischen Zwitterposition einer so genannten »Doppelkonditionierung«, die den Dichter und sein Figurenpersonal in die Ordnung des sie umgebenden Systems als gleichermaßen eingeschlossen wie ausgeschlossen begreift.

Man hat sich in der aktuellen Kulturwissenschaft auf die Suche nach Figuren eben einer solchen Doppelkonditionierung, nach so genannten »Figuren des Dritten« gemacht. Fündig geworden ist man etwa bei Derridas Begriff des Spiels, bei Michel Serres Konzept des Parasiten, beim »tertium datur« in Luhmanns kybernetischer Systemlogik, die in Überwindung der aristotelischen Logik auf diese Weise einen neuen Umgang mit systemischen Fehlermeldungen herzustellen sucht. Ich würde auch René Girards mimetische Theorie nennen wollen. So heißt es etwa in Girards *Dostojewskij* Essay:

Wenn wir sagen, unsere Begierden seien nachahmend oder mimetisch, so bedeutet das, dass sie nicht in ihren Objekten und nicht in uns selbst wurzeln, sondern in einem Dritten, dem Vorbild oder Vermittler, dessen Begehrten wir imitieren in der Hoffnung, ihm zu ähneln, in der Hoffnung, mit ihm eins zu werden.

6

Weitere Illustration eines zeitgenössischen Galvanismus-Experiments.
Brachte man die Schenkelnerven des Frosches in Kontakt mit zwei Metalldrähten (Zink und Silber) und schloss den Stromkreis (M1–Schenkelnerv – M2) zeigte der Schenkel die »galvanische Aktion«: Er zuckte im Augenblick des Kontakts.





7

Eines der wenigen erhaltenen
Porträts: Heinrich von Kleist.

Eben ein solcher Vermittler, eine solche Figur des Dritten, wird bei Kleist gesucht und nicht gefunden. Die »gebrechliche Einrichtung der Welt« ist zu mächtig. Sie wird in alle Richtungen reflektiert und gewendet und schließlich über das literarische Narrativ der Figur des verweigerten Dritten, welche zwischen den Polen oszilliert, ohne je einen Punkt der Ruhe zu finden, zur Sprache gebracht.

Belegen lässt sich dies sehr gut an Kleists weiterer Auseinandersetzung mit den Experimentalanordnungen der romantischen Naturphilosophie.

Kehren wir zu diesem Zwecke kurz zu den Experimenten Johann Wilhelm Ritters zurück: Polarität, das dualistische Prinzip als eines der zentralen Gesetzmäßigkeiten des Galvanismus, das Ritter in organischen und anorganischen Ketten beobachtet hatte, ließ sich auch im menschlichen Organismus nachweisen.

Ritter geht es nun in einem nächsten Schritt um jene besagte Synthese der Gegensatzpaare, also darum, experimentell zu demonstrieren, dass hinter der vordergründigen Polarität eine verborgene, dialektische Einheit ruht. Alle Gegensätze sind im Sinne romantischer Naturphilosophie auf einer höheren Seinsstufe aufgehoben. Novalis notiert in sein *Allgemeines Brouillon*: »Polarität ist eine Unvollkommenheit – es soll keine Polarität einst sein.«

In Ritters bis dahin durchgeföhrten Experimenten hatte sich gezeigt, dass Empfindung und Gegenempfindung in den getesteten Sinnesorganen vorhanden waren und vom Galvanismus zum Leben erweckt werden konnten 6. Wohin jedoch, so fragt Ritter weiter, führt die Potenzierung und »Extre-

misierung« einer Empfindung? Müssten nicht alle Gegensätze in einer höheren Einheit miteinander verschmelzen? Ritter nahm eine derartige »Extremisierung« der Empfindungen mittels einiger Experimente an seinen Augen vor. Wenn die Lichterscheinung am Silberpol zunächst ein Rot war, was geschah bei höherer Stromstärke? Ritter steigerte den Strom am eigenen Augapfel und sah nicht etwa ein intensiviertes Rot, sondern nahm ab einem bestimmten Punkt der Potenzierung einen plötzlichen Umschlag der Farbe in ihr Gegenteil, in das andere Extrem des Spektrums, wahr: Das Licht wurde violett. Ein Konzept romantischer Naturphilosophie schien experimentell bestätigt: Steigerte man eine Empfindung ins Extrem, schlug sie in ihr Gegenteil um. Es zeigte sich die Möglichkeit, dass die Gegensätze im Grunde eine Einheit, dass Polarität verborgene Dialektik war.

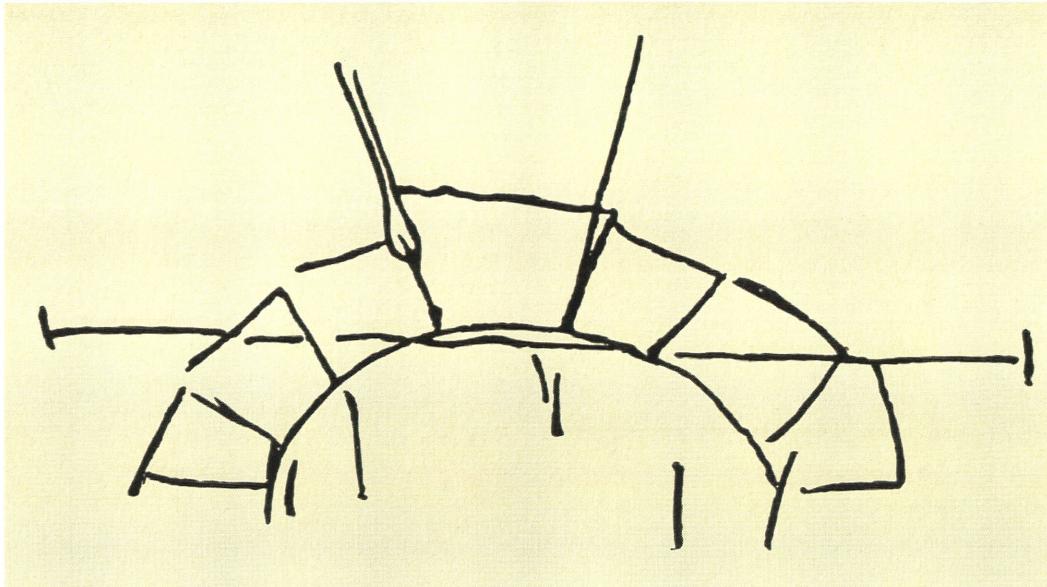
Ritter berührt in seinen Versuchen mehrfach die Grenze hin zur Selbstzerstörung. Die Experimente mit der Voltaschen Säule zur »Extremisierung« der Empfindung führen zu seiner zeitweisen Erblindung. Über einen längeren Zeitraum hinweg setzt er sich unerträglichen physischen und psychischen Belastungen aus. Nachdem Ritter 15 bis 20 Minuten lang mit weit geöffneten Augen in die Sonne gesehen hat, erscheint ihm noch Tage nach dem Versuch eine Lichtflamme, blaues Papier färbt sich vor seinen Augen rot, und das Feuer im Herd zeigt sich ihm im »schönsten Blau des brennenden Schwefels«.

Ritter opfert der Suche nach der Urformel seine psychische und physische Gesundheit bedingungslos auf. Doch die Einheit aller Naturphänomene und damit auch die Einheit von Natur und Geist will im Experiment nicht dauerhaft erscheinen. So sehr Ritter auch die Stromstärken steigert, das innerste Geheimnis der Natur offenbart sich ihm nicht. Was sich stattdessen zeigt, ist die Grenze allen menschlichen Strebens, der Tod. Ritter sieht ihn kommen und erleidet ihn schließlich, gerade einmal 33 Jahre alt. Nicht zufällig schließen seine autobiographischen *Fragmente eines jungen Physikers* mit der Bemerkung: »Unsre irdische Hülle ist nur eine Anmerkung, die der Schöpfer zum geistigen Text gemacht hat. Man liest sie zuletzt, überschlägt sie auch wohl.«

Diese fehlende Ehrfurcht vor dem eigenen Körper lässt sich fraglos auch bei Heinrich von Kleist 7 finden. Auch Kleist versucht zunächst, über die »Extremisierung« von Empfindungen zur möglichen Einheit von Geist und Natur vorzustossen. Mit zwei entscheidenden Differenzen hin zur romantischen Naturphilosophie:

Erstens: Kleist wendet sich, obwohl er zeitlebens interessiert bleibt, relativ früh ab »vom Experiment im Glase«. Er sucht stattdessen die Einheit von Natur und Geist über ein »Experiment im Kopfe« über die Hinwendung zur Poesie zu konstruieren.

Zweitens: Kleists narrative Experimentalanordnungen gehen zwar von dem von den Romantikern unterstellten analogen Bauprinzip von Natur und Geist aus. Gleichzeitig jedoch lassen sich Kleists »Experimente mit den elektrischen Körpern der Figuren« nicht 1:1 auf das Verhalten metallischer Körper bei elektrostatischer Influenz abbilden.



8

Der von Kleist im Brief an Wilhelmine von Zenge (30. Dezember 1800) skizzierte Würzburger Gewölbebogen.

Bei der narrativen Durchführung des Experiments kommen jene Effekte der verweigerten Figur des Dritten ins Spiel, die Kleists poetische Operationen in schneller Folge zwischen den Polen einer Entscheidung wie ein Pendel hin- und hertreiben, ohne dass ein Stillstand oder gar Ruhopol in Sicht wäre. Probleme der Grenzziehungen, der Schwelle, der Schnittstelle, der Paradoxie treten in den Fokus des Kleistschen Erzählkosmos. Die Folgen für das Figurenpersonal sind folgende: Küsse und Bisse bei *Penthesilea*, Rechtschaffenheit und Entsetzlichkeit zugleich im *Michael Kohlhaas*, ein Graf F. in *Die Marquise von O.*, der als Engel und Teufel in einer Person erscheint oder gar ein einzelner Mensch, der sich von vornherein mit seinem Doppelgänger-Gott konfrontiert sieht im *Amphytrion*. Nicht die Polarität der Figurenanlage ist dabei das eigentlich Neue, sondern die Tatsache, dass die Figuren ihre Gegensätze nicht versöhnen können und darum auf der Suche nach einer Lösung gezwungen sind, sie ins Unendliche steigern. Diesen Gedanken einer »Extremisierung« der Empfindung durch permanente Aufladung des getrennten Pols entnimmt Kleist nicht zuletzt den Experimenten romantischer Naturphilosophie.

Dort jedoch, wo die Romantiker beim Aufprall zweier Ordnungen nach der Synthese, dem lösen den Dritten zumindest fahnden, offenbaren sich bei Kleist die Paradoxien einer asymmetrischen Welt; Paradoxien, die Müller-Seidel zu Recht als Kleists »bevorzugte Denkfigur[en]« ansieht.

Der Gewölbebogen 8, den Kleist auf seiner Würzburger Reise sieht und der ihn so beeindruckt, dass er eine Skizze von ihm entwirft – ein Bogen, der ohne Stütze aufrecht steht, »weil alle Steine auf einmal einstürzen wollen«, eine Betrachtung, aus der Kleists gequälter Geist »einen unbeschreiblich erquickenden Trost« zieht –, der Sturm, welcher die blühende Eiche niedermacht, »weil er in ihre Krone

greifen kann«, während die abgestorbene Eiche unerschüttert dem Unwetter standhält, das Leben, welches »viel wert« ist, »wenn mans verachtet«: solche Effekte des Dritten entstehen als »wissenschaftsinspirierte Denkbilder« einer gebrechlichen Weltordnung, deren differierenden Pole sich weder über die Experimente an der Natur noch über jene des Geistes poetisch begradigen lassen.

In den traditionellen Ordnungsschemata lösen derartige Asymmetrien sich dadurch auf, dass immer da, wo keine Synthese herstellbar ist, einer der beiden Pole schließlich die Oberhand gewinnt und den anderen mit umschließt. Bei Kleist gelingt eine solche Operation nicht. Sein literarisches Narrativ thematisiert jene Differenz zwischen den Polen und Körpern, die kein galvanisches und kein poetisches Experiment aufzuheben vermag. Die Unfähigkeit, sich einem Pol abschließend zuzuwenden, ebenso wie die Unfähigkeit, durch Steigerung der Pole zu einer Lösung zu gelangen, kreieren bei Kleist jene Figurenbrüche, Paradoxien, Gedankenstriche und gesueufzten »Achs«, als Störsignale der Ordnungsphantasien eines sich per dialektischem Taschenpiel vermeintlich versöhnenden Kosmos.

