



15

Festvortrag

Verstand oder Gefühle

Auf wen sollen wir hören?

Quantenphysik

Quantenmechanik
am Rande des Chaos
Physik mesoskopischer Systeme

Algebra

Die vierte Dimension
Quaternionen,
eine Verallgemeinerung der komplexen Zahlen

Laserspektroskopie

Chemie am absoluten Nullpunkt
Inertgasmatrizen und
kalte Molekularstrahlen

Evolutionsbiologie

Zwischen Hochzeitsflug
und Brudermord
Reproduktive Taktiken bei Ameisenmännchen

Literaturwissenschaft

Fremd in der eigenen Sprache
Jüdische Hermeneutik und
moderne Literaturtheorie

Gerontopsychiatrie

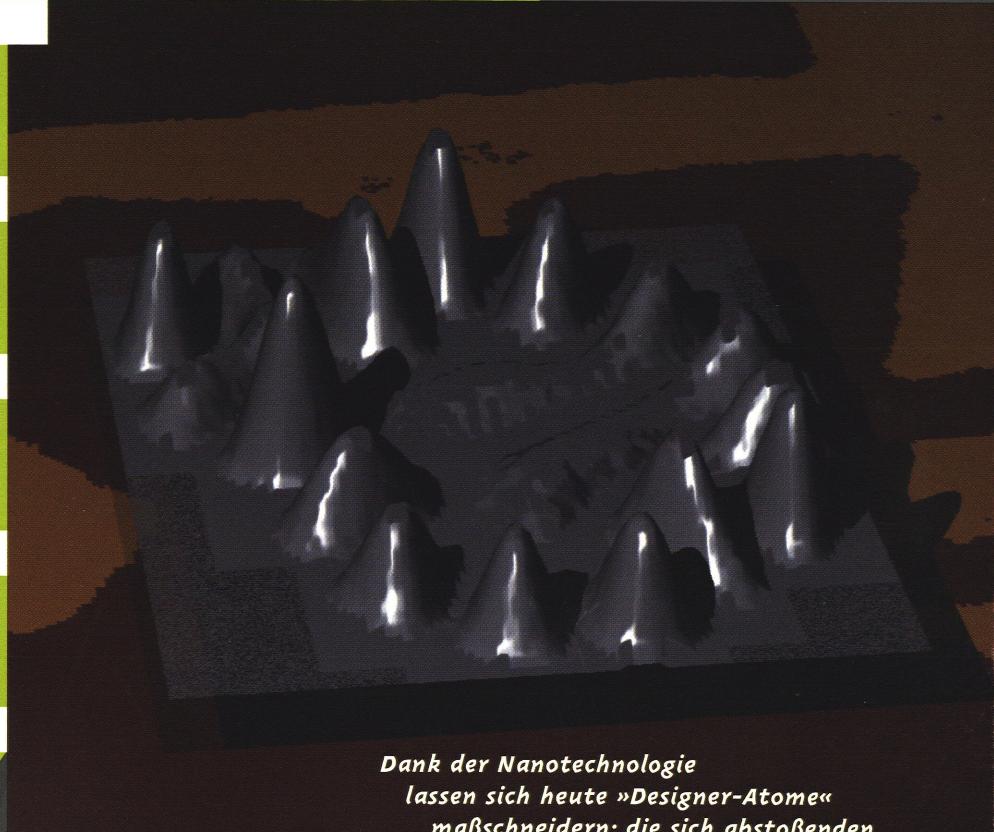
Alzheimer, Ahnen und Archive
Genetisch-genealogische
Alzheimerforschung

Blickpunkt

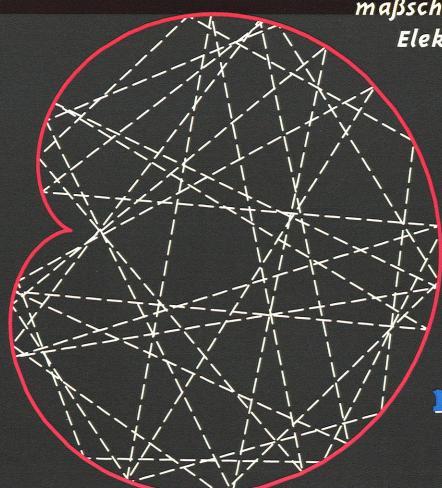
Kulturtransfer im Mittelalter
Stilistische Einflüsse
rund um die Regensburger Schottenkirche

Wissenschaftsgeschichte

Remigration des Wissens
Anfänge der molekularen Biologie in Regensburg



Dank der Nanotechnologie
lassen sich heute »Designer-Atome«
maßschneidern; die sich abstoßenden
Elektronen darin erscheinen
mitunter wie auf einer
Perlenkette aufgereiht.



**Billard
mit Elektronen**

Wir haben da etwas Passendes. Die Antriebskonzepte von morgen.



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. Um unsere mobile Zukunft zu gestalten, müssen wir deshalb auch andere Energieträger erforschen und neue, passende Antriebskonzepte entwickeln: Der Wasserstoffantrieb arbeitet emissionsfrei und ist für uns keine Vision mehr. Die technischen Fragen haben wir gelöst. Jetzt fehlt nur noch der politische Konsens und die Infrastruktur für die Herstellung und Verteilung der neuen Kraftstoffe. Gemeinsam können wir es schaffen.



BMW Group

Blick in die Wissenschaft

Forschungsmagazin der Universität Regensburg

ISSN 0942-928-X

Heft 15/12. Jahrgang

Herausgeber

Prof. Dr. phil. Alf C. Zimmer

Rektor der Universität Regensburg

Redaktionsbeirat

Prof. Dr. rer. nat. Henri Brunner

Prof. Dr. jur. Sibyll Hofer

Prof. Dr. med. Michael Landthaler

Prof. Dr. rer. nat. Christoph Meinel

Prof. Dr. rer. nat. Karl F. Renk

Prof. Dr. phil. Hans Rott

Prof. Dr. rer. nat. Claudia Steinem

Prof. Dr. phil. Jörg Traeger

Universität Regensburg

93040 Regensburg

Telefon (0941) 943-23 00

Telefax (0941) 943-33 10

E-Mail Pressestelle:

rudolf.dietze@verwaltung.uni-

regensburg.de

Verlag

Universitätsverlag Regensburg GmbH

93066 Regensburg

Telefon (0941) 207-290

Telefax (0941) 207-105

E-Mail: kfärber@mz.donau.de

www.uni-verlag-rgb.de

Geschäftsführung:

Peter Esser

Verlagsleitung:

Dr. Konrad M. Färber

(verantw. für Inhalt und Anzeigen)

Lektorat:

Dr. Gerd Burger, Regina Lohde

Vertrieb und Abonnementverwaltung

Zeitungs-Zustellung KG

93066 Regensburg

Telefon (0941) 207-234

Telefax (0941) 207-430

E-Mail: jgfesser@mz.donau.de

Anzeigenverwaltung

Verlag für Marketing und

Kommunikation GmbH

Faberstraße 17

67590 Monsheim

Telefon (06243) 909-216

Telefax (06243) 909-400

E-Mail: guenter.eichelsbach

@VMK-Verlag.de

www.vmk-verlag.de

Herstellung

ERHARDI DRUCK/DONAU DRUCK

GmbH, Regensburg

E-Mail: info@erhardi.de

Druckvorstufe

Layoutsatz 2000, München

Gestaltung

Irmgard Voigt, München

E-Mail: irm.voigt@t-online.de

Papier MD Bavaria matt

Auflage 5 000

Erscheint jährlich Mitte November.

Einzelpreis € 6,50**Jahresabonnement**

€ 5,00/ermäßigt € 3,50

für Schüler, Studenten und Akademiker im Vorbereitungsdienst (inkl. 7% MwSt) zzgl. Versand; 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**

Uwe Moosburger, Regensburg

TitelbilderComputersimulation von Elektronen in einer Nanostruktur.
Prof. Dr. Klaus Richter,
Dipl.-Phys. Marko Turek,
Institut für Theoretische Physik,
Universität Regensburg, mit
Dr. Kang-Hun Ahn, Chungman
National University, SüdkoreaMesoskopische Halbleiter-Strukturen zwischen Mikro- und Makrophysik bilden eine Brücke zwischen klassischer Welt und Quantenwelt. Die Elektronen in derartigen »Quantenbillards« folgen chaotischen klassischen Bahnen (*unten*) und offenbaren gleichzeitig ihre Wellennatur (*oben*). Nanostrukturen ermöglichen als komplexe Quantensysteme die Erforschung der kritischen Balance zwischen klassischem Chaos und den Ordnungsprinzipien der Quantenphysik und eröffnen darüber hinaus bei weiterer Miniaturisierung die Vision einer molekularen Elektronik.**Editorial****Alf C.
Zimmer**

»FAKten, FAKten, FAKten«. Es gibt kaum einen Slogan, der besser den Begriff *Wissenschaftsgesellschaft* charakterisiert. Gleichzeitig macht aber die Fülle der Fakten und vor allen Dingen die Geschwindigkeit, in der sie überholt werden, deutlich, dass die Beziehung zwischen Fakten und Wirklichkeit nicht so einfach ist, wie es sich der naive Positivismus vorstellte, den Charles Dickens in »Hard Times« karikierte: »Facts alone are wanted in life.« Und dement sprechend klagt später Henry James in »The Spoils of Poynton« über »the fatal futility of fact«.