»Wer kann das Unbegreifliche begreifen?«, lässt Kleist Sylvester in *Die Familie Schroffenstein* fragen. Und, da dem so ist, da ein im Sinne Kleists »unbegriffener [...] Geist [...] an der Spitze der Welt steht«, »wozu noch«, so folgert Ottokar im Drama, »das Unergründliche geheimnisvoll/Verschleiern?« Wozu also noch, so ließe sich weiter fragen, den von Goethe so pantheistisch versöhnten »blinden Fleck« in Natur und Geist in Abrede stellen? Den Abgrund zwischen den differierenden Polen nicht zuzuschütten, leisten Kleists experimentelle Denkfiguren des verweigerten Dritten.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 71

Prof. Dr. phil.
Jürgen Daiber
geb. 1961 in Sinsheim.
Studium der Germanistik in Heidelberg und Trier. 1994 Promotion, 2001 Habilitation in Trier, danach Lehrstuhlvertretung in Trier. Seit Oktober 2003 Professor für Neuere deutsche Literaturwissenschaft an der Universität Regensburg.
Forschungsschwerpunkte:
Wissenspoetiken, Literatur und Neue Medien, Gegenwartsliteratur.

Weißen Riese und Persil-Frau

Das Historische Werbefunkarchiv der Universität Regensburg

Werbeforschung

Das Historische Werbefunkarchiv (HWA) an der Universität Regensburg ist eine einzigartige Sammlung von Hörfunk-Werbespots aus den Jahren 1948 bis 1987. Die Spots, die auf analoge Magnettonbänder aufgenommen wurden, sind der Universität von dem Wirtschaftswissenschaftler und Werbe-Allrounder Prof. Erwin H. Geldmacher überlassen worden. Seit Beginn des Jahres 2005 werden die Tonbänder im MultiMediaZentrum der Universitätsbibliothek Regensburg digitalisiert und inhaltlich erschlossen. Die Sammlung stellt eine interessante Grundlage für viele unterschiedliche Forschungsansätze dar. Umfassend können nun beispielsweise folgende Fragestellungen bearbeitet werden: Wie unterschiedlich haben Markenartikelhersteller in den 50er Jahren für das damalige Luxusprodukt Schokolade geworben? Wie hat sich die Maggi-Werbung im Laufe der Jahrzehnte vor dem Hintergrund sich wandelnder gesellschaftlicher Verhältnisse verändert? Und wie realitätsnah spiegelt Hörfunkwerbung die Rolle der Frau der jeweiligen Zeit?

Werbung im Spiegel der Zeit

»So, hier sind deine Hausschuh, und nu komm Abendbrot essen, wird ja alles kalt ...« Mit Maggi-Frühlingssuppe macht sie ihrem Liebsten eine Freude. Eine andere Ehefrau der 50er Jahre hat zu ihrer Rettung Pril im Haus, als der Gatte mit seinen vom Kohlenträgen schwarzen Händen die Türklinke berührt hat: »Jetzt könnt ich widder schrubbe un schrubbe ... Was e Glück, dass ich Pril hab!« Und erst mit Lenor hat die Hausfrau ein gutes Gewissen, denn »Lenor spült weich, weiß, und alles duftet aprilfrisch.« **[1, 2]**.

Die Werbung der 50er Jahre hatte ihren eigenen Charme; teilweise handelte es sich bei den Radiospots um Drei-Minuten-Stücke, die wie Hörspiele funktionierten. Familien saßen damals abends gemeinsam vor dem Radio und noch nicht vor dem Fernseher. Man denke nur an die Volksschauspieler Michel Lang und Max Strecker in den *Dallmayr-Spots*: Da ging es um kleine Alltagsgeschichten, die immer auch das Thema »Kaffee« beinhalteten und durch zwischenmenschliche Themen angereichert wurden, zum Beispiel das Gspusi Marie oder den Enkel Bepperl. Da gab es etwa Milchwerbung in Moritatenform, die gereimte Africaine-Zigaretten-Werbung oder Spalt-Tabletten-Werbung als Wettervorhersage. Manches klingt für uns heute aber auch laut, marktschreierisch und aufdringlich, und die Frau in der Werbung wurde überdeutlich an Heim

und Herd gebunden. Eine konzeptionell bunte Mischung lässt sich also in der frühen Werbung der Nachkriegszeit beobachten.

Zur Geschichte des Historischen Werbefunkarchivs

Rund 50 000 Hörfunkspots unterschiedlicher Marken wie Bac, Coca-Cola, Frankonia, Maggi, Milka, Persil, Sarotti, Thomy, Verpoorten und Weißen Riese finden sich im Historischen Werbefunkarchiv. Die insgesamt rund 8 000 Tonbänder geben Einblick in fünf Jahrzehnte Hörfunkwerbung, und zwar von der Nachkriegszeit bis Mitte der 80er Jahre.

Besitzer der Sammlung war Erwin H. Geldmacher **[3]**, Honorarprofessor an der Universität der Künste, Berlin, der das *Tonstudio Frankfurt* und das *Fischer Studio* in Bad Soden leitete. Aus Ersterem stammen die Spots aus den Jahren 1948–1977; die Werbung von 1978–1987 wurde in Bad Soden produziert. Geldmacher war überdies von Anfang der 50er bis Mitte der 90er Jahre als kreativer Gestalter und Berater großer Markenartikelunternehmen, wie Asbach (Rüdesheim), Henkel (Düsseldorf) und Nestlé (München, Frankfurt und Vevey/Schweiz), tätig. Seit Beginn seiner Tätigkeit in den Tonstudios setzte sich Geldmacher vorausschauend – aus kultur- und medienwissenschaftlichem Interesse – für eine systematische Sammlung der Werbetonbänder ein. Bis Januar 2003 war das HWA beim Bayerischen Rundfunk in München untergebracht. Der Weg an die Universität Regensburg führte über die Dissertation von Sandra Reimann, jetzt Akademische Rätin am Lehrstuhl für Deutsche Sprachwissenschaft. Sie war auf der Suche nach alter Hörfunkwerbung von Bärenmarke und stieß dabei auf die Sammlung von Geldmacher. Gerade zu diesem Zeitpunkt sollten die Tonbänder wegen Platzmangels aus dem Kellerraum des Bayerischen Rundfunks ausquartiert werden. Ungeklärt war die Frage, wo und ob überhaupt eine geeignete Aufbewahrungsmöglichkeit für das Archiv gefunden werden könnte. Darauf hinaus war auch Geldmacher sehr daran interessiert, die Bänder vor dem physischen Verfall zu retten und sie an einer Institution unterzubringen, die das Archiv nutzt und mit ihm arbeitet. In Zusammenarbeit von Bibliotheksdirektor Dr. Friedrich Geißelmann und dem damaligen Prorektor Prof. Dr. Albrecht Greule, Lehrstuhl für Deutsche Sprachwissenschaft, gelangte das Archiv dann an die Universität Regensburg, wo es im Juli 2004 eingeweiht wurde **[4]**. Interessierte aus Wirtschaft, Medien und Forschung waren neugierig



1
Mit Persil geht alles so einfach und leicht, wird zumindest in einem Hörfunkspot von 1964 behauptet. Die Persil-Werbung im HWA geht sogar bis 1951 zurück. Die abgebildete Dame ist allerdings noch älter, das Plakat stammt aus den 1920er Jahren.

2
Der Weiße Riese ... Erinnern Sie sich noch an Deutschlands längste Wäscheleine? Das Archiv enthält Hörfunkspots mit dem Weißen Riesen ab den 1960er Jahren.

Persil

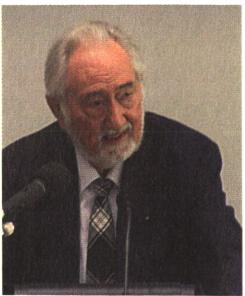
auf diese in der deutschen Universitätslandschaft einmalige Sammlung.

Einzigkeit des Archivs

Dass wir heute überhaupt noch wissen, welche Hörfunkwerbung in den 50er Jahren gelaufen ist, ist nicht selbstverständlich. Denn Werbung wird in der Regel nicht systematisch aufbewahrt – weder von den werbenden Unternehmen selbst noch von Agenturen, Radiosendern und Archiven. Die kultur- und firmengeschichtliche Bedeutung von Werbung wurde in der Vergangenheit kaum gesehen. Werbespots hätten – so die gängige Meinung – einen geringen dokumentarischen Wert. Besonders die Radiowerbung wurde und wird zu Unrecht vernachlässigt. Dies lässt sich bereits bei der Produktion feststellen: Im Rahmen einer mehrmedia-

len Kampagne (z. B. mit Anzeigen- und TV-Werbung) wird der Hörfunkspot beispielsweise als Fernsehspot ohne Bilder oder als vertonte Anzeige gesendet. Eine medienadäquate Umsetzung ist nur im Idealfall festzustellen: zum Beispiel der Einsatz von Dialogen und Dialekt, das phantasievolle Spiel mit Musik und Geräuschen sowie die Wahl der Darstellungsformen Veranstaltungshinweis oder Interview. Das populäre Medium Fernsehen auf der einen Seite und die tendenziell seriöse Anzeigenwerbung auf der anderen Seite machen es der Hörfunkwerbung seit jeher schwer. Diese Benachteiligung der Radiospots in der Produktion wirkt sich auch darauf aus, dass auf die Aufbewahrung dieser Spots weniger Wert gelegt wird.

Das Archivieren von Rundfunksendungen ist in Deutschland im Gegensatz zu anderen Staaten

**3**

Prof. Erwin H. Geldmacher,
der ›Vater‹ des Historischen
Werbefunkarchivs.

4

Prof. Dr. Albrecht Greule und
Dr. Sandra Reimann mit der
Tonbandsammlung im Magazin
der Universitätsbibliothek.

5

Die Tonbänder waren sorgfältigst
beschriftet – wie beispielsweise
bei diesem Exemplar von 1971
zum *Weißen Riesen*: Vermerkt
waren nicht nur die Namen der
Spots, sondern auch Musik-
elemente, Sprecher und technische
Details.

6

Mit der Telefunken-Bandmaschine
werden die Original-Tonbänder
aus den Werbestudios der 1950er
bis 1980er Jahre abgespielt.
Über eine Computerschnittstelle
erfolgt dann die Umwandlung der
analogen in digitale Tonsignale.

7

Ton in Bildern: So sieht der *Weiße
Riese*-Spot »Riesenereignis« (1971)
auf dem Computerbildschirm aus.
Hier sind die Stereotonspuren
des Textausschnitts ... *Gewinne
für über 200 000 Mark / halt, halt,
das Tollste kommt ja noch ...*
zu erkennen.

(z. B. Frankreich) nicht über das Pflichtexemplarrecht geregelt, d. h., auch bei den großen Archivbibliotheken erfolgt keine konsequente Sammlung. Die öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten unterhalten zwar eigene Archive, doch auch hier werden Sendungen nur in begrenztem Umfang nach einem inhaltlich und formal definierten Profil aufbewahrt. Betrachtet man die Dokumentation von Werbespots, so stößt man auf noch größere Lücken. Werbespots werden bei den öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten in der Regel nur für eine gewisse Zeit aufbewahrt; die Rundfunkanstalten sind zumeist auch gar nicht Eigentümer

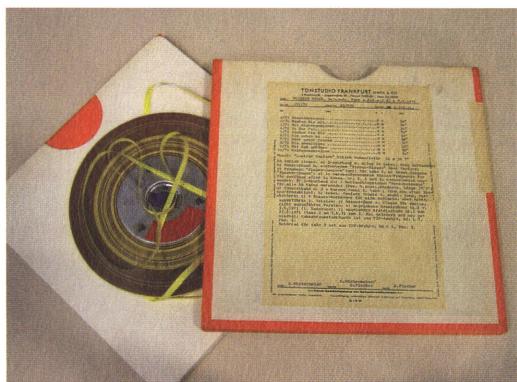
der gesendeten Spots, sondern das Eigentumsrecht bleibt bei den jeweiligen Ton- oder Werbestudios. Archiviert wird nur in Ausnahmefällen. Vor diesem Hintergrund wird die Bedeutung der Sammlung von Geldmacher besonders deutlich.