Die Universität als Ort der Entwicklung, Bewertung und Sicherung von Wissen hat sich zumindest seit der Aufklärung nie als »Faktenschleuder« verstanden, sondern hat auf der Grundlage der Einheit von Forschung und Lehre das *Was* (die Fakten) nie ohne das *Wie* (die Methoden) vermittelt: Fakten sagen nichts aus, wenn man nicht weiß, wie sie zustande gekommen sind, aber Fakten stellen in einem kritischen Positivismus die entscheidende Bewertungsinstanz für Theorien dar, wie es Darwins Schüler Huxley in »Biogenesis and Abiogenesis« ironisch ausdrückte: »The great tragedy of science – the slaying of a beautiful hypothesis by an ugly fact.«

Ganz im Sinne dieser notwendigen Dreiecksbeziehung von Fakten, Theorien und Methoden stellt sich die Universität Regensburg in den folgenden Beiträgen dar. Die Spanne reicht von Konstruktions- und Beweismethoden der Formalwissenschaften über geisteswissenschaftliche Verfahren bis hin zu Messungen in den Naturwissenschaften, deren Genauigkeit die Alltagsvorstellung sprengt. Besonders spannend erscheint hier vor Allem die zunehmende Tendenz der Überschreitung traditioneller Abgrenzungen in der Wissenschaft: speziell für Fragestellungen jenseits bisheriger Disziplingrenzen wird eine Methodenvielfalt ganz unterschiedlicher Provenienz angewendet, aber immer orientiert an den zu untersuchenden Problemen. So wird die notwendige Offenheit der modernen Universität für solche Probleme sichtbar, die sich nicht einfach in den Kanon der klassischen Disziplinen einordnen lassen. Für das Profil der modernen Universität ist bei aller notwendigen fachwissenschaftlichen Grundlagenarbeit kritische Offenheit für Inter- und Transdisziplinarität unverzichtbar.

Das Spezifikum der Universität besteht eben nicht in einer möglichst umfassenden Sammlung von Fakten (wie Thomas Carlyle es ausdrückte: »The true University of these days is a collection of books«), sondern in ihrer Kompetenz, angesichts neuer und auch alter Probleme in Forschung und Lehre konsequent nach dem *Wie* zu fragen und so die Wirklichkeit hinter der Oberfläche von Fakten zu vermitteln.

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

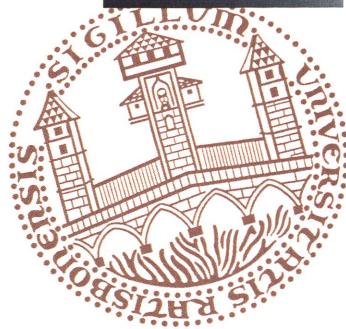


Blick in die Wissenschaft

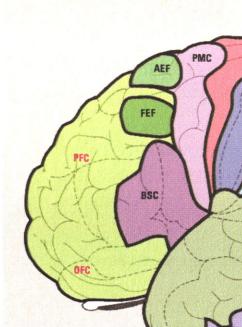
Forschungsmagazin der Universität Regensburg
12. Jahrgang

15

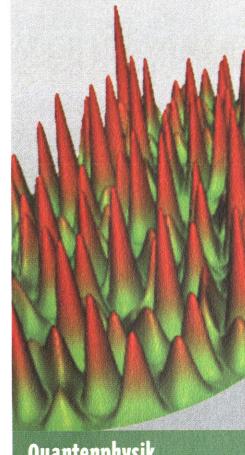
2003



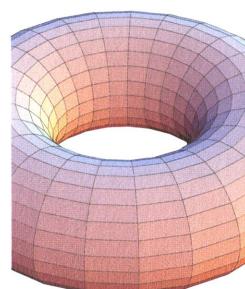
Universität Regensburg
www.uni-regensburg.de



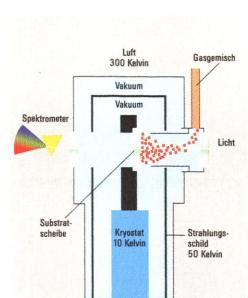
Festvortrag



Quantenphysik



Algebra



Laserspektroskopie

Verstand oder Gefühle
Auf wen sollen wir hören?

Seite 4

»Mit der Entscheidung muss ich leben können« – die Redensart deutet an, dass Vernunft und Verstand nicht den Ausschlag geben, wenn einer zwischen Handlungsoptionen wählen muss: Hirnforschung und Verhaltensphysiologie wissen, dass zuletzt doch das limbische System und damit Gefühle das (unbewusste) Sagen haben.

Quantenmechanik am Rande des Chaos
Physik mesoskopischer Systeme

Seite 12

Nano-Halbleiter im Grenzbereich zwischen Mikro- und Makrophysik zeigen in ihren Eigenschaften das erstaunliche Wechselspiel von universellen Quantenphänomenen und nicht-linearer klassischer Dynamik.

Die vierte Dimension
Quaternionen, eine Verallgemeinerung der komplexen Zahlen

Seite 20

Natürliche Zahlen, Brüche, negative Zahlen, irrationale Zahlen – bis hierhin dürfte unser Schulwissen reichen. Aber imaginäre Zahlen (früher »ohnmögliche« genannt), komplexe Zahlen, diese gar im dreidimensionalen Raum? Nur Mut: bald begreift der Leser vierdimensionale Quaternionen und hyperkomplexe Zahlen ...

Chemie am absoluten Nullpunkt
Inertgasmatrizen und kalte Molekularstrahlen

Seite 24

Bei extremer Kälte kommen fast alle chemischen Reaktionen zum Erliegen. Spektroskopische Analysen bei nur wenigen Kelvin-Gradern erbringen exakte Informationen über die Struktur und die Bindungsverhältnisse der isoliert untersuchten Moleküle; aufwändige Grundlagenforschung in physikalischer Chemie – mit großem Nutzen für die Theorie.

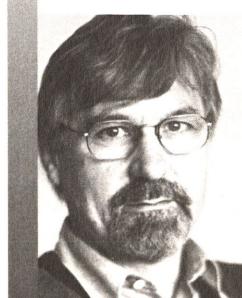
Heft 16
erscheint
November
2004

E-Mail:

Rektorat
der Universität Regensburg
rektor
@ uni-
regensburg.de

Pressreferent
Dr. Rudolf F. Dietze
rudolf.dietze
@ verwaltung.uni-
regensburg.de

Gerhard Roth
Professor für
Verhaltensphysiologie
[gerhard.roth](mailto:gerhard.roth@uni-bremen.de)
@ uni-bremen.de



Klaus Richter
Professor für
Theoretische Physik
[klaus.richter](mailto:klaus.richter@physik.uni-regensburg.de)
@ physik.uni-regensburg.de



Susanne Pumplün
Privatdozentin
Mathematik
[susanne.pumpluen](mailto:susanne.pumpluen@mathematik.uni-regensburg.de)
@ mathematik.uni-regensburg.de



Bernhard Dick
Professor für
Physikalische Chemie
[bernhard.dick](mailto:bernhard.dick@chemie.uni-regensburg.de)
@ chemie.uni-regensburg.de





Evolutionsbiologie

Zwischen Hochzeitsflug und Brudermord
Reproduktive Taktiken bei Ameisenmännchen

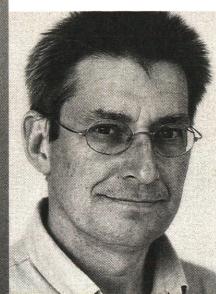
Seite 32

Balzen, buhlen, töten, tricksen: Die Natur kennt viele Wege, wie Männchen sich die Gunst der Weibchen sichern. Bei der hier untersuchten Ameisenart treten geflügelte, friedfertige Männchen gegen flügellose Kämpfer mit Zangenkiefern und chemischer Keule in die Arena ...