In den angloamerikanischen Ländern sieht es mit der Archivierung von Werbefunksendungen zum Teil anders aus. Werbung ist hier als Gegenstand der Forschung weit stärker anerkannt, da der Begriff Kultur umfassender definiert und verstanden wird als in Deutschland. So gibt es zum Beispiel in den USA an der *Library of Congress* in Washington eine Sammlung mit Tausenden von Werbesendungen, an der *Duke University* in Durham N.C. wurde das *John W. Hartman Center for Sales, Advertising and Marketing History* eingerichtet, und in Großbritannien liefert das *History of Advertising Trust Archive* eine Fülle von Materialien für die Werbeforschung. An keiner dieser Einrichtungen sind jedoch Werbesendungen digital für die Öffentlichkeit über das Internet verfügbar. Die Nutzungsbedingungen der Bestände sind teilweise sehr restriktiv. Internetbasierte Nutzungskonzepte haben sich auch im Ausland noch nicht durchgesetzt. Für die Universität Regensburg besteht hier die Chance, mit der Aufbereitung der Sammlung des Historischen Werbefunkarchivs führend zu sein.

Digitalisierung der Sammlung und Bereitstellung im Internet

Die Werbespots aus der Sammlung des Historischen Werbefunkarchivs wurden – wie es zur damaligen Zeit üblich war – auf analoge Magnettonbänder aufgenommen. Dank des hochwertigen Bandmaterials und der professionellen Studioaufnahmetechnik sind die Aufnahmen auch heute noch, selbst wenn sie teilweise über 50 Jahre alt sind, von erstaunlich guter Tonqualität **5**. Nichtsdestotrotz lassen sich bei genauerem Hinsehen am Bandmaterial des HWA erste Alterungsscheinungen feststellen. Bandabrieb, Verkleben der Bandlagen sowie Brüchigkeit treten vor allem bei den älteren Bändern der Sammlung auf. Ein Umspielen der Bänder auf neue Datenträger wird zunehmend wichtig und dringend.

Mit der Digitalisierung der Bänder soll diesem Problem entgegentreten werden. Seit Beginn des Jahres 2005 wird dieses Vorhaben von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Förderprogramms »Kulturelle Überlieferung« gefördert. Projektziele sind die Langzeitarchivierung der Sammlung sowie die Aufbereitung des Materials für die wissenschaftliche Nutzung. Das Projekt ist organisatorisch und fachlich in den Arbeitsbereich des MultiMediaZentrums der Universitätsbibliothek Regensburg eingebunden, das 2001 als eigener bibliothekarischer Servicebereich ins Leben gerufen wurde. Zur Durchführung stehen zwei professionelle Studiobandmaschinen, die heute fast antiquarisch anmuten, zur Verfügung **6**. Die Tonaufnahmen werden in den Computer eingespielt, ebenso werden die Beschriftung der Tonbandhüllen und eventuell beiliegendes Begleitmaterial gescannt und zusammen mit den Audiodateien gespeichert **7**. Zeitgleich zur Digitalisierung der Werbespots wird



The screenshot shows a Mozilla Firefox browser window with the URL <http://rzblx3.uni-regensburg.de/hwa/advanced.php>. The page title is "Werbespots finden und bestellen (BETA)". On the left, there's a sidebar with links like "Startseite", "MultiMediaZentrum" (with sub-links for Profil, Öffnungszeiten, etc.), and "Index A - Z Suche". The main content area has a form titled "Erweiterte Suche" with fields for Firma (Henkel), Marke (Persil), Beschreibung (Dem Liebsten das Beste), Produktgruppe (Waschmittel), Sprecher, Musiktitel (London-Suite), Komponist, and Bemerkung. Below these are dropdown menus for Sprache (dänisch, deutsch, englisch) and date ranges (von: 1950, bis: 1960). There's also a checked checkbox for "Nur Reinaufnahmen (gesendete Spots)". At the bottom are buttons for "Suchen", "Einfach", "Erweitert", "Experten", and "Hilfe". A note at the bottom says "Die Datenbank befindet sich noch in der Testphase. Bei Fehlern oder Anmerkungen bitten wir Sie, sich mit [Markus Glaser](#) in Verbindung zu setzen."

an der inhaltlichen und technischen Verbesserung der Erschließung der Aufnahmen gearbeitet. Eine Rechercheplattform im Internet soll es den Nutzern ermöglichen, über die HWA-Datenbank direkt auf die zugehörige Audiodatei und das gescannte Begleitmaterial zuzugreifen. Die Recherche nach Werbespots kann dabei auf zwei verschiedene Arten erfolgen. Zum einen können freie Suchbegriffe eingegeben werden, zum anderen steht ein Kategoriensystem zum Browsen per Mausklick zur Verfügung. So kann der Bestand beispielsweise nach den Kategorien »Marke«, »Jahr« und »Produktgruppe« durchblättert werden. Die Suchfunktion wurde aus Gründen einer optimalen Benutzbarkeit in drei Stufen aufgebaut, die auf unterschiedliche Expertise-Level der Nutzer abgestimmt sind (Einfache Suche, Erweiterte Suche, Expertensuche) 8. Die Datenbank ist bereits im Internet verfügbar (<http://rzblx3.uni-regensburg.de/hwa>). Der direkte Zugang zu den Tondokumenten hingegen ist derzeit noch nicht möglich, hierfür soll ein »Digital-Rights-Management-System« entwickelt werden, das den Zugriff über eine Registrierung und im Netz auszufüllende Nutzungsvereinbarungen kontrolliert.

Die Digitalisierung der HWA-Werbespots stellt den ersten Schritt dar, das Tonmaterial für nachfolgende Generationen zu erhalten. Die digitale Speichertechnik ermöglicht es, das Material in Zukunft ohne Informationsverlust von einer Generation digitaler Speichermedien zur nächsten zu übertragen.

Einsatz in Forschung und Lehre an der Universität Regensburg

Der Lehrstuhl für Deutsche Sprachwissenschaft (Prof. Dr. Greule) verfügt über den Forschungsschwerpunkt »Werbesprachforschung«, aus dem unter anderem regelmäßig Abschlussarbeiten zum Thema hervorgehen. Die Beliebtheit der Werbung als Gegenstand der Forschung eignet sich auch für den Einsatz in der Lehre hinsichtlich einer breiten

8

Die Rechercheoberfläche der HWA-Datenbank im Internet ermöglicht einen differenzierten Zugriff auf die Werbespots. Mehr als 50 000 Spots sind verzeichnet unter: <http://rzblx3.uni-regensburg.de/hwa>.

Palette sprachwissenschaftlicher Gebiete (beispielsweise Lexik, Phraseologie, Textgrammatik, Einsatz von Varietäten). So stellt das Hörfunkarchivmaterial eine große Bereicherung für das Profil des Lehrstuhls dar. Während für Anzeigen- und Fernsehwerbung bereits fundierte Forschungsergebnisse vorliegen, steht die wissenschaftliche Erforschung der Hörfunkwerbung noch am Anfang. Gründe sind die genannten erschwerten Zugangsbedingungen zu den Spots sowie der erhöhte Arbeitsaufwand, der der eigentlichen Analyse vorausgeht: Das flüchtige Werbemittel muss zunächst transkribiert werden; alle Darstellungsmittel (Sprache, Musik, Geräusche) sind dabei zu berücksichtigen. Grundlagenforschung ist im Bereich der Methodik zu leisten. Erste Analyseergebnisse erbrachte eine Lehrveranstaltung im Wintersemester 2004/05 mit dem Titel »Hörfunkwerbung im Wandel«. Dazu gehörten etwa die Untersuchung von Schokoladenwerbung verschiedener Marken aus den 60er Jahren, Studien zum Dialektgebrauch oder die Analyse der Hörfunkwerbung einer Marke über Jahrzehnte hinweg, die beispielsweise bei der in großem Umfang vorhandenen Werbung für Persil durchgeführt wurde. Dass Konstanz und Veränderung der Werbung als Teil der Firmengeschichte verstanden werden, ist erst in jüngerer Zeit bei Wirtschaftsunternehmen zu beobachten. Reizvoll ist es ferner, die Einbettung von Hörfunkspots in eine Kampagne mit Anzeigen- und Fernsehwerbung zu untersuchen. Eine übergreifende Fragestellung ist die nach dem jeweiligen gesellschaftlichen, kulturellen und wirtschaftlichen Zeitbezug. Hervorzuheben ist die häufig noch vorhandene metasprachliche Komponente, d. h., die Bänder enthalten zusätzlich Regieanweisungen, Kommentare von Sprechern, verkaufsstrategische Hinweise für Händler; sie schützen vor Fehldeutungen. Außerdem wurden zum Teil Probeaufnahmen aufbewahrt bzw. sind neben den gesendeten

Grüße von HB-Männchen, Pril-Ente und Hustinetten-Bär

„Hörfunkwerbung im Wandel“: Ein ziemlich verführerischer Abend



So schön und so weiß war's damals: „Einfacher waschen mit neuem Persil“ (1956).

VON THOMAS DIETZ, MZ

REGENSBURG. Erwartungsfroh und mit geradem Rücken saßen die Gäste im „Haus der Begegnung“, Hinter der Grieb. Das Thema dieses Abends war aber auch zu apart: Eine erfreulich ansehnliche Gruppe von sechs Germanistik-Studentinnen, -Studenten und Bibliotheksangestellten bestritt den Vortrag „Hörfunkwerbung im Wandel“, mit schönen Beispielen, versteht sich. Eingeladen hatte der „Ver ein Deutsche Sprache Regensburg Stadt und Land“ und seine tapfere Vorsitzende, Irene Liefländer.

Saubermachen: Henkelsachen!

Das Publikum wollte wohl gern in angenehmen Erinnerungen schwelgen, gereimte Slogans aus alten Zeiten hören: „Zum Saubermachen: Henkelsachen!“, hoffte auf ein nostalgisches Rendezvous mit dem HB-Männchen, der Africaine-Helene, der Pril-Ente und dem Hustinetten-Bär. Wer aber eine Werbe-Orgie à la „Rendezvous unterm Nierentisch“ erwartete,

te, wurde enttäuscht. Denn gerade mit dem, worüber sie am üppigsten verfügen, geizten die Studenten am meisten: Mit Hörrproben aus dem wohl einzigartigen Historischen Werbefunkarchiv (HWA) der Unibibliothek Regensburg. Die Studenten legten das Gewicht gnadenlos auf die Analyse ihres Gegenstandes, Kuriosa wurden hier keine vorgeführt.

Von „Persil 59“ zu „Persil 65“

100 000 Werbespots von 1948 bis in die Gegenwart sind vorhanden, sie werden derzeit mit einem alten Telefunken Magnetophon 15 abgespielt und digitalisiert. Später soll man per Datenbank Zugriff erhalten. Zu verdanken ist das Archiv der Sammelwut von Prof. Erwin H. Geldmacher, dem hoch geachteten „Vater des Markenartikels“. Die Germanistin Sandra Reimann konnte das Archiv aus einem Staubkeller des Bayerischen Rundfunks nach Regensburg retten. „Unser größtes Problem sind brüchige Tonbänder, starker Abrieb und Bandsalat“, berichtete die Bibliotheksangestellte Nike Gräfin von Harrach.

„Über den Wandel der Persil-Werbespots“ referierte sodann die Germanistikstudentin Carolyn Lang. 1956 wurde das 1907 patentierte, „erste selbsttätige Waschmittel der Welt“ noch mit „Dem Liebsten das Beste/ Der Wäsche Persil“ beworben und dazu erschallte eine deutlich an die Deutsche Wo-

chenschau erinnernde Fanfare. 1971 kam es flapsig-vertraulich aus dem Radio: „Mädchen, Mädchen, wie willst du dir denn ein Zusatz-Taschengeld verdienen, wenn du keine Zeitung liest. Da steht doch ganz genau drin: „Unser Bestes in der 4½-Kilo-Packung zum Sonderpreis“, sagte eine für das heutige Ohr unangenehm schnoddrige Männerstimme. Sowas gilt heute mit Recht als blöd und fraueneindlich. Heute hört man diese Melodie: „Wenn du nur das Allerbeste willst (dadam, da-da), wenn du zur Reinheit

Foto: WDR/dpa

auch die Pflege willst (dadam, da-da) – unser Bäs-täss von Persil!!“

Hochinteressant ist auch die unaufhörliche „Weiterentwicklung“ des Henkelschen Premiumproduktes: „Persil 59“ (erstes synthetisches Vollwaschmittel), „Persil 65“, 1970: Premiere der „Roten Schleife“, 1987: Persil flüssig, 1990: Persil Supra, 1991: Persil Color, 1994: Persil Megaperls, 1998: Persil Tabs, 1999: Persil Sensitiv, 2002: Persil Liquits. „Da weiß man, was hat. Guten Abend“ – diesen sympathischen, schwiegermutterfreundlichen Persilmann hat man abgeschafft, weil sich das Produkt heutzutage an alle, also „an keine eindeutige Zielgruppe mehr wendet“. In den 50er Jahren wurde nur „die Frau als Hüterin der Familie“ angesprochen.

Untergegangene Pril-Ente

Auch das unrühmliche Ende der „Pril-Ente“ wurde angeschnitten. Um dem Slogan „Pril entspannt das Wasser“ sichtbare Beweiskraft zu geben, ließ man vor der Kamera eine bedauernswerte Ente gluckernd und blasenstrampelnd im Prilwasser versinken, weil sich der Fettschutz ihres Federkleides auflöste. Das wurde in den 70er Jahren, als der Tierschutz vorwärts kam, ganz unmöglich.

Hörfunkwerbung ist bis heute ein Stielkind der Werbeindustrie geblieben. In großen Agenturen wird diese Arbeit von Assistenten gemacht – oder man lässt einfach den Ton der Fernsehwerbung laufen. Gern bedient man sich allerdings der Dialekte, am bekanntesten ist wohl Otti Fischer mit „Hiendl – mehr sog in net.“ Werbung mit dialekt sprechenden Prominenten steht für Glaubwürdigkeit und regionale Verwurzelung des Produktes. Vorbei sind allerdings die Zeiten, wo Schauspieler im Studio über ein Produkt improvisierten – das durften nur noch Michl Lang, Max Strecker und Luis Trenker.



Persil bleibt Persil: Nike Gräfin von Harrach, Carolyn Lang, Sandra Reimann, Fabian Geuß, Gabriele Gerber (v.l.). Nicht zu sehen: Matthias Hartmann (Ton und Technik). Foto: Dietz

Spots auch die – aus unterschiedlichen Gründen – ausgemusterten vorhanden; dies sind wichtige Informationen über die Entstehung der Werbemittel, die zu einem besseren Verständnis der Spots sowie angemessenen Interpretationen beitragen. Schließlich sollten sich Sprachwissenschaftler nicht davor scheuen, Werbung im Hinblick auf Medien- und Produktadäquatheit und mit Rücksicht auf die Entstehungszeit zu bewerten (z. B. jeweiliger technischer Stand und inhaltlich-strukturelle Gestaltungstrends) [9]. Erste Früchte der Analysen Studierender wurden exemplarisch in das in diesem Jahr erschienene Buch »Faszination Hörfunkwerbung – im Wandel. Das Historische Werbefunkarchiv der Universität Regensburg« aufgenommen.

Forschungsfragen ergeben sich aus dem Material für verschiedene Fächer wie Kultur-, Geschichts-, Musik-, Medien- und Wirtschaftswissenschaften sowie Psychologie. Letztlich bietet sich das Archiv geradezu dafür an, interdisziplinär zu arbeiten und die Kompetenzen der einzelnen Disziplinen zu nutzen und zu vereinen. Sprachwissenschaftler benötigen beispielsweise die Kultur- und die Geschichtswissenschaft, um diachrone Analysen fundiert in einen zeitgeschichtlichen Rahmen zu stellen. Die im Frühjahr 2006 an der Universität Regensburg durchgeführte Tagung »Werbung hören« lieferte erste Ergebnisse in der fächerübergreifenden Zusammenarbeit: Die Musikwissenschaft stellt eine Kriteriologie der Möglichkeiten des Musikeinsatzes in der Werbung bereit, die Wirtschaftswissenschaft kennt Ziele und Wirkungen von Hörfunkwerbung,

und die Psychologie erläutert, wie sich das Hören von Werbung im Gehirn auswirkt. Jedoch ist nicht nur interdisziplinäre wissenschaftliche Kooperation wichtig, sondern auch die Zusammenarbeit mit den Spezialisten aus der Praxis, zum Beispiel Werbetextern und Werbemusikkomponisten.

Mittlerweile gibt es auch erste Untersuchungen zu Gesamtwerbekampagnen: Die Hörfunkwerbung wurde im Zusammenspiel mit anderen Werbemitteln (Anzeigen, Plakate, TV-Werbung) untersucht. So weist Hörfunkwerbung wegen der fehlenden optischen Gestaltungsmöglichkeiten im Vergleich zu Print und TV am ehesten inhaltlich-formale Eigenständigkeit auf. Zeitspezifische frühere Auffälligkeiten sind demgegenüber eine geringe Anzahl von Bildern in Fernsehspots, ein tendenziell gemäßigtes Sprechtempo in beiden elektronischen Medien sowie eine übersichtliche Anordnung der Textbausteine und mehr Informativität in den Anzeigen.

Weitere Informationen zum Historischen Werbefunkarchiv (HWA) sind auf der Website des Multi-MediaZentrums der Universitätsbibliothek Regensburg zu finden (<http://www.bibliothek.uni-regensburg.de/mmz>).

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 72

M. A., M. A. (LIS)

Gabriele Gerber

geb. 1962 in Regensburg.

Studium der Anglistik und Romanistik an der Universität Regensburg und der Oxford Brookes University.

Postgraduales Aufbaustudium der Bibliotheks- und Informationswissenschaft an der Humboldt-Universität zu Berlin. 1990–2001 Leiterin einer naturwissenschaftlichen Forschungsbibliothek in München und Freising. Seit 2001 Mitarbeiterin im MultiMediaZentrum der Universitätsbibliothek Regensburg.

Dr. phil.

Sandra Reimann

geb. 1972 in Straubing.

Studium der Germanistik, Politik, Soziologie und Journalistik in Regensburg und Eichstätt. Seit 1992 Hörfunkjournalistin. Ab 2001 Wiss. Mitarbeiterin, seit 2006 Akad. Rätin am Lehrstuhl für Deutsche Sprachwissenschaft in Regensburg. 2006 Promotion mit einer Arbeit über »Mehrmedialität in der werblichen Kommunikation«. *Forschungsgebiete:*

Dt. Grammatik und Sprachgeschichte, Mediensprache, Namenpragmatik.

Anzeige

Kochen Sie gerne Ihr eigenes Süppchen?

Oder lieber mit Freunden?

Zu einem sehr guten Essen gehört das Gleiche wie zu einer sehr guten Lösung. Salopp gesagt: Exzellente Zutaten, exzellent zusammengestellt. In unserem Fall also hervorragende Leute in der richtigen Mischung. Genau das ist es, was wir bei Deloitte, einer der führenden Prüfungs- und Beratungsgesellschaften, so machen. Wir stellen für jeden unserer Kunden Teams auf, oft sogar aus allen Disziplinen, die voneinander profitieren. Es treffen sich also Wirtschaftsprüfer, Steuerexperten, Corporate Finance-Berater und Consultants. So ist ein Rundum-Blick über alle Bereiche garantiert und eine Lösung, die weitergedacht und wirklich auf dem Punkt ist. Für einen langfristigen Mehrwert. Dass das nicht nur unseren Kunden schmeckt, sondern auch den Mitarbeitern, versteht sich von alleine.

Wenn Sie mehr über uns und Ihre Karrieremöglichkeiten bei Deloitte wissen möchten, finden Sie die wichtigsten Infos auf unserer Website: www.deloitte.com/careers

Und wann kommen Sie auf den Punkt?

Deloitte.

Wirtschaftsprüfung • Steuerberatung • Consulting • Corporate Finance.



Are We Meeting the Needs of our Potential Entrepreneurs? Regional Differences in Entrepreneurship Education

Gründungsforschung

Since the late 1990s there has been a tremendous growth in formal teaching of entrepreneurship at research universities and universities of applied sciences (*Fachhochschulen*) throughout Germany. From a situation where there were no professors at all in this field, there are currently over 50 such positions created by a combination of state, federal and private funding. However, there has been very little research into how effectively these investments in higher education resources have been used and whether or not they are addressing the needs of students. In this paper, we empirically investigate several important issues related to the activities and perception of entrepreneurship education focusing on the demand side of entrepreneurship education.

The existence of entrepreneurship professors and the involvement of different regional actors fostering start-ups out of universities have been set up within the last decade. Education and training is now offered for students of different faculties. For an evaluation of education and training methods, the study focuses on students. The key research questions addressed are:

- ▶ Do attitudes of students towards self-employment differ between regions, or even between faculties?
- ▶ Do regional differences in education structures affect different needs and preferences concerning content?
- ▶ Which activities are perceived as most important?

First, we describe the status and best practice of university entrepreneurship education in Germany including which possible target groups to address. The target groups for entrepreneurship programs and training in Germany are not only those who intend to start up a business or who are already nascent entrepreneurs, but also include students who must enrol in such courses to fulfil academic requirements. Students could also be interested in the topic of entrepreneurship but plan to work at a larger company. Second, we outline the selected research areas and the research design of the study. Third, we present the results divided into three sections:

1. students' entrepreneurial orientation,
2. faculty perceptions of entrepreneurship, and
3. motivation to take courses, and course-related results. We end with a brief discussion and set of conclusions.

The Status of Entrepreneurship Education in Germany

At the end of the 1990s, there were more than 200 academic positions devoted to entrepreneurship and about 1400 courses offered in the USA. While entrepreneurship has developed rapidly as an academic field of research and teaching in the US since the first entrepreneurship activities at Harvard Business School in 1947, the situation in Germany is quite different. Initial sporadic entrepreneurship education was started at the University of Stuttgart and the University of Cologne in the mid '70s when courses for entrepreneurship were offered. The University of Dortmund created an Institute for Entrepreneurship and Organization Research (bifego) which began offering courses in the mid '80s, but it was unsuccessful in establishing a Chaired Professorship in Entrepreneurship.

However, this situation changed dramatically in the '90s with the creation of many chairs of entrepreneurship (*Gründungslehrstühle*), starting in 1998. In 2005, the »Förderkreis Gründungsforschung e.V.« (www.g-forum.de) recorded over 50 entrepreneurship professorships at both universities and universities of applied sciences (*Fachhochschulen*) in Germany, and a further nine positions which had not yet been filled.

Faculty provide several types of courses focusing on entrepreneurship, not only at chairs of entrepreneurship but also within other sub-fields of traditional business administration, such as innovation and technology management or marketing. In order to increase the visibility and quality of activities at universities, the German Federal Ministry of Education and Research established the EXIST program in 1998 with an investment of 50 million Euro for five German regions, to be spent by 2005. The program provided support for establishing cooperative relationships between regional actors and for stimulating entrepreneurship (www.exist.de).

Regional characteristics and supporting network structures of faculty and outside consultants may influence students' educational needs, and therefore specific regional conditions and structures must also be taken into account. In regard to regional characteristics, important variables are the size of the regional network and the number of partners involved. Different networks focus on actors involved in universities, such as academics, instructors, and those responsible for technology transfer, but also include actors outside universities, such as lawyers, organizers of business plan competitions, regional support offices, banks or regional private

equity funds, science parks or associations within the regional environment. An important determinant for an efficient network is the degree of regional collaboration between university actors and other actors. Financial support from the government may also influence and enhance the performance and establishment of regional entrepreneurship education and support. The research areas and research design of this empirical study will be described in the following.

The Empirical Study

The selected research areas have undergone distinctive paths of development in terms of entrepreneurship education and support and are represented as follows:

► The state-supported (EXIST) region *GET UP* in Thuringia was financially supported by the federal state until 2005; the highly organized network consisted at that time of the universities of Jena (University, and University of Applied Sciences), Ilmenau (Technical University), Schmalkalden (University of Applied Sciences), and Weimar (University) and had around 60 associated network members.