Sylvia Cremer
Wiss. Mitarbeiterin
smcremer
@zi.ku.dk



Jürgen Heinze
Professor für Biologie
juergen.heinze
@biologie.uni-regensburg.de



Literaturwissenschaft

Fremd in der eigenen Sprache
Jüdische Hermeneutik und moderne Literaturtheorie

Seite 38

Die Auslegung der Torah hat ihre eigene Methode entwickelt, »Midrasch« genannt, die u. a. Wortwörtliches, Assoziatives, Metaphorisches und Mystisches zu kombinieren sucht. Das interessiert auch die Poststrukturalisten, die seit kurzem diese alte Exegesetradition aufgreifen.

Dorothee Gelhard
Professorin für Vergleichende Literaturwissenschaft
dorothee.gelhard
@sprachlit.uni-regensburg.de



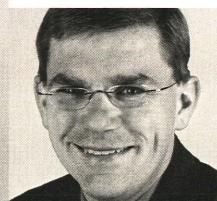
Gerontopsychiatrie

Alzheimer, Ahnen und Archive
Genetisch-genealogische Alzheimerforschung

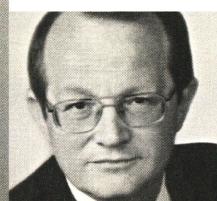
Seite 44

Ein ungewöhnlicher Weg für die medizinische Forschung: Aus Pfarrmatrikeln erhofft man sich Aufschluss, ob die Alzheimer-typischen *Plaques* womöglich Folge einer vererbten Genmutation sind.

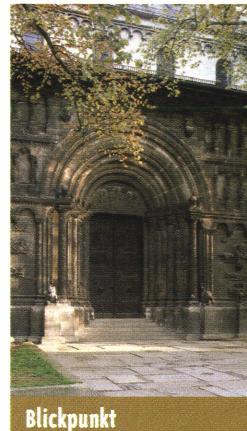
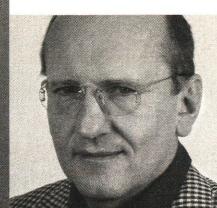
Hans H. Klünemann
Wiss. Mitarbeiter
hans.klünemann
@bzk.uni-regensburg.de



Herbert W. Wurster
Diözesanarchivar



Heimfried E. Klein
Professor für Psychologie und Psychotherapie
heimfried.klein
@bzk.uni-regensburg.de



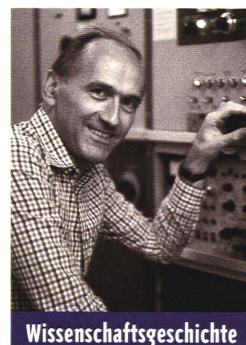
Blickpunkt

Kulturtransfer im Mittelalter
Stilistische Einflüsse rund um die Regensburger Schottenkirche

Seite 52

Die Bauplastik dieses Meisterwerks der Romanik fasziniert bis heute – woher nahmen die irischen Mönche die Anregungen für ihren so kunstreich wie fremdartigen Figurenschmuck, dessen Deutung noch immer Rätsel aufgibt?

Mona Stocker
Kulturveranstalterin
m.stocker
@staatsgalerie.de



Wissenschaftsgeschichte

Remigration des Wissens
Anfänge der molekularen Biologie in Regensburg

Seite 56

Vertreibung, Flucht, Ermordung – der Rassenwahn des Dritten Reiches bewirkte Kahlschlag in der deutschen Forschung, speziell in neuen, Fach übergreifenden Disziplinen. Im Interview schildert Prof. Jaenicke, wie die molekulare Biologie nach Kriegsende an deutschen Hochschulen wieder Fuß fasste und welche emigrierten Wissenschaftler diesen Prozess unterstützten.



Verstand oder Gefühle

Auf wen sollen wir hören?

Festvortrag

Der Gegensatz von Verstand und Gefühlen ist uns allen geläufig. Unsere Gefühle treiben uns dazu, dies oder jenes zu tun, unser Verstand rät uns davon ab – oder umgekehrt. Selten genug weisen Verstand und Gefühle in dieselbe Richtung. Am stärksten ist dieser Widerstreit, wenn es um starke Gefühle und Leidenschaften geht. Wir fliehen kopflos in einer Situation, in der Umsicht angebracht wäre. Wir tun etwas im Zustand blinder Wut, maßloser Enttäuschung oder heftiger Verliebtheit, das wir später bereuen. Was wären Literatur und Dichtung, die Opern-, Bühnen- und Filmwelt ohne diesen Gegensatz!

Aber nicht nur starke Gefühle wie Leidenschaften und Affekte machen uns zu schaffen, sondern auch Gefühle im engeren Sinne wie Furcht, Ärger, Eifersucht, Neid und Ehrgeiz. Es wurmt uns, dass ein Kollege großen Erfolg hatte. Unser Verstand mag uns sagen, dass der Kollege diesen Erfolg und die Beförderung durchaus verdient hat, und wir schämen uns dann unseres Neides und unserer Missgunst. Sie werden dadurch in uns nicht weniger. Ähnliches passiert uns, wenn wir Angst vor einem Vortrag oder einer Vorlesung oder sonst einem öffentlichen Auftritt haben. Wir können uns noch so sehr einreden, dass wir den Vortrag oder die Vorlesung schon zig-mal gehalten haben und dass dabei alles gut ging, dass von dem öffentlichen Auftritt auch gar nichts Wichtiges abhängt usw. Die Angst (oder besser Furcht) bleibt. In solchen Fällen erscheinen Gefühle als etwas Unvernünftiges, Kurzsichtiges, Übereiltes, Gemeines, Quälendes, kur zum Negatives.

Andererseits sind Gefühle auch etwas sehr Schönes. Was wäre das Leben ohne Lust und Liebe, Freude, Neugier, Begeisterung, Freundschaft, Genugtuung und Erfolgsrausch? Folge deinem Herzen! Hör auf dein Gefühl! Aber nicht nur solche positiven Gefühle sind für uns wichtig, sondern auch negative wie Furcht, Abneigung und Enttäuschung, denn sie lenken unser Verhalten, ohne dass wir lange darüber nachdenken müssen. Wir werden von positiven Gefühlen angetrieben, irgend etwas zu tun, das Lust, Belohnung, Bestätigung verspricht, und von negativen Gefühlen vor Dingen gewarnt, die materielle Nachteile, psychisches und körperliches Leid erzeugen könnten. Gefühlskalte Menschen empfinden wir als unangenehm. Dies sind Personen, die es entweder gelernt haben, ihre Gefühle völlig im Zaum zu halten, und die dadurch große Macht über ihre Mitmenschen besitzen, oder

solche, die gar keine Gefühle erleben können. Letztere – Psychopathen oder Soziopathen genannt – geraten deshalb meist in große Schwierigkeiten.

Dieser scheinbare oder wirkliche Widerspruch von Verstand und Gefühlen ist uns völlig vertraut und macht einen Großteil unseres Lebens aus. Wir sehnen uns oft danach, klug und umsichtig zu Werke zu gehen und verwünschen unsere Gefühle, und dann sehnen wir uns wieder nach den »großen Gefühlen« und dem »großen Herzklopfen« und bedauern, dass Weihnachten und das Zusammenleben mit dem Partner auch nicht mehr so beglückend ist wie früher. Warum ist dies alles so?

Zuerst müssen wir uns darüber klar werden, was die Begriffe »Verstand«, »Vernunft« und »Gefühle« bedeuten. Unter *Verstand* kann man am besten die Fähigkeit zum Problemlösen mithilfe erfahrungsgelenkten und logischen Denkens verstehen. Verstand ist somit weithin identisch mit dem, was viele Psychologen unter Intelligenz verstehen, d. h. der Fähigkeit, Aufgaben in einer vorgegebenen Zeit zu identifizieren und dann vorhandenes Expertenwissen richtig anzuwenden, z.B. um Probleme zu lösen oder einen persönlichen Vorteil zu gewinnen. Unter *Vernunft* versteht man hingegen meist die Fähigkeit zu mittel- und langfristiger Handlungsplanung aufgrund übergeordneter zweckrationaler und ethischer Prinzipien. Vernünftig bin ich, wenn ich gewohnt bin abzuwägen, was die kurzfristigen und langfristigen Konsequenzen meines Handelns sind. Dabei kommt es nicht nur auf meinen privaten Vorteil an, sondern auch auf die soziale Akzeptanz meines Handelns.