► Regensburg, located in East Bavaria, includes the University of Regensburg 1 and the Regensburg University of Applied Sciences, and can be characterized by several network actors, but has no coordinated network structure.

► Würzburg, located in North Bavaria, consists of the University of Würzburg and the University of Applied Sciences, and only has a few actors at the universities with sporadic offerings of entrepreneurship education.

Every region has a specific network structure and different numbers of network actors, meaning that different types of entrepreneurship courses are offered at the universities. Population and sample data are given in figure 2.

The data in this study were collected in surveys of two different groups focusing on the perceptions of entrepreneurship education and activities.

► The first survey was conducted with participants of entrepreneurship courses at the different universities in order to identify students' entrepreneurial intentions and motivations to take entrepreneurship courses.

► A second survey was conducted by means of oral interviews with students from the same universities where the first participant survey was held, and provides a representative random sample of the general student population of each university selected.

Results are expected to be different by group – while the participant group is already sensitized to the subject, the other group is less aware of the topic. Interviewers were advised seek interview partners from different locations all over the campus (e.g. libraries, cafeterias, etc.) to reach students from a variety of degree programs. Results by faculty could then be compared and differences detected.

The selected entrepreneurship courses were the only ones offered in the winter semester 2003/2004 at each university. The courses in Jena, Regensburg and Würzburg were located in the faculties of Economics and Business Administration, while



1
Entrepreneurship-Veranstaltung
an der Universität Regensburg.

the course in Weimar was offered by the Media Faculty. All students attending these entrepreneurship courses at their university participated in the survey (full survey), which took the form of a written questionnaire. The survey was conducted at the beginning of the course.

The smallest group of participants in the sample was the seminar held at the University of Würz-

Number of Students at Surveyed Universities			
Number of students enrolled	Sample size	Sample of total number	
Regensburg	17 216	1 775	(1 204) 10.3 %
Würzburg	18 219	1 705	(1 289) 9.4 %
Weimar	4 637	407	(389) 8.8 %
Jena	19 231	948	(807) 5.0 %

Numbers in parentheses indicate sample size without teacher candidates.

2
Anzahl und Anteile der Befragten aus verschiedenen Fächern (in Klammern: Anzahl ohne Lehramtskandidaten) im Vergleich zur Gesamtzahl der Studierenden an den Universitäten Regensburg, Würzburg, Weimar und Jena.

Number of Participants at Surveyed Courses	
Number of participants	Course form
Würzburg	15 Seminar
Weimar	34 Seminar
Regensburg	87 Lecture with seminar
Jena	43 Seminar
total	179

3
Zahl der befragten Kursteilnehmer des Faches Entrepreneurship an der jeweiligen Universität.

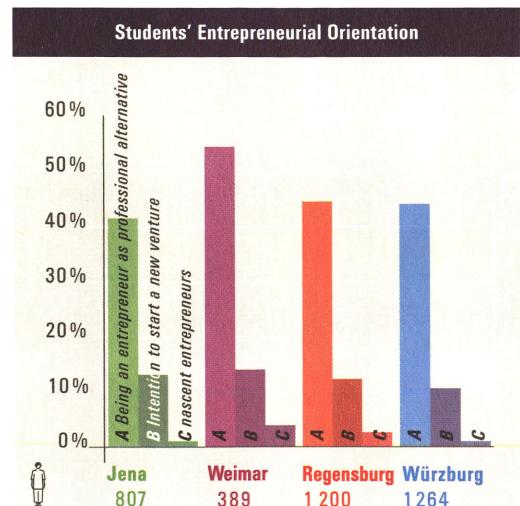
burg, where 15 students responded 3. In Weimar, 34 students were surveyed, with students coming from Media (24 out of 34) and Architecture (8). A total of 43 questionnaires were collected in Jena and the largest group of 87 participating students was from Regensburg. This set of courses covered a total of 179 students.

Results: Students' Entrepreneurial Attitudes

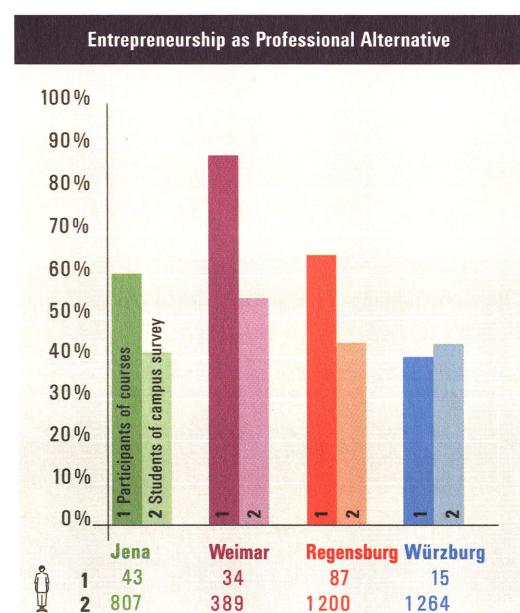
Due to the above-mentioned differences in career objectives, there may be a wide range of target groups at different stages of the entrepreneurial process. A differentiation can be made between those who considered entrepreneurship as a professional alternative to those who already intend to start

4

- Gründungsorientierung der Studierenden im regionalen Vergleich.
Identifizierung der Befragten (ohne Lehramtskandidaten) in Prozent als:
A potenzielle Gründer
B potenzielle Gründer mit konkreter Gründungsabsicht
C werdende Gründer

**5**

- Anteile der potenziellen Gründer im Vergleich.
1 Kursteilnehmer
2 Studierende aller Fächer (ohne Lehramtskandidaten)

**6**

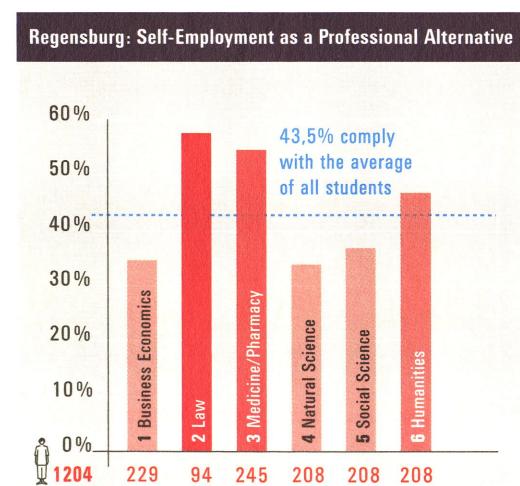
- Selbständigkeit als berufliche Alternative für Studierende verschiedener Fächer (ohne Lehramtskandidaten) an der Universität Regensburg.

a new venture, and those who are already entrepreneurs or are about to embark on this activity (nascent entrepreneurs). The results of this study of students' attitudes towards self-employment show clear differences between regions as well as between participants in courses and campus students as shown in figures 4 and 5.

7

- Selbständigkeit als berufliche Alternative für Studierende verschiedener Fächer (ohne Lehramtskandidaten) an der Universität Jena.

- 1 Wirtschaftswissenschaften
- 2 Rechtswissenschaften
- 3 Medizin/Pharmazie
- 4 Naturwissenschaften
- 5 Sozialwissenschaften
- 6 Geisteswissenschaften
- 7 sonstige



In regard to regional differences, Weimar stands out with its high rates for every group and is significantly different from the other universities. Bauhaus University Weimar emphasizes arts and technology, and produces quite a low rate of people studying to be teachers (4% of sample). Therefore, it stands to reason that students of highly knowledge-intensive and technology-intensive subjects with an added creative bias may show a higher disposition toward entrepreneurship than at traditional universities. The occupational focus of Weimar's degree programs (e.g. architecture, design, etc.) is also more related to professional self-employment than others.

In contrast to Weimar, it is also remarkable that the rates of students' entrepreneurial orientation at 'traditional' universities are quite similar and do not differ greatly between regions. In terms of participants in Würzburg, a direct comparison with other regions is difficult because of the small sample size (rates in parentheses in the figures above).

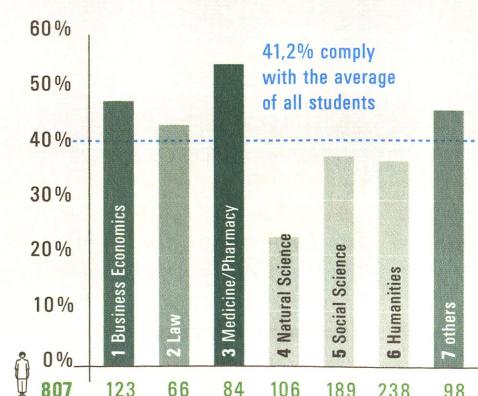
Differences between participants and campus students concerning the consideration of entrepreneurship as a professional alternative can be explained by the fact that participants have already dealt with the topic. Concerning ideas already generated or the intention to set up a business, the rates of campus students in Jena and Regensburg are lower than those of participants in entrepreneurship courses.

Differences in Attitudes According to Faculty

A university in Bavaria and one in Thuringia with comparable faculty structures, the Universities of Regensburg and Jena, were selected for a more detailed analysis per faculty of rates of students considering self-employment as a professional alternative.

The results showed both differences and similarities (figures 5 and 6). The high rates of students from the faculties of Medicine and Pharmacy considering self-employment as a professional alternative and the low rates within the Natural Science Faculty were similar for both universities. Not surprisingly for the Medicine and Pharmacy faculties, students expected to be self-employed as physicians or pharmacists.

Jena: Self-Employment as a Professional Alternative



Students of natural sciences from both universities were significantly below-average with regard to considering entrepreneurial careers (34% at Regensburg, 24 % at Jena). The findings in regard to students of natural sciences can be seen as a result of unequally intensive activities of professors depending on the faculty. According to other studies, the rate of professors in law and economics who have engaged in entrepreneurial activities (such as consultants, associates, CEOs, on supervisory or advisory boards) is 59%. In the natural sciences, not even a third of the professors (30.2 %) have been involved in such activities. The same applies for law students in Thuringia, where rates were only slightly above-average, while numbers in Regensburg showed clear above-average rates and obvious expectations of becoming self-employed lawyers after graduating.

Due to the fact that entrepreneurship education and activities occur mainly in the Faculty of Economics and Business, results were surprisingly low in Regensburg, while the rate for students in Jena who would prefer entrepreneurship as a professional alternative was above-average. These differences may lie in different activities and support structures of entrepreneurship education. These activities in Jena are highly organized and supported by the EXIST initiative, resulting in a high rate of students of business and economics considering an entrepreneurial career. Also, while faculties in Jena are located both on campus and dispersed throughout the city, the Faculty of Business and Economics in Regensburg is located directly on campus, where there is the most activity concerning promotion and local advertising with flyers, brochures, and contacts, etc.

Motivation to Take Courses

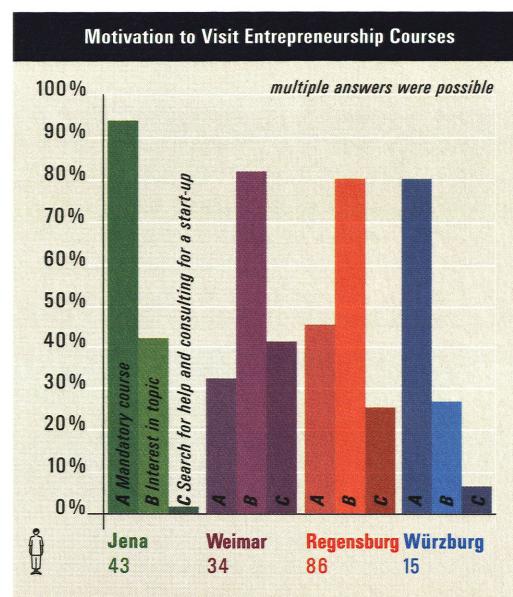
Figure 7 shows students' motivation to take the courses surveyed. One possible motivation was the fact that courses were mandatory as part of the curriculum. The second item was interest in the topic and the third motivation was for help and consulting for the student's own entrepreneurial activities. The results suggested extreme differences between the courses. While 93% of Jena's students chose entrepreneurship courses because they were part of the curriculum or even mandatory, only 32 % in Weimar attended the course because it was mandatory. Almost none of Jena's students were looking for support (2%), compared to 41 % of Weimar's students.