Gefühle im weiteren Sinne umfassen zum einen *körperliche Bedürfnisse* wie Müdigkeit, Durst, Hunger, Geschlechtstrieb und den Drang nach dem Zusammensein mit anderen Menschen. Diese Bedürfnisse gehören zu unserer menschlichen »Grundausstattung«; wir können gegen sie entweder überhaupt nichts oder nur in sehr begrenztem Maße etwas tun. Zum zweiten gehören dazu die *Affekte* wie Wut, Zorn, Hass und Aggressivität, die uns »übermannen« oder »mitreißen« – Gefühle, die wir genauso wenig lernen müssen wie die körperlichen Bedürfnisse und die beinahe ebenso schwer zu kontrollieren sind. Schließlich gibt es *Gefühle im engeren Sinne* oder *Emotionen* wie Furcht, Angst, Freude, Glück, Verachtung, Ekel, Neugierde, Hoffnung, Enttäuschung, Erwartung, Hochgefühl, Belastung (Stress) und Niedergeschlagenheit. Soweit wir wissen, sind auch diese Gefühle angeboren, denn ausgedehnte Untersuchungen zeigen, dass alle Menschen auf der Welt solche



1 Seitenansicht des menschlichen Gehirns. Sichtbar ist die Großhirnrinde mit ihren typischen Windungen (Gyrus/Gyri) und Furchen (Sulcus/Sulci) und das ebenfalls stark gefürchte Kleinhirn.

- 1** Zentralfurche (Sulcus centralis)
- 2** Gyrus postcentralis
- 3** Gyrus angularis
- 4** Gyrus supramarginalis
- 5** Kleinhirn-Hemisphären
- 6** Gyrus praecentralis
- 7** Riechkolben (Bulbus olfactorius)
- 8** olfaktorischer Trakt
- 9** Sulcus lateralis
- 10** Brücke (Pons)
- 11** Verlängertes Mark (Medulla oblongata)

›Grundgefühle‹ haben, gleichgültig, wie sie diese sprachlich benennen. Sie können sich aber in nahezu beliebiger Art mit Objekten und Situationen verbinden. Unser psychischer Alltag ist eine fast unentwirrbare Mischung dieser drei Arten von Gefühlen.

Verstand und Vernunft sind Funktionen des menschlichen Gehirns, genauer des Stirnhirns. *Verstandesfunktionen* können dabei vornehmlich dem oberen und seitlichen Stirnhirn, dem *dorsolateralen präfrontalen Cortex*, zugeordnet werden. Dieser Hirnteil hat mit dem Erfassen der handlungsrelevanten Sachlage, mit zeitlich-räumlicher Strukturierung von Wahrnehmungsinhalten zu tun, mit planvollem und kontextgerechtem Handeln und Sprechen und mit der Entwicklung von Zielvorstellungen. *Vernunft* hingegen ist vornehmlich eine Funktion des unteren, über den Augen liegenden Stirnhirns, des *orbito-frontalen Cortex*. Dieser Teil der Hirnrinde überprüft die längerfristigen Folgen unseres Handelns und lenkt entsprechend dessen Einpassung in soziale Erwartungen. Eine wesentliche Funktion des orbitofrontalen Cortex besteht in der Kontrolle impulsiven, individuell-egoistischen Verhaltens.

Patienten mit einer Schädigung des orbitofrontalen Cortex sind unfähig, längerfristige negative oder positive Konsequenzen ihrer Handlungen vorauszusehen, wenngleich unmittelbare Belohnung oder Bestrafung von Aktionen ihr weiteres Handeln beeinflussen können. Sie gehen trotz besseren Wissens große Risiken ein. Zum Beispiel warnen sie

uns vor etwas und halten lange Vorträge zur Erläuterung – und dann tun sie es selber. Sie gehen beim Glücksspiel oder Aktienkauf waghalsig vor oder überqueren bei Rot eine dichtbefahrene Straße – tun also etwas, was ein vernünftiger Mensch nicht tut. Im Krieg nennt man solche Menschen »Helden«.

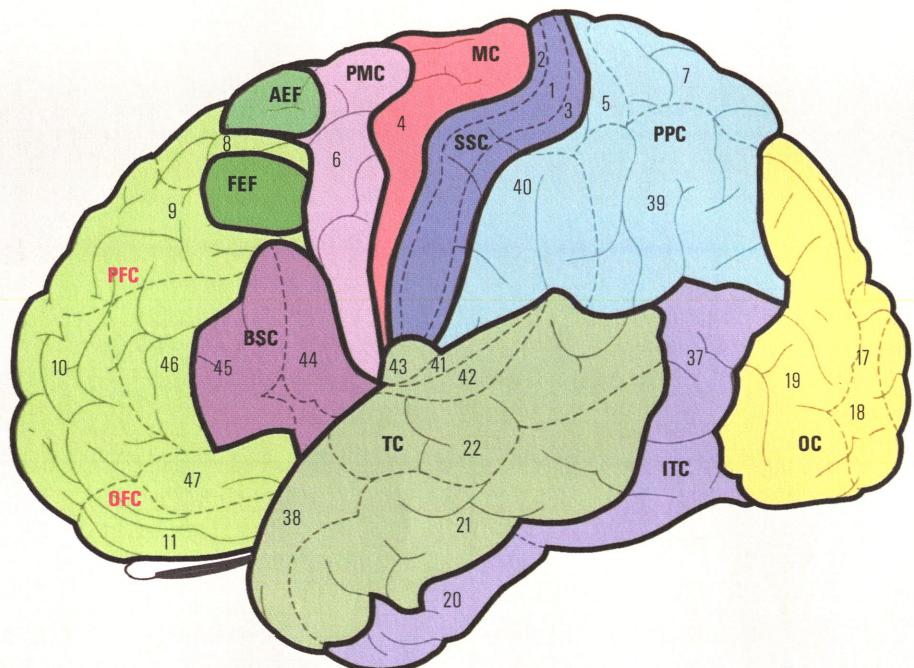
Dass Verstand und Vernunft etwas mit der Großhirnrinde zu tun haben, verwundert uns nicht, denn bei der Großhirnrinde, dem Cortex, handelt es sich um ein aus vielen Milliarden von Nervenzellen bestehendes Netzwerk für die schnelle, komplexe Verarbeitung großer und voneinander zum Teil sehr unterschiedlicher Datenmengen. Diese Fähigkeiten stehen im Dienst des Erfassens und Verarbeitens von Details der Wahrnehmungsinhalte und deren schnellem Vergleich mit Gedächtnisinhalten, der Gliederung des Wahrgenommenen in Bedeutungseinheiten und der Vorbereitung von Handlungsentwürfen. Hierzu gehört vor allem das Entwickeln komplexer Vorstellungen, sprich das schnelle Abrufen von Erinnerungen an Geschehnisse, der Rückgriff auf Wissen, das beides einreichende Pläneschmieden – also all das, was einen verständigen und vernünftigen Menschen auszeichnet.

Gefühle hingegen scheinen erst einmal gar nichts mit dem Kopf bzw. dem Gehirn zu tun zu haben, sondern mit unserem Körper. Uns hüpfst das Herz vor Freude, wir haben vor einer unangenehmen Situation Magendrücken, uns zittern die Hände und schlittern die Knie vor Angst, platzt der Kragen. Es ist schwer, diese körperlichen Zustände

Anatomisch-funktionelle
Gliederung der Hirnrinde, von der
Seite aus gesehen.
Die Zahlen geben die übliche
Einteilung in cytoarchitektonische
Felder nach K. Brodmann an.

AEF	vorderes Augenfeld
BSC	Brocasches Sprachzentrum
FEF	frontales Augenfeld
ITC	inferotemporaler Cortex
MC	motorischer Cortex
OC	occipitaler Cortex (Hinterhauptlappen)
OFC	orbitofrontaler Cortex
PFC	präfrontaler Cortex (Stirnlappen)
PMC	dorsolateraler prämotorischer Cortex
PPC	posteriorer parietaler Cortex
SSC	somatosensorischer Cortex
TC	temporaler Cortex (Schläfenlappen)

Hirnrinde – von der Seite gesehen



zu verbergen, wenn wir starke Gefühle haben. Natürlich können wir durch langes Training einen Zustand des »Sich in der Gewalt Habens« erreichen, aber ganz wird uns dies wohl nicht gelingen. Vielmehr ist es so, dass mit den verminderten körperlichen Reaktionen auch die Gefühle schwinden. Der enge Zusammenhang zwischen Affekten bzw. Gefühlen und körperlichen Zuständen ist leicht einzusehen. Affekte und Gefühle sollen uns zu einem bestimmten Verhalten veranlassen, und zwar um so mehr, je stärker sie sind. Wir sollen gezwungen werden, etwas Bestimmtes zu tun oder zu lassen, zu kämpfen oder zu fliehen, Dinge anzupacken oder sie möglichst zu meiden. Ein Mensch, der sich bei seinen Handlungen von seinen Gefühlen leiten lässt, handelt aus dem »Bauch« heraus, oder er folgt seinem »Herzen«. Ein *apathischer* Mensch ist jemand, der nichts fühlt und entsprechend auch nichts tut und nichts erreicht.