Weimar's exceptional position, with its emphasis on arts and technology and a high rate of nascent entrepreneurs, obviously shows a high need of entrepreneurship support in order to foster creative and knowledge-intensive ideas. A high rate of students in Würzburg whose intentions to attend a course were swayed by the mandatory nature of the course correlates with the fact that the number of people considering entrepreneurship as a professional alternative was very low.

Contents of Courses

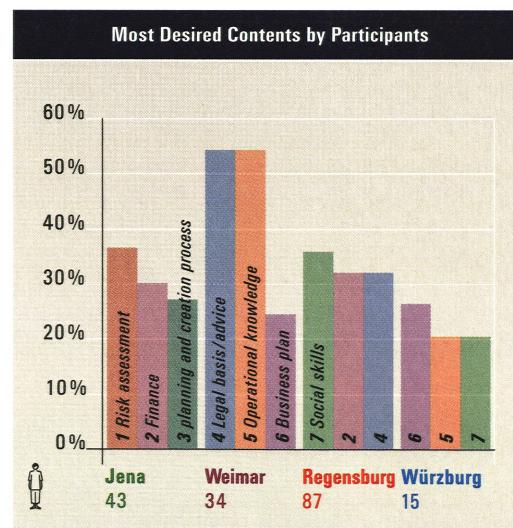
Course participants were asked about the content they would like to see in entrepreneurship courses.

The contents surveyed included all possible types, as listed in figure 8. First, regional differences can be seen according to the location of courses. While courses held in Jena, Regensburg and Würzburg are located in the Business Administration Faculty, the one in Weimar is offered by the Media Faculty. A differentiation according to university is also shown. While the need of course participants in Business Administration to learn about law or ope-



8
Motivation für den Besuch der Lehrveranstaltung im Fach *Entrepreneurship*. Mehrfachnennungen waren möglich.

- A Erbringung von Studienleistungen
- B allgemeines Interesse an der Thematik
- C erhoffte konkrete Hilfe und Anleitung für eigenes Gründungsprojekt



9
Meistgewünschte Inhalte in Lehrveranstaltungen.

- 1 Risikobewertung
- 2 Finanzierung
- 3 Planungs- und Gründungsprozess
- 4 Rechtsgrundlagen, -beratung
- 5 betriebswirtschaftliche Kenntnisse
- 6 Business-Plan
- 7 Soft Skills

rational knowledge such as tax, marketing, etc. is quite low, more than half of the Weimar participants wished to learn more about the two topics operational knowledge and professional skills. A significant impact for Weimar's participants is the fact that the University of Weimar does not have a business faculty. In contrast, the need for the Weimar participants to qualify for social skills is comparatively low, which might also be due to the fact that Weimar's university is very small. The university environment might be more personal, where it is easier to establish contact with the right people in the network, and communication is less complicated.

The rather low response rate in Würzburg is also a result of the very low rates of entrepreneurial

motivation: most of the students participate because the courses are a mandatory part of the curriculum. The very few responses (there is no mention of risk assessment, attendance during entrepreneurial activity or personal motivation) are a sign of lack of awareness and a lack of interest with the subject of entrepreneurship.

Conclusions

Our study has shown that entrepreneurship education and activities may attract very different target groups with different intentions and orientations which differ by faculty, by motivation, or by career objective. Surprisingly, even if regional differences do exist, they cannot be attributed to the network structure of the region concerned. The Thuringia region was at the time of surveys conducted financially supported by the federal government and had a highly developed network structure. Nonetheless, the two universities in the region, Jena and Weimar, showed very different results concerning students' orientations. Findings from Jena were more similar to the results from Regensburg, with a loose network of actors without any coordination or specified responsibilities, than to those from Weimar, although Weimar and Jena belong to the same network. These results suggested that students' entrepreneurial orientation and intentions depend less on regional entrepreneurship organization structures. At best, such tendencies can be seen at smaller universities like Bauhaus University Weimar, where such activities may make an impact.

Students' orientation and intentions might be considerably affected by the faculty where courses are located, and also by the size of the university. Different study programs show different levels of entrepreneurial orientation. In Weimar, as an arts

and technology focused university, our findings documented a higher willingness by students of knowledge-intensive and technology-based subjects to learn about. In contrast, within the Natural Science Faculty, results showed a very low interest in entrepreneurship as a professional alternative. In conclusion, provided that students from disciplines other than business are aware of the topic and decide to participate in a course in order to deal with the subject, they have a greater intention to become entrepreneurs than business students.

It is not only intentions which are affected by different faculties and individual university structures but also needs and preferences concerning content. While participants from a university without a Business faculty (Weimar) show a notable demand for operational and legal basic knowledge, others ask for more social skills (Regensburg course participants) or risk assessment (Jena course participants). Additionally, especially for courses with a low rate of (nascent) entrepreneurs, participants are obviously not in a position to be able to evaluate contents necessary for setting up a new business.

Entrepreneurship should not only be an ordinary part of the educational program of Business or Economics students, but should also address target groups outside the Business Faculty. Curricula should not simply focus on the creation of entrepreneurs. Results confirm that (nascent) entrepreneurs only form a small percentage in courses, and instructors need to know their target groups before designing entrepreneurship programs or courses. Knowing this, a faculty can design programs and individual courses that are better suited to the educational needs of students from all faculties.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 72

<p>Dr. phil. Kerstin Wagner geb. 1977 in Bad Kissingen. Studium der Geographie in Regensburg; 2002–2005 Wiss. Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie der Universität Regensburg. 2005 Promotion an der Universität Regensburg, 2005–2006 Wiss. Referentin am Institut für Wirtschaftsforschung Halle. Seit 2006 Forscherin und Beraterin an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Chur, Schweiz. Forschungsgebiete: Entrepreneurship, Entrepreneurship Education, Regionalökonomie.</p>	<p>Dr. rer. pol. Frank Bau geb. 1970 in Köln. 1993 Studium der Wirtschaftswissenschaften an der Universität Regensburg und der Università degli Studi di Pavia, 2003 Promotion an der Universität Regensburg. 1999–2005 Wiss. Mitarbeiter am Lehrstuhl für Innovations- und Technologiemanagement der Universität Regensburg, seit 2005 Personalreferent, E.ON Bayern AG, Regensburg. Forschungsgebiete: Entrepreneurship, Entrepreneurship Education, Human Resource Management.</p>	<p>Prof. Dr. phil. Michael Dowling geb. 1958 in New York. Studium der Chemie an der University of Texas at Austin und von Public Policy and Management an der Harvard University, 1988 Promotion an der University of Texas at Austin, 1988–1996 Assistant und Associate Professor an der University of Georgia, USA, seit 1996 Lehrstuhl für Innovations- und Technologiemanagement an der Universität Regensburg. Forschungsgebiete: Strategisches Management, Innovations- und Technologie-management, Entrepreneurship und Internationales Management.</p>	<p>Prof. Dr. phil. Jürgen Schmude geb. 1955 in Dortmund. Studium der Fächer Geographie, Mathematik und Soziologie an der Universität Heidelberg, 1987 Promotion, 1993 Habilitation an der Universität Heidelberg, 1994–1998 Professor am Institut für Wirtschaftsgeographie der Ludwig-Maximilians-Universität München, seit 1998 Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie an der Universität Regensburg und seit April 2005 Prorektor. Forschungsgebiete: Tourismuswirtschaft, Gründungsforschung; regionale Schwerpunkte Deutschland und Frankreich (inkl. Überseegebiete).</p>
--	--	---	---



Auch Ihre Finanzen können Karriere machen.

Unsere individuellen Finanzlösungen für Naturwissenschaftler.

Wir entwickeln als unabhängiger Makler Finanzlösungen speziell für anspruchsvolle Naturwissenschaftler. Das Besondere an diesen Lösungen ist, dass sie die einzelnen Bausteine aus den Bereichen Vorsorge, Vermögens- und Risikomanagement individuell miteinander verknüpfen. MLP bietet Ihnen damit integrierte Bank- und Versicherungsdienstleistungen, die perfekt zu Ihren Bedürfnissen und Zielen passen. **Rufen Sie uns an.**

MLP Finanzdienstleistungen AG
Geschäftsstelle Regensburg II
Maximilianstraße 29, 93047 Regensburg
Tel 0941 • 59572 • 0
Fax 0941 • 59572 • 10
regensburg2@mlp.de
www.mlp.de

 **MLP**

Sie verdienen das Beste.

Private Finance

Erklärung

Ich möchte Mitglied werden
beim Verein „Freunde der
Universität Regensburg e. V.“
und erkläre mich bereit, einen
Jahresbeitrag

von € zu entrichten.

(Der Jahresbeitrag für natürliche
Personen beträgt mindesten
€ 41,-, für sonstige Mitglieder
mindestens € 205,-)

Ich ermächtige den Verein,
den Beitrag

von meinem Konto

.....

bei der

.....

einzuziehen.

Als Stifter spende ich einen
einmaligen Betrag von

€

.....
Vor- und Zuname/Firma/
Gemeinde

.....
Straße/Ort

.....
Berufsbezeichnung bei
Einzelpersonen

.....
Datum

.....
Unterschrift



freunde der universität regensburg

Wer wir sind

„freunde der Universität Regensburg e. V.“ feierte 1998 sein 50jähriges Bestehen. Seine Mitglieder sind Wissenschaftler, Wirtschaftler, Politiker, engagierte Männer und Frauen aus Regensburg und dem Landkreis sowie Körperschaften, Anstalten und Stiftungen des öffentlichen Rechts.

Was wir wollen

Der Verein will die Universität Regensburg dort unterstützen, wo andere amtliche Quellen versiegen. Er will die Verbindung zwischen der Universität und den Menschen der Region festigen, will Kommunikations- und Veranstaltungszentrum sein, sensibel für alle offenen und verborgenen Strömungen, die Auswirkungen auf unsere Alma mater ratibonensis haben könnten.

Machen Sie mit?

Je zahlreicher unsere Freunde und Förderer sind, desto größer ist das Gewicht, mit dem wir für unsere Universität eintreten können. Jedes neue Mitglied stärkt unsere Position. Als Mitglied erhalten Sie das Wissenschaftsmagazin „Blick in die Wissenschaft“, die „Regensburger Universitätszeitung“ und Einladungen zu allen Großveranstaltungen der Universität wie dies academicus, Universitätskonzerte, Sommerfest und Winterball.

Oder helfen Sie mit einer Spende oder einer finanziellen Patenschaft. Gerne senden wir Ihnen Informationen zu.

Phosphorchemie

Prof. Dr. rer. nat.
Arno Pfitzner

► Seite 4

Humanismusforschung

Prof. Dr. phil. Dr. theol.
Ulrich G. Leinsle

► Seite 20

Wissenschaftsgeschichte

Prof. Dr. rer. nat.
Christoph Meinel

► Seite 10

Literatur zum Thema

Herbert Thurn, Heinz Krebs,
Über Struktur und Eigen-
schaften der Halbmetalle.
XXII. Die Kristallstruktur des
Hittorf'schen Phosphors, *Acta
Crystallographica Section B:
Structural Science* **25** (1969).
S. 125–135.

Arno Pfitzner,
Eva Freudenthaler,
 $(\text{CuI}_3\text{P}_{12})$: Ein Feststoff mit
einer neuen, theoretisch vorher-
gesagten Form des Phosphors,
Angewandte Chemie
107 (1995). S. 1784–1786;
 $(\text{CuI}_3\text{P}_{12})$: A Solid Containing a
New Polymer of Phosphorus
Predicted by Theory, *Angewandte Chemie International
Edition in English* **34** (1995).
S. 1647–1649.

Arno Pfitzner, Michael Franz
Bräu, Josef Zweck, Gunther
Brunklaus, Hellmut Eckert,
Phosphorus nanorods – two
novel allotropic modifications
of a long known element,
Angewandte Chemie
116 (2004). S. 4324–4327;
Angewandte Chemie International Edition **43** (2004).
S. 4228–4231.

Michael Ruck, Diana Hoppe,
Bernhard Wahl, Paul Simon,
Yoekui Wang, Gotthard Seifert,
Faserförmiger roter Phosphor,
Angewandte Chemie
117 (2005). S. 7788–7792;
Fibrous Red Phosphorus,
Angewandte Chemie International Edition **44** (2005).
S. 7616–7619.

Arno Pfitzner,
Phosphor bleibt spannend!,
Angewandte Chemie
118 (2006). S. 714–715;
Phosphorus remains exciting!,
Angewandte Chemie International Edition **45** (2006).
S. 699–700.

Bildnachweis

1 3 4 5 6 9 10

Autor.

2

Wright of Derby
[Ausstellungskatalog],
bearb. von Judy Egerton.
London: The Tate Gallery,
1990.

7

Prof. Dr. Josef Zweck,
NWF II, Physik,
Universität Regensburg.

8
Prof. Dr. Hellmut Eckert,
Lehrstuhl für Physikalische
Chemie,
Universität Münster.

Literatur zum Thema

Christoph Meinel,
»Molecules and Croquet Balls«,
in: *Models: The Third Dimension in Science*,
hrsg. von Soraya de Chadrevian
und Nick Hopwood.
Stanford: Stanford University
Press, 2004, S. 242–275.

Ursula Klein,
Experiments, Models, Paper
Tools: *Cultures of Organic
Chemistry in the Nineteenth
Century*.

Stanford: Stanford University
Press, 2003.

Peter J. Ramberg,
Chemical Structure, Spatial
Arrangement: The Early History
of Stereochemistry, 1874–1914.
Aldershot: Ashgate, 2003.

Joachim Schummer (Hg.),
Models in Chemistry.
*Hyle: International Journal for
Philosophy of Chemistry*,
Special Issues **5** (1999),
S. 77–160; **6** (2000), S. 1–173.

Bildnachweis**4**

Gerard L'E. Turner (Hg.),
*Gli Strumenti, Storia delle
Scienze*, Bd. 1.
Turin: Einaudi, 1991, S. 295.

11

Norman Brosterman,
Inventing Kindergarten.
New York: Abrams, 1997,
S. 84.

Literatur zum Thema

Barbara Bauer,
Jacob Pontanus SJ, ein ober-
deutscher Lipsius. Ein Augs-
burger Schulmann zwischen
italienischer Renaissance-
gelehrsamkeit und jesuitischer
Dichtungstradition.
*Zeitschrift für bayerische
Landesgeschichte* **47** (1984),
S. 77–120.

Barbara Bauer,
Jesuitische *ars rhetorica* im
Zeitalter der Glaubenskämpfe
(*Mikrokosmos* **18**),
Frankfurt u.a.: Lang, 1986.

Fidel Rädle (Hrsg.),
Lateinische Ordensdramen
des XVI. Jahrhunderts mit
deutschen Übersetzungen
(Ausgaben deutscher Literatur
des XV. bis XVIII. Jahrhunderts,
Reihe Drama VI),
Berlin – New York: de Gruyter,
1979.

Ulrich G. Leinsle,
Werke Jakob Pontanus'
in der Handschrift Studien-
bibliothek Dillingen XV 399.
*Jahrbuch des Historischen
Vereins Dillingen an der Donau*
106 (2005), S. 87–146.

Ulrich G. Leinsle,
Dichtungen Jakob Pontanus'
in der Handschrift Studien-
bibliothek Dillingen XV 399.
*Jahrbuch des Historischen
Vereins Dillingen an der Donau*
107 (2006) (im Druck).

Ulrich G. Leinsle,
Dilinganae Disputationes.
Der Lehrinhalt der gedruckten
Disputationen an der Philo-
sophischen Fakultät der Uni-
versität Dillingen 1555–1648
(*Jesuitica 11*).
Regensburg: Schnell & Steiner
2006.

Bildnachweis**1**

Oscar Freiherr Lochner von
Hüttenbach,
Die Jesuitenkirche zu Dillingen,
ihre Geschichte und Bedeutung
mit besonderer Berücksichtigung
des Meisters ihrer Fresken
Christoph Thomas Scheffler
(1700–1756).
Stuttgart: Neff 1895, S. 22.

2

Herzog-August-Bibliothek
Wolfenbüttel Portr. I 010514
(A 16791, Pontanus).

3 5 8 10

Universitätsbibliothek
Regensburg.

4 6 7 9 11
Autor.

BlickpunktProf. Dr. rer. nat.
Uwe Jannsen**Literatur zum Thema**

Richard Feynman,
The Feynman Lectures on
Physics,
Addison-Wesley-Verlag 1966.

Peter Reimann,
Brownian Motors:
Noisy transport far from
equilibrium,
Physics Reports **361** (2002),
S. 57–265.

Heiner Linke (Hrsg.),
Ratchets and Brownian motors:
Basics, experiments and
applications, Sammelband
Applied Physics A **75** (2002).

Peter Reimann,
Milena Grifoni, Peter Hänggi,
Quantum ratchets,
Physical Review Letters
79 (1997), S. 10–13.

Heiner Linke,
Experimental tunnelling
ratchets,
Science **286** (1999),
S. 2314–2317.

Johannes B. Majer,
Joël Peguiron, Milena Grifoni,
Mark Tiesveld, Hans Mooij,
Quantum ratchet effect for
vortices,
Physical Review Letters
90 (2003), S. 056802–05.

Joël Peguiron, Milena Grifoni,
Quantum Brownian motion
in a ratchet potential, duality
and its consequences,
Chemical Physics **322** (2006),
S. 169–186.

Bildnachweis**1 2 3 4**

Autorin.

5Heiner Linke,
University of Oregon.**6**Johannes B. Majer,
University of Yale.**1 2 3 4 6 8**

Infografik:
Stephan Riedlberger
für Irmgard Voigt Grafik-Design,
München.

Literatur zum Thema

<http://www.uni-regensburg.de/Fakultaeten/nat_Fak_I/sonstiges/sammlung.htm>

Eva-Maria Strobel,
Die Modelle der Universität
Regensburg. Jürgen Neukirch
als Handwerker.

Mitteilungen der Deutschen
Mathematiker-Vereinigung
4 1997, S. 8–14.

1 3 4 5 6 7 9
© Prof. Dr. Jürgen Neukirch t.,
Lehrstuhl für Mathematik V,
Universität Regensburg.
Fotografie:
Eva-Maria Strobel,
Ludwigsgymnasium Straubing.

2
PD Dr. Ulrich Schwarz,
NWF II, Physik,
Universität Regensburg.

3
Dr. Rudolf F. Dietze,
Pressestelle,
Universität Regensburg.

Bildnachweis

<http://www.uni-regensburg.de/Fakultaeten/nat_Fak_I/sonstiges/sammlung.htm>

Eva-Maria Strobel,
Die Modelle der Universität
Regensburg. Jürgen Neukirch
als Handwerker.

Mitteilungen der Deutschen
Mathematiker-Vereinigung
4 1997, S. 8–14.

2
PD Dr. Ulrich Schwarz,
NWF II, Physik,
Universität Regensburg.

3
Dr. Rudolf F. Dietze,
Pressestelle,
Universität Regensburg.

Erfolgreich studiert ... gefeiert ... und dann?



- * Wir halten den Kontakt **untereinander** aufrecht
- * Wir fördern **hervorragende** Studenten
- * Wir informieren **zukünftige** Studenten

**Werden Sie Mitglied
und helfen sie mit, Ihre
Universität Regensburg
dabei zu unterstützen.**

ESdUR Ehemalige Studierende der Universität Regensburg e.V.

Information: <http://www-alumni.uni-regensburg.de> Kontakt: Reinhard.Wirth@biologie.uni-regensburg.de

Biologische Energiewandlung

► Seite 40

Prof. Dr. phil.
Günter Hauska
Dr. rer. nat.
Michael Schütz

PD. Dr. rer. nat.
Iris Maldener

Wissenspoetologie

► Seite 48

Prof. Dr. phil.
Jürgen Daiber

Literatur zum Thema

David Stroebel, Ives Choquet,
Jean-Luc Popot, Daniel Picot,
An atypical haem in the
cytochrome b6f complex,
Nature **426** (2003),
S. 413–418.

Genji Kurisu, Huamin Zhang,
Janet L. Smith, William A.
Cramer,
Structure of the cytochrome
b6f complex of oxygenic photo-
synthesis: Tuning the cavity,
Science **302** (2003),
S. 1009–1014.

Günter Hauska, Thomas Schödl,
Cytochrome b6f complex,
in: *Encyclopedia of Biological
Chemistry*, Bd. 1.
Amsterdam, New York: Elsevier,
(2004), S. 521–527.

Michael Schütz et al.,
Early evolution of cytochrome
bc complexes, *Journal of
Molecular Biology* **300** (2000),
S. 663–675.

Bildnachweis

1 3 4 6 7 a
Günter Hauska
2
nach E. Rabinowitch, 1948.

7 b 7 c 8
Eduard Hurt,
Dissertation Regensburg 1983.
9
Nils Enkler, André Fischer,
Günter Hauska,
nach Kurisu et al. (2003).

1 3 4 6
Infografik:
Stephan Riedlberger
für Irmgard Voigt Grafik-Design,
München.

Literatur zum Thema

Jürgen Daiber,
»Nichts Drittes ... in der
Natur?«, Kleists Dichtung im
Spiegel romantischer Selbst-
experimentation.
Kleist Jahrbuch 2005,
S. 45–67.

Jürgen Daiber,
Experimentalphysik des Geistes.
Novalis und das romantische
Experiment.
Göttingen: Vandenhoeck &
Ruprecht, 2001.

Marcus Krause, Nicolas Pethes
(Hrsg.),
Literarische Experimental-
kulturen. Poetologien des
Experiments im 19. Jahrhun-
dert.
Würzburg: Königshausen &
Neumann, 2005.
Klaus Müller-Salget,
Heinrich von Kleist.
Stuttgart: Reclam, 2002.

Nicholas Saul:
Die deutsche literarische
Romantik und die Wissen-
schaften.
München: Iudicium, 1991.

Bildnachweis

1 7
Heinrich von Kleist 1777–1811.
Leben – Werk – Wirkung.
Blickpunkte. Ausstellung im
Kleist-Museum.
Frankfurt/Oder 2000.

2
Der Physiker des Romantiker-
kreises Johann Wilhelm Ritter
in seinen Briefen an den
Verleger Carl Friedrich Ernst
Frommann. Hg. und mit
Kommentaren versehen von
Klaus Richter.
Weimar: Böhlau, 1988.

3 6
Marcello Pera:
The Ambiguous Frog. The
Galvani-Volta Controversy
on Animal Electricity. Übersetzt
von Jonathan Mandelbaum.
Princeton, New Jersey:
Princeton Univ. Press 1992.

4
Giuliano Pancaldi:
*Volta. Science and Culture
in the Age of Enlightenment*.
Princeton u.a.: Princeton Univ.
Press 2003.

5
Florian Roder:
*Novalis. Die Verwandlung des
Menschen. Leben und Werk*
Friedrich von Hardenbergs.
Stuttgart: Urachhaus, 1992.

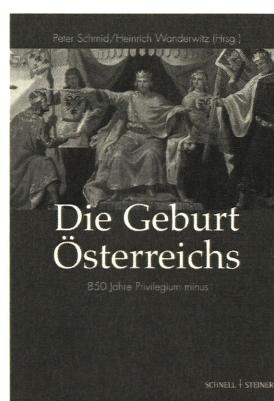
8
Heinrich von Kleist.
Sämtliche Werke. Branden-
burger Ausgabe. Hrsg. von
Roland Reuß und Peter
Staengle. Band IV/1: Briefe I.
Basel u.a.: Stroemfeld/Roter
Stern, 1996.

SCHNELL + STEINER

Neuerscheinungen Herbst 2006



Peter Philipp Riedl (Hrsg.)
Schiller neu denken
Beiträge zur Literatur-, Kultur- und Kunstgeschichte
Reihe: Regensburger Kulturleben, Band 3
1. Aufl. 2006, 176 S., 43 s/w-Abb., 17 x 24 cm,
Ln mit SU, fadengeheftet
ISBN 3-7954-1834-8
€ 19,90 [D] / SFr 34,90



Peter Schmid/Heinrich Wanderwitz (Hrsg.)
Die Geburt Österreichs
850 Jahre Privilegium minus
Reihe: Regensburger Kulturleben, Band 4
1. Aufl. 2006, ca. 352 S., zahlr. meist farb. Abb.,
17 x 24 cm, Ln mit SU, fadengeheftet
ISBN 3-7954-1911-5
€ 29,90 [D] / SFr 52,20



Peter Schmid (Hrsg.)
Regensburg im Spätmittelalter
Bestandsaufnahme und Impulse
Reihe: Forum Mittelalter – Studien, Band 2
1. Aufl. 2006, ca. 208 S., zahlr. s/w-Abb., 17 x 24 cm,
Softcover, fadengeheftet
ISBN 3-7954-1896-8
€ 24,90 [D] / SFr 43,70

M.A., M.A. (LIS)

Gabriele Gerber

Dr. phil.