Das limbische System

Als bewusste *Erlebniszustände* sind Gefühle zwar mit Aktivitäten in der Großhirnrinde verbunden, aber im Gegensatz zu Verstand und Vernunft haben sie nicht dort ihre Wurzeln, sondern im *limbischen System*. Dieses System besteht aus vielen Zentren mit den unterschiedlichsten Funktionen, die aber das gemeinsam haben, dass sie erstens völlig unbewusst arbeiten, zweitens am unbewussten Entstehen von körperlichen Bedürfnissen, Affekten und Gefühlen beteiligt sind, drittens alles, was wir tun, nach »gut« und »schlecht« bewerten und viertens unser Verhalten steuern – und zwar, ohne dass uns dies bewusst wäre.

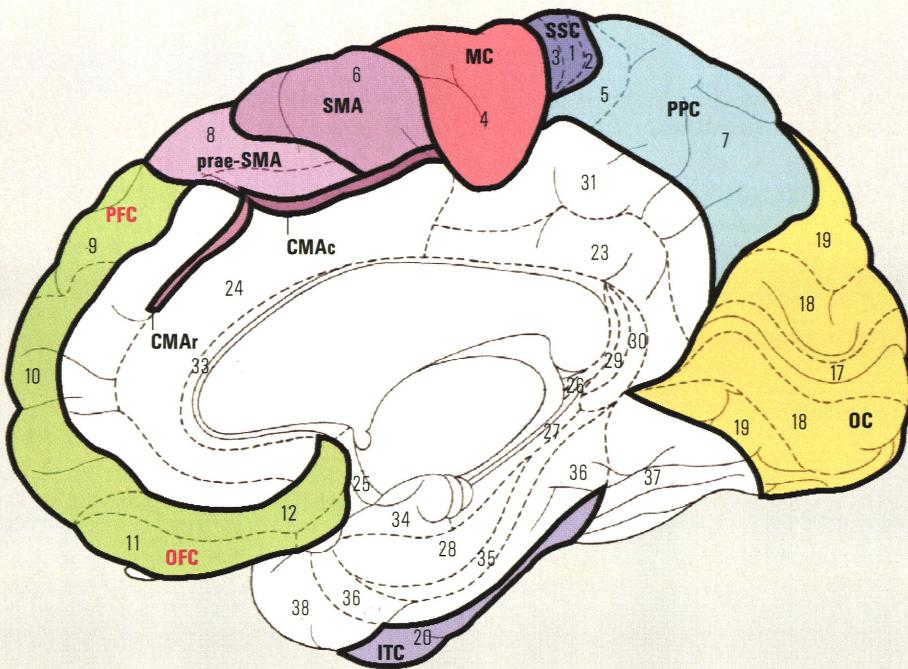
Die wichtigste limbische Hirnregion für die unbewusste Erzeugung von körperlichen Bedürf-

nissen und Affekten ist der *Hypothalamus*, der tief im Gehirn liegt und zum Zwischenhirn gehört. Er ist das Kontrollzentrum für biologische Grundfunktionen wie Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme, Sexualverhalten, Schlaf- und Wachzustand, Temperatur- und Kreislaufregulation, Angriffs- und Verteidigungsverhalten und für die damit verbundenen Trieb- und Affektzustände wie Wut, Panik, Aggressivität und sexuelle Begehrungen.

Für Gefühle im engeren Sinne, für Emotionen, ist der Mandelkern, die *Amygdala*, zuständig, und hier wiederum ein Teil, den man *basolaterale Amygdala* nennt. Hier läuft das ab, was man »emotionale Konditionierung« nennt. Dieser Vorgang besteht darin, dass sensorische Informationen über irgendein normalerweise neutrales Geschehen eilaufen, zum Beispiel über ein rundes Metallstück auf der Oberfläche des Küchenherdes oder ein Klassenzimmer in der Schule, in dem ich geprüft werde, nebst prüfendem Lehrer und mitführenden oder hämisch grinsenden Mitschülern. In der Amygdala treffen diese Informationen mit affektiv oder emotional besetzten Erlebnissen zusammen, zum Beispiel mit einem starken Schmerzreiz, ausgelöst durch die heiße Herdplatte, oder dem Gefühl des Versagens, der Scham, der Erniedrigung, des Verspottetwerdens – oder des Stolzes, der Freude über das Lob, der Genugtuung.

Diese beiden Typen von Informationen werden nun in der Amygdala auf der Ebene kleiner Netzwerke von Nervenzellen so zusammengefügt, dass sie für lange Zeit oder gar für immer verkoppelt sind, so dass der erneute Anblick einer heißen Herdplatte automatisch in mir die Erinnerung des Schmerzes, der Anblick des Klassenzimmers oder der Schule oder gar nur die Vorstellung davon

Anatomisch-funktionelle Gliederung der Hirnrinde, von der Mittellinie aus gesehen.
Die Zahlen geben wie in 2 die Einteilung in cytoarchitektonische Felder nach K. Brodmann an.



- CMAc** caudales cinguläres motorisches Areal
CMAR rostrales cinguläres motorisches Areal
ITC inferotemporal cortex
MC motorischer Cortex
OC occipitaler Cortex (Hinterhauptlappen)
prae-SMA praesupplementär-motorisches Areal
OFC orbitofrontal cortex
PFC präfrontaler Cortex (Stirnlappen)
PPC posterior parietal cortex
SMA supplementär-motorisches Areal
SSC somatosensorischer Cortex

das Gefühl der Beschämung oder des Stolzes wachrufen. Als Konsequenz für unser zukünftiges Verhalten ergibt sich die Aufforderung: Fass das nicht an, das tut weh! Oder: Geh nicht mehr dorthin, da geht es dir schlecht! Oder: Mach das wieder, denn dann kriegst du Lob und Anerkennung!

Die basolaterale Amygdala hat – soweit bekannt – vornehmlich mit Furchtkonditionierung zu tun. Bei der Verbindung von Geschehnissen mit angenehmen und gar lustvollen Gefühlen arbeitet sie eng mit einem anderen limbischen System zusammen, das mesolimbisches System heißt, vor allem mit dem *ventralen tegmentalen Areal*. Dieses System ist bei der Registrierung und Verarbeitung natürlicher Belohnungsergebnisse aktiv und stellt offenbar das zerebrale Belohnungssystem dar. Hier werden so genannte endogene Opate erzeugt, die starke Lustgefühle und Euphorie erzeugen und chemisch den Drogen ähneln. Hierdurch belohnt sich das Gehirn sozusagen selbst, wenn es meint, schwierige oder anstrengende Dinge bewältigt zu haben.

Emotionale Konditionierung gehört zu unserem täglichen Leben. Viele Dinge und Geschehnisse in unserem Leben sind ja nicht unter allen Umständen und für alle Personen gleichermaßen positiv oder negativ – das müssen wir erst durch lust- oder leidvolle Erfahrung herausfinden. Nicht jede Herdplatte erzeugt schmerzhafte Verbrennungen, nicht hinter jedem Busch lauert der Fuchs, nicht jeder Lehrer will einem Böses. Nicht jeder unfreundlich aussehende Mensch ist tatsächlich unfreundlich, und nicht jeder freundlich aussehende Mensch meint es gut mit uns. In aller Regel bilden sich emotionale Konditionierungen auch nicht aufgrund einmaliger Erlebnisse aus, sondern bestimmte negative oder positive Erfahrungen müssen wiederholt ge-

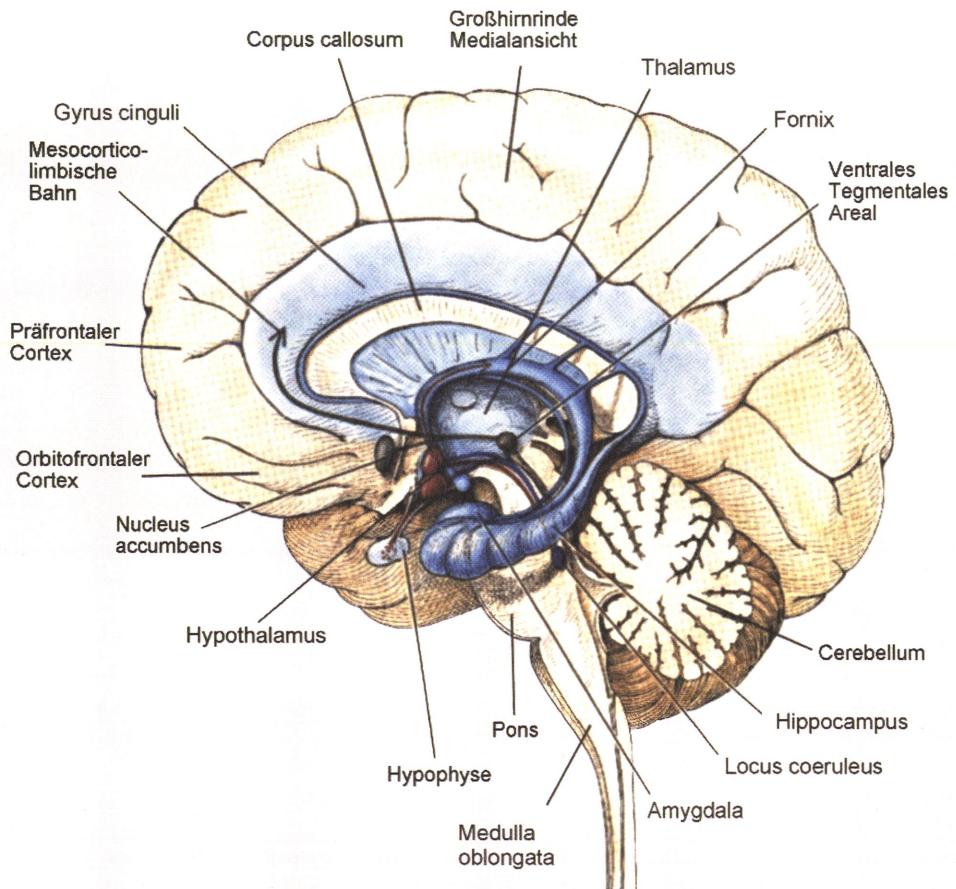
macht werden, um sich fest in unserem emotionalen Erfahrungsgedächtnis zu verankern. Allerdings ist es so, dass diese Verankerung um so schneller vor sich geht, je stärker die emotionalen Begleitzustände oder Folgen von Ereignissen waren. Passiert etwas, das große Freude, große Lust, starken Schmerz oder große Angst in uns auslöst, dann kann sich diese Kopplung schon beim ersten Mal unauslöschlich in uns einprägen. Bei negativen Erlebnissen wie grässliche Unfälle, Vergewaltigung oder Todesangst nennt man dies *psychische Traumatisierung*.

Gedächtnis und Gefühle

Ein wichtiger Umstand ist hierbei die Tatsache, dass das limbische System die sachlichen Einzelheiten des Geschehens nicht genau erfassen kann, die aber für eine hinreichende Bewertung wichtig sind. Diese Einzelheiten kommen aus dem Gedächtnissystem hinzu, das man »deklaratives Gedächtnis« nennt, und das alles enthält, an das wir uns bewusst erinnern und über das wir im Prinzip sprachlich berichten können (daher »deklarativ«). Die Inhalte dieses Gedächtnisses sind in der Großhirnrinde gespeichert, jedoch wird das Gedächtnis von einer Struktur gelenkt, die selbst nicht zur Großhirnrinde im engeren Sinne gehört, nämlich dem Hippocampus. Der Hippocampus legt – zusammen mit benachbarten Hirnregionen – fest, welche Sinneserfahrungen, Gedanken oder Vorstellungen in welcher Weise in welcher der vielen »Gedächtnisschubladen« gespeichert werden. Dies ist entscheidend dafür, wie leicht und in welcher Weise sie wieder aufrufen werden können.

Kern des deklarativen Gedächtnisses ist unser »Erlebnisgedächtnis«, das alles enthält, was mit uns

Längsschnitt durch das menschliche Gehirn mit den wichtigsten limbischen Zentren. Diese Zentren sind Orte der Entstehung von positiven (*Nucleus accumbens*, *ventrales tegmentales Areal*) und negativen Gefühlen (*Amygdala*), der Gedächtnisorganisation (*Hippocampus*), der Aufmerksamkeits- und Bewusstseinssteuerung (*basales Vorderhirn, Locus coeruleus, Thalamus*) und der vegetativen Funktionen (*Hypothalamus*).



und mit den uns nahe stehenden Personen und in unserer Lebenswelt passiert ist, d. h., es speichert unsere Autobiographie. Dieses Gedächtnis liefert bei der emotionalen Konditionierung Informationen über den genauen Ort, die genaue Zeit und den genauen Ablauf des Geschehens, welche Personen beteiligt waren, was sie taten oder sagten, und natürlich, was ich tat. Erst hierdurch kann eine unangemessene Verallgemeinerung meiner Erfahrungen (»alle Herdplatten erzeugen Verbrennungen«, »hinter allen Büschchen lauert der Fuchs«, »alle Lehrer wollen mich hereinlegen«) vermieden werden, erst so können wir unsere Reaktionen auf Umweltreignisse differenzierter gestalten. Das hat aber auch zur Folge, dass scheinbar oder tatsächlich relevante Randgeschehnisse wie der Klassenraum, in dem die Prüfung daneben ging, oder der Pullover des prüfenden Lehrers ebenfalls emotional besetzt werden. So kann man erklären, dass wir zuweilen merkwürdige Zu- und Abneigungen ausbilden, die wir uns gar nicht recht erklären können.

Viele dieser emotionalen Konditionierungen passieren in einer Weise, die uns nicht ganz oder überhaupt nicht bewusst ist. Zum Teil finden sie in einer Zeit statt, in der wir noch gar kein Bewusstsein wie später als Jugendlicher oder Erwachsener haben, nämlich im Mutterleib oder in den ersten Tagen, Wochen und Monaten nach unserer Geburt. Während unser deklaratives, zu bewusster Erinnerung fähiges Gedächtnis noch gar nicht ausgebildet ist, lernt unser limbisches, emotionales Gedächtnis,

was in unserer Umgebung und an eigenen Handlungen gut oder schlecht, lustvoll oder schmerhaft, angenehm oder unangenehm ist. Indem bestimmte Geschehnisse einschließlich unserer eigenen Handlungen im limbischen System mit positiven oder negativen Gefühlen verbunden werden, erhalten sie eine *Bewertung*, und diese Bewertung trägt zu der Entscheidung bei, ob irgendetwas noch einmal getan oder gelassen werden soll, ob wir ein Geschehen, ein Ding, einen Ort oder eine Person aufsuchen oder sie vermeiden sollen. Dies erleben wir, sobald wir etwas älter geworden sind, als Gefühle, die uns raten, etwas zu tun oder zu lassen.

Da diese emotionale Bewertung seit dem Mutterleib ständig vorgenommen wird, ist es klar, dass sich im Laufe des Lebens ein ungeheuerer Schatz von Erfahrungen anhäuft, deren Details uns bewusstseinsmäßig gar nicht mehr gegenwärtig sind und sein können. Die meisten Dinge in unserem täglichen Leben tun wir intuitiv, d. h. abhängig von mehr oder weniger automatisierten Entscheidungen. Dabei wird das soeben Wahrgenommene (ein Gegenstand, eine Person, eine Entscheidungssituation) unbewusst identifiziert, und es wird das Vertrautheitsgedächtnis abgefragt, ob uns dies bereits bekannt ist, und das emotionale Gedächtnis wird nach eventuell vorliegenden emotionalen Bewertungen durchsucht. Wenn uns das Wahrgenommene dann bewusst wird, ist auch gleich ein bestimmtes Gefühl vorhanden, sofern wir bereits über entsprechende Erfahrungen verfügen. Das sel-

be gilt für Vorstellungen, die unbewusst in uns aufgerufen werden und dann von Gefühlen begleitet sind. Insbesondere Letzteres ist bei unserer Handlungsplanung wichtig. Wir überlegen uns, ob wir dies oder jenes tun sollen, und Gefühle werden in uns spürbar, die uns zu- oder abraten. Ist noch keine emotionale Erfahrung vorhanden oder ist das Ganze völlig neu, dann heißt das »Kommando«: Tu irgendetwas, das sinnvoll erscheint, sieh, was dies für Folgen hat und merk dir diese Folgen!

Gefühle – gleichgültig ob bewusst oder unbewusst – sind in diesem Sinne also *Ratgeber*, und zwar entweder als spontane Affekte, indem sie uns in Hinblick auf Dinge zu- oder abraten, die »angeborenermaßen« positiv oder negativ sind, oder aufgrund der *Erfahrungen* der positiven oder negativen Folgen unseres Handelns. Im Prinzip ist dies die vernünftigste Art, Verhalten zu steuern, und es ist kein Wunder, dass alle Tiere, die in einigermaßen komplexen Umwelten leben, über ein limbisches System und emotionale Konditionierung verfügen.

Warum brauchen wir ein Bewusstsein?