Sandra Reimann**Literatur zum Thema**

Friedrich Geißelmann,
Bedeutung des Historischen
Werbefunkarchivs aus Sicht der
Universitätsbibliothek.
In: Faszination Hörfunk-
werbung – im Wandel. Das
Historische Werbefunkarchiv
der Universität Regensburg,
hg. von S. Reimann.
Regensburg: edition vulpes,
2006, S. 33–37.

Gabriele Gerber,
Das Historische Werbefunk-
archiv – Ein Digitalisierungs-
projekt der Universitäts-
bibliothek Regensburg.
Berlin: Institut für Bibliotheks-
und Informationswissenschaft
der Humboldt-Universität zu
Berlin, 2006. (Berliner Hand-
reichungen zur Bibliotheks- und
Informationswissenschaft 185).
<http://www.ib.hu-berlin.de/~kumlau/handreichungen/h185/>

Markus Glaser,
Recherche im Historischen
Werbefunkarchiv.
In: Faszination Hörfunk-
werbung – im Wandel. Das
Historische Werbefunkarchiv
der Universität Regensburg,
hg. von S. Reimann.
Regensburg: edition vulpes,
2006, S. 45–51.

Sandra Reimann,
Mehrmedialität in der werb-
lichen Kommunikation.
Synchrone und diachrone
Untersuchungen von Werbe-
strategien.
Tübingen: narr-Verlag, 2007
(im Druck).

Bildnachweis

- 1** **2**
Henkel KGaA,
Düsseldorf.
- 3**
Nike Gräfin von Harrach,
Mainz.
- 4**
Dieter Nübler, Fotograf,
Mittelbayerische Zeitung,
Regensburg.
- 5**
Dr. Rudolf F. Dietze,
Pressestelle,
Universität Regensburg.
- 6** **7**
Gabriele Gerber.
- 8**
<<http://rzblx3.uni-regensburg.de/hwa>>
- 9**
Mittelbayerische Zeitung,
Regensburg, 15. Juni 2005.

Dr. phil.

Kerstin Wagner

Dr. rer. pol.

Frank Bau

Prof. Dr. phil.

Michael Dowling

Prof. Dr. phil.

Jürgen Schmude**Literatur zum Thema**

Kerstin Wagner,
Gründungsausbildung in
Netzwerken. Eine komparative
Analyse in deutschen Hoch-
schulregionen,
Deutscher Universitäts-Verlag,
Wiesbaden, 2006.

Donald Kuratko,
The Emergence of Entrepreneurship Education: Development, Trends, Challenges,
in: *Entrepreneurship Theory and Practice* 28 (2006),
S. 577–598.

Nicole E. Peterman, Jessica
Kennedy,
Enterprise Education:
Influencing Students' Perceptions of Entrepreneurship,
in: *Entrepreneurship Theory and Practice* 28 (2003),
S. 129–144.

George T. Solomon, Susan
Duffy, Ayman Tarabishy,
The State of Entrepreneurship
Education in the United States:
A Nationwide Survey and
Analysis,
in: *International Journal of Entrepreneurship Education*
1 (2002), S. 1–22.

Bildnachweis

- 1**
Lehrstuhl für Innovations- und
Technologiemanagement,
Universität Regensburg.
- 2** **3** **4** **5** **6** **7** **8** **9**
Kerstin Wagner.

4 **5** **6** **7** **8** **9**
Infografik:
Ludwig Otto
für Irmgard Voigt Grafik-Design,
München.

Die neue CD des Jazz Orchestra der Universität Regensburg
Erleben Sie die gesamte Bandbreite der Big Band Musik! Von Glenn Miller bis Pat Metheny,
von Sammy Nestico bis Peter Herbolzheimer. Die Big Band der Universität Regensburg,
featuring Steffi Denk, Markus Engelstädtler, "Möpl" Jungmayer und Norbert Ziegler.
Erhältlich ist diese CD unter www.ujo-regensburg.de sowie im Fachhandel (näheres
ebenfalls auf der homepage) Übrigens: von jeder verkauften CD fließt 1 Euro an KUNO – die Kinder Uni-Klinik Ostbayern

Blick in die Wissenschaft – Bestellkarte

Bitte ausfüllen und einsenden oder kopieren und faxen

an

(09 41) 7 87 85 16

Ja, ich möchte **Blick in die Wissenschaft ab Heft _____ / _____ bestellen!**

Abonnement

Ich erhalte **Blick in die Wissenschaft** zum günstigen Abopreis von € 5,50 (statt € 7,50) für das Heft – 1 Ausgabe im Jahr zzgl. Versandkosten € 1,64 (Inland). Ich spare damit ca. 23% gegenüber dem Bezug von Einzelheften.

Studentenabonnement

Ich bin Student/in und erhalte **Blick in die Wissenschaft** zum günstigen Abopreis von € 4,- (statt € 7,50) für das Einzelheft – 1 Ausgabe im Jahr zzgl. Versandkosten € 1,64 (Inland). Ich spare damit ca. 47 % gegenüber dem Bezug von Einzelheften. Eine Kopie der Immatrikulationsbescheinigung lege ich bei.

Probeheft

Ich erhalte 1 Heft kostenlos. Wenn ich **Blick in die Wissenschaft** anschließend nicht weiterbeziehen möchte, teile ich Ihnen das innerhalb von 10 Tagen nach Erhalt der Ausgabe schriftlich mit. Wenn Sie nichts von mir hören, erhalte ich **Blick in die Wissenschaft** künftig zum Bezugspreis von € 5,50 pro Heft zzgl. Versandkosten.

Ja, ich möchte **Blick in die Wissenschaft ab Heft _____ / _____ bestellen!**

Abonnement

Ich erhalte **Blick in die Wissenschaft** zum günstigen Abopreis von € 5,50 (statt € 7,50) für das Heft – 1 Ausgabe im Jahr zzgl. Versandkosten € 1,64 (Inland). Ich spare damit ca. 23% gegenüber dem Bezug von Einzelheften.

Studentenabonnement

Ich bin Student/in und erhalte **Blick in die Wissenschaft** zum günstigen Abopreis von € 4,- (statt € 7,50) für das Einzelheft – 1 Ausgabe im Jahr zzgl. Versandkosten € 1,64 (Inland). Ich spare damit ca. 47 % gegenüber dem Bezug von Einzelheften. Eine Kopie der Immatrikulationsbescheinigung lege ich bei.

Probeheft

Ich erhalte 1 Heft kostenlos. Wenn ich **Blick in die Wissenschaft** anschließend nicht weiterbeziehen möchte, teile ich Ihnen das innerhalb von 10 Tagen nach Erhalt der Ausgabe schriftlich mit. Wenn Sie nichts von mir hören, erhalte ich **Blick in die Wissenschaft** künftig zum Bezugspreis von € 5,50 pro Heft zzgl. Versandkosten.

Absender/in

Name

Vorname

Straße

PLZ / Ort

Datum/Unterschrift Bitte unbedingt hier unterschreiben

Widerrufsrecht: Ich bin darüber informiert, daß ich diese Bestellung innerhalb von 14 Tagen nach Absenden der Bestellkarte schriftlich beim Verlag widerrufen kann. Zur Wahrung der Frist genügt die rechtzeitige Absendung des Widerrufs. Dies bestätige ich mit meiner zweiten Unterschrift.

Zweite Unterschrift

Das Abonnement soll ein Geschenk sein. Bitte liefern Sie an

Name

Vorname

Straße

PLZ / Ort

Absender/in

Name

Vorname

Straße

PLZ / Ort

Datum/Unterschrift Bitte unbedingt hier unterschreiben

Widerrufsrecht: Ich bin darüber informiert, daß ich diese Bestellung innerhalb von 14 Tagen nach Absenden der Bestellkarte schriftlich beim Verlag widerrufen kann. Zur Wahrung der Frist genügt die rechtzeitige Absendung des Widerrufs. Dies bestätige ich mit meiner zweiten Unterschrift.

Zweite Unterschrift

Das Abonnement soll ein Geschenk sein. Bitte liefern Sie an

Name

Vorname

Straße

PLZ / Ort

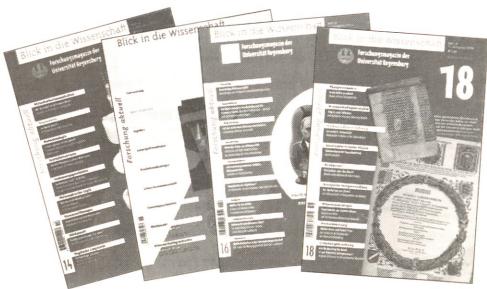
Blick in die Wissenschaft



Forschungsmagazin der
Universität Regensburg

im Abonnement – Vorteile, die überzeugen:

- ✓ günstiger Abonnementpreis (€ 5,50 statt € 7,50 für das Einzelheft)
Sie sparen ca. 23% gegenüber dem Einzelbezug
- ✓ Sie versäumen keine Ausgabe
- ✓ Für Studierende noch günstiger (€ 4,- für das Einzelheft)



Entgelt
zahlt
Empfänger

Blick in die Wissenschaft



Forschungsmagazin der
Universität Regensburg

Antwort

Verlag Schnell & Steiner GmbH
Leibnizstraße 13

D-93055 Regensburg

Telefon: (09 41) 7 87 85-0

Telefax: (09 41) 7 87 85-16

E-Mail: bestellung@
schnell-und-steiner.de



Entgelt
zahlt
Empfänger

Blick in die Wissenschaft



Forschungsmagazin der
Universität Regensburg

Antwort

Verlag Schnell & Steiner GmbH
Leibnizstraße 13

D-93055 Regensburg

Telefon: (09 41) 7 87 85-0

Telefax: (09 41) 7 87 85-16

E-Mail: bestellung@
schnell-und-steiner.de

Automobil denken – die Zukunft gestalten

Starten Sie Ihre Karriere bei Siemens VDO



Leidenschaft für automobile Technologien verbindet die Mitarbeiter von Siemens VDO. Als einer der weltweit führenden Zulieferer für die Automobilindustrie sind wir ein starker Partner für innovative Lösungen. Dazu brauchen wir Menschen, die ihre Leidenschaft für Mobilität tagtäglich leben, kreative Lösungen entwickeln und bei

der Umsetzung ihrer Ideen Grenzen überschreiten. Sind Sie bereit, jeden Tag Neues dazuzulernen, und möchten Sie vielfältige Chancen in einem internationalen Unternehmen nutzen? Gestalten Sie mit uns die automobile Zukunft.

www.siemensvdo.de/careers

SIEMENS VDO

Bringen Sie der Technik das LEBEN bei.



Für Visionäre

Elektrotechnik

Nachrichtentechnik

Mikrosystemtechnik

Feinwerktechnik

Physik

Maschinenbau

Werkstoff-
wissenschaften

Wirtschafts-
ingenieurwesen

WIR MACHEN DAS LEBEN LEICHTER und stellen die Grenzen des Heute in Frage. Dabei entstehen Halbleiterlösungen für die Automobil-, Industrieelektronik und Multimarket, für Anwendungen in der Kommunikation sowie Speicherprodukte über unser Tochterunternehmen Qimonda. Entwickelt werden diese von mehr als 40.800 Menschen, die auf der ganzen Welt zusammenarbeiten: im Infineon-Team.

DIE FRAGE LAUTET: Welche Position passt am besten zu Ihrer Qualifikation, Ihren Interessen und Ihren Ideen für die Zukunft? Wofür Sie sich auch entscheiden – Infineon bietet Ihnen einen individuellen Weg, der Technik das Leben beizubringen.

CLEVER UND NEUGIERIG auf die High-Tech-Spitze? Unsere aktuellen Stellenangebote bei Infineon Technologies in Regensburg finden Sie unter:

www.infineon.com/careers/regensburg

infineon

Never stop thinking