Wenn diese limbische Verhaltenssteuerung so wunderbar klappt, warum haben wir dann überhaupt ein Bewusstsein und die Fähigkeit zu Verstand und Vernunft? Wir erinnern uns daran, dass die limbischen Zentren zwar zur schnellen und nachhaltigen emotionalen Bewertung von Dingen, Personen und Geschehnissen in der Lage sind, dass sie aber nicht komplexe Sachverhalte verarbeiten und entsprechend auch nicht mittel- und langfristige Handlungsplanung betreiben können. Das limbische System ist hierin wie ein kleines Kind, das angesichts eines bestimmten Geschehens nur unmittelbare Vorstellungen über gut und schlecht, positiv und negativ, lustvoll und schmerhaft entwickeln kann und nicht über die Stunde und den Tag hinaus denkt. Anders aber als ein kleines Kind weiß das limbische System, dass es beim Vorliegen einer komplexen Situation gut daran tut, die Großhirnrinde und damit Verstand und Vernunft heranzuziehen. Dadurch werden wir zu vernünftigen Personen, die in der Lage sind, die Folgen ihres Handelns ruhig abzuwägen, anstatt impulsiv zu reagieren.

Der bewusstseinsfähige Cortex wird also immer dann eingeschaltet, wenn es darum geht, große Detailmengen zu beurteilen, verschiedenartige Gedächtnisinhalte zusammenzufügen und Handlungsplanung in neuartigen Situationen zu leisten. In unserer sozialen Umgebung ist das häufig der Fall, und dies scheint der Grund dafür zu sein, weshalb das Gehirn über viele Stunden unseres Tages unser Bewusstsein »eingeschaltet« lässt.

Wir können uns die Interaktion von Verstand und Gefühlen an einfachen Beispielen klar machen. Es geht etwa um die Entscheidung darüber, wo, wie und mit wem wir unseren diesjährigen Sommerurlaub verbringen werden. Niemand wird daran zweifeln, dass eine solche Entscheidung von hoher emotionaler Relevanz ist. Stehen die Grundentscheidungen über das Ferienland mehr oder weniger fest, so sind angesichts der heutigen hochkomplexen Tourismussituation Verstand und Vernunft

aufs Höchste gefordert: Wann ist für wie lange und für wie viel Geld und mit welchem Aufwand unser »Traumurlaub« zu realisieren? Diese Überlegungen können uns gut und gerne für einige Wochen beschäftigen.

Richtig kompliziert wird es, wenn wir eine attraktive berufliche Tätigkeit ausüben und ein noch verlockenderes Angebot für eine Tätigkeit in einer anderen Stadt erhalten. Soll ich bleiben oder gehen? Ich kriege in X mehr Gehalt, aber dafür sind die Mieten oder Häuserpreise höher. Hier bin ich mein eigener Chef, wenngleich in einem kleinen Betrieb, dort bin ich Leiter einer großen Abteilung. Hier wohnen meine Freunde, dort ist die Landschaft schöner und es ist näher zum geliebten Ferienhaus. Meine Frau hat hier einen guten Job, was wird sie in X machen? Da heißt es lange überlegen und Angebote und Gegenangebote einholen.

Wir sehen an diesem Beispiel, dass es in komplexen Situationen ohne Verstand und Vernunft nicht geht, denn nur diese Instanzen verfügen über die Fähigkeit, solche Situationen adäquat zu behandeln und insbesondere längerfristige Konsequenzen von Entscheidungen herauszuarbeiten. Genau dies zeichnet den verständigen und vernünftigen Menschen aus. Nicht zufällig entwickelt sich die Fähigkeit zu umsichtigem Handeln erst mit oder nach der Pubertät, denn erst dann reift der präfrontale und insbesondere orbitofrontale Cortex aus.

Wenn nun umgekehrt die Großhirnrinde so großartig ist und so verständige und vernünftige Ratschläge zu erteilen vermag, warum folgen wir diesen Ratschlägen nicht immer bereitwillig? Frankreich ist für dieses Jahr das allvernünftigste Ferienziel, aber dann fahren wir doch nach Norwegen. Ebenso wäre es vernünftig, im bisherigen Betrieb zu bleiben, aber wir kündigen und gehen nach X. Wir lassen uns auf eine Liebschaft ein und ruinieren damit wahrscheinlich unsere (scheinbar) gut funktionierende Ehe; oder wir halten aus irgendwelchen Gründen an einer Beziehung fest, die uns eigentlich nur noch Frustrationen verschafft.

Diese Beispiele sollen natürlich nicht suggerieren, wir würden trotz vernünftigen Denkens immer nur »aus dem Bauch heraus« entscheiden. Sie sollen nur demonstrieren, dass aus langem, vernünftigem Nachdenken und Abwägen von Handlungsalternativen und ihren Konsequenzen sich keineswegs automatisch eine vernünftige Entscheidung ergibt. Dies liegt daran, dass das limbische System, aber nicht das rationale System der Großhirnrinde, einen direkten Zugriff auf diejenigen Systeme in unserem Gehirn hat, welche letztendlich unser Handeln bestimmen. Dies geschieht über die so genannten Basalganglien, die tief im Innern unseres Gehirns lokalisiert sind und völlig unbewusst arbeiten. Sie bereiten jede Art von Handlungen vor, bei denen wir das Gefühl haben, wir hätten sie gewollt. Dies jedoch ist eine Täuschung, denn die Basalganglien stehen weitgehend unter Kontrolle des limbischen Systems.

Das limbische System hat also gegenüber dem rationalen corticalen System das erste und das letzte Wort. Das erste beim Entstehen unserer Wünsche und Zielvorstellungen, das letzte bei der Entscheidung darüber, ob das, was sich Vernunft

und Verstand ausgedacht haben, auch wirklich so und jetzt und nicht anders getan werden soll. Der Grund hierfür ist, dass alles, was Vernunft und Verstand als Ratschläge erteilen, für den, der die eigentliche Handlungsentcheidung trifft, emotional akzeptabel sein muss.

Es gibt also ein rationales Abwägen von Handlungen und Alternativen und ihren jeweiligen Konsequenzen, es gibt aber kein rationales Handeln. Am Ende eines noch so langen Prozesses des Abwägens steht immer ein *emotionales Für oder Wider*. Die Chance der Vernunft ist es, mögliche Konsequenzen unserer Handlungen so aufzuzeigen, dass damit starke Gefühle verbunden sind, denn nur durch sie kann Verhalten verändert werden.

Möglichkeiten und Grenzen der Verhaltensänderung

Diese Einsicht hat nachhaltige Konsequenzen für die Frage, wie man menschliches Verhalten ändern kann, und zwar sowohl dasjenige einzelner Menschen als auch das großer Menschengruppen bis hin zur Bevölkerung eines Staates oder ganzer Staaten. Hier besteht die paradoxe Situation, dass sowohl die einzelnen Menschen von sich selbst annehmen, ihr Verhalten könne schnell verändert werden, wenn sie nur wollten, als auch Politiker dazu neigen, die Fähigkeit zur Verhaltensänderung in der Bevölkerung relativ hoch einzuschätzen.

Diese Sichtweisen werden gestützt durch das traditionelle Menschenbild, das davon ausgeht, Menschen würden sich ändern, wenn man ihnen nur überzeugende Argumente für diese Verhaltensänderung lieferte. Hierin besteht der »Appell an die Einsicht«, der im Umgang mit Menschen so beliebt ist. Man wundert sich dann, dass Personen diesen höchst einleuchtenden Argumenten nicht folgen und nicht das tun, was eigentlich für sie das Beste ist (aus unserer Sicht natürlich). Gängige Theorien der heutigen Sozialwissenschaften gehen in ähnlicher Weise davon aus, dass Menschen in Entscheidungssituationen auf »rationale« Weise die Vor- und Nachteile von Handlungsalternativen abwägen. Dies nennt man im angelsächsischen Sprachraum die »Rational Choice-Theorie« oder den »Ökonomischen Ansatz«. Allerdings hat man auch hier inzwischen eingesehen, dass die Rationalität menschlichen Verhaltens nicht ein vordergründiges emotionsloses Abwägen von Vor- und Nachteilen ist, sondern dass hier neben dem Verstand auch Gefühle, neben bewussten Entscheidungen auch unbewusste Prozesse eine wichtige Rolle spielen.

Deshalb werden inzwischen »Einschränkungen« (»constraints«) des rationalen menschlichen Verhaltens formuliert. Zu diesen gehören zum Beispiel der *Besitztumseffekt*, der lautet, dass Menschen dazu tendieren, dasjenige, was sie besitzen, in seinem Wert höher einzuschätzen als das, was sie

Made by Merck

Reagenzien, Chemikalien oder Testsätze – Merck Qualität setzt Standards

Merck ist einer der Marktführer im Bereich der Analytischen Reagenzien und Merck Produkte sind in fast allen Laboratorien der Welt zu finden.

Innovative Produkte wie die Chromolith HPLC-Säulen für die analytische Chromatographie aber auch Schnell- und Monitoring-Tests für die Lebensmittel- und Umweltanalytik, Nährmedien für Mikrobiologie sowie Färbelösungen für die Mikroskopie sind Teil unserer umfangreichen Produktpalette.

Ob Analytische Chemie, Synthese oder Produktion – Merck bietet innovative Produkte in international anerkannter hoher Qualität.

Merck KGaA
64271 Darmstadt
Germany
AR@merck.de
www.merck.de

MERCK

durch Änderung ihres Handelns erreichen könnten, auch wenn der ökonomische Wert beider Güter objektiv gleich ist. Ein zweiter wichtiger Faktor ist die *Furcht vor dem Risiko*, das sich in einem beträchtlichen Beharrungsvermögen niederschlägt: Menschen tendieren dazu, ihr bisheriges Verhalten auch unter erheblichen Kosten fortzusetzen, wenn Verhaltensalternativen mit unkalkulierbaren Risiken verbunden sind. Berücksichtigt ist die *Kurzsichtigkeit* menschlichen Handelns: Nahe liegende Ereignisse haben subjektiv ein viel höheres Gewicht als ferner liegende. Entsprechend werden nahe liegende Ziele eher verfolgt als ferner liegende, gleichgültig, welche glasklaren Argumente für die ferner liegenden Ziele sprechen.

Von besonderer Tragweite ist der Umstand, dass Menschen in der Regel nur wenige Optionen betrachten, meist nur zwei, und keineswegs alle, deren Erwägung vernünftig wäre. Sie hören mit dem Abwagen meist dann auf, wenn sie auf eine *halbwegs befriedigende* Lösung gestoßen sind, auch wenn die Chance besteht, dass es noch wesentlich günstigere Lösungen gibt. Entsprechend lautet die Einsicht führender gegenwärtiger Sozialwissenschaftler: Menschliches Handeln geschieht zwar nach einer Kosten-Nutzen-Rechnung, allerdings unter Abwägung des Nutzens von Rationalität und Affektivität. Der Einsatz von Verstand und Vernunft ist an einen ausreichenden Zugang zu Informationen gebunden, der begrenzt sein kann und

Zeit und Aufwand erfordert. Manchmal ist es günstiger, relativ spontan zu reagieren und nicht lange rational zu analysieren. Rationalität ist danach ein Instrument zur Bewältigung komplexer, d. h. unübersichtlicher Situationen, aber es gibt Situationen, in denen Affekte wichtiger sind als Verstand und Vernunft.

Der hier vorgetragene Standpunkt geht weiter: Rationalität ist eingebettet in die affektiv-emotionale Grundstruktur des Verhaltens; das limbische System entscheidet, ob, wann und in welchem Maße Verstand und Vernunft zum Einsatz kommen. Nicht die Optimierung von Kosten-Nutzen-Verhältnissen ist das wichtigste Kriterium menschlichen Entscheidens und Handelns, sondern das Aufrechterhalten eines möglichst stabilen und in sich widerspruchsfreien emotionalen Zustandes in der handelnden Person. Dies meinen Menschen, die eine wichtige Entscheidung treffen müssen, wenn sie sagen: »Mit dieser Entscheidung muss ich leben können!« Menschliche Entscheidungen und Handlungen sind niemals grundlos, nur liegen die Gründe dafür manchmal ganz offen und sind für die Mitmenschen nachvollziehbar, manchmal sind sie selbst dem Handelnden überhaupt nicht bewusst. Es gehört dann große Menschenkenntnis dazu, sie zu erkennen.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 65

Prof. Dr. phil. Dr. rer. nat.

Gerhard Roth

geb. 1942 in Marburg. Studium der Philosophie, Germanistik und Musikwissenschaft in Münster und Rom; 1969 Promotion in Philosophie an der Universität Münster. Danach Studium der Biologie in Münster und Berkeley; 1974 Promotion in Zoologie in Münster. 1975–1976 Wiss. Assistent an der Gesamthochschule Kassel. Seit 1976 Professor für Verhaltensphysiologie an der Universität Bremen und Direktor am Institut für Hirnforschung; seit 1997 Gründungsrektor des Hanse-Wissenschaftskollegs der Länder Bremen und Niedersachsen.

Forschungsgebiete:

Verhaltensphysiologie, Entwicklungsneurobiologie, neurobiologische Grundlagen des menschlichen Verhaltens und des Bewusstseins, Theoretische Neurobiologie.



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

Unsere Ingenieure beschäftigen sich

mit vielen Variablen.

Aber auch mit einer Konstanten.

Der 911.



PORSCHE

Quantenmechanik am Rande des Chaos Physik mesoskopischer Systeme

Quantenphysik

Moderne experimentelle Verfahren ermöglichen die gezielte Präparation mesoskopischer elektronischer Systeme, die hinsichtlich ihrer Größe im Grenzbereich zwischen klassischer Welt und Quantenwelt angesiedelt sind. Die neuartigen Eigenschaften dieser Systeme sind geprägt durch komplexe Quantenphänomene, deren Erklärung Konzepte erfordert, die Methoden der Quantentheorie mit Verfahren der nichtlinearen Dynamik verknüpfen. Insbesondere scheint ein tiefer Zusammenhang zwischen klassischem Chaos und universellen Quanteneffekten zu bestehen, dem die Quantenchaosforschung auf der Spur ist.

Den Schlüssel zur mikroskopischen Welt der Elementarteilchen, Atome und Moleküle liefert zweifellos die Quantentheorie. Hier versagt die uns durch die tägliche Erfahrung vertraute klassische Physik, die Vorgänge in der makroskopischen Welt zumeist adäquat erklärt. Die beiden Welten und die sie beschreibenden Theorien der Quantenmechanik bzw. klassischen Mechanik blieben traditionell weitgehend getrennt. Häufig sind es aber gerade die Grenzbereiche und Schnittstellen zwischen benachbarten Disziplinen, an denen besonders interessante Phänomene zu Tage treten, deren Verständnis neuartige methodische Zugänge und Konzepte zur Voraussetzung hat. Für den Bereich zwischen Mikro- und Makrophysik hat sich in den letzten Jahren der Begriff *Mesoskopische Physik* (abgeleitet aus dem Griechischen von *mésos*: »der mittlere«) etabliert. Diese hat einen enormen Aufschwung dadurch erfahren, dass experimentelle Methoden der Nanotechnologie heutzutage die gezielte Präparation und Manipulation mesoskopischer Strukturen mit neuartigen Eigenschaften ermöglichen. Paradebeispiele sind Halbleiterstrukturen im Bereich von Nanometern (ein Millionstel

Millimeter) bis Mikrometern (ein Tausendstel Millimeter). Mesoskopische Systeme weisen zum einen Quanten-Interferenzeffekte auf, zeigen aber gleichzeitig noch Züge der klassischen Newton'schen Mechanik. Inwiefern erkennt man nun beim Übergang von der Makro- zur Mikrowelt noch Spuren der klassischen Dynamik, insbesondere von Chaos, im dazu korrespondierenden Quantensystem? Wie äußert sich die Balance zwischen Chaos in der klassischen Physik und dem stärkeren Ordnungsprinzip der Quantenphysik auf Grund der Quantelung als zusätzlichem Strukturelement?

Ordnung und Chaos in Billards

Um das Wechselspiel zwischen klassischem Chaos und Quantenphysik näher zu verstehen, muss zunächst der Begriff des Chaos präzisiert werden. Die Bewegung von Objekten erfolgt gemäß strengen physikalischen Gesetzen: Bei vorgegebenen Anfangsbedingungen ist der Zustand eines sich bewegenden makroskopischen Körpers, sind, genauer gesagt, Größen wie sein Ort und seine Geschwindigkeit, zu jedem Zeitpunkt durch die Gesetze der Mechanik eindeutig vorbestimmt. Chaotische klassische Dynamik ist nun dadurch gekennzeichnet, dass trotz derartiger deterministischer Gesetze die Bewegung praktisch nicht auf lange Zeiten vorhersagbar ist, da kleinste Abweichungen oder Fehler in den Anfangsbedingungen sich rapide vergrößern. Man spricht daher von deterministischem Chaos, das durch die Struktur der beschreibenden Gesetze entsteht und keineswegs dem Zufall unterliegt.

Der Unterschied zwischen geordneter (regelmäßer) und chaotischer Bewegung lässt sich am Billardspiel verdeutlichen. Versucht ein Spieler, wie in 1 links illustriert, die rote mit der weißen Kugel, ggf. durch Spiel über mehrere Bänder, zu treffen, so wächst der Fehler in der Anfangsbedingung, hier die Abweichung von der idealen Stoßrichtung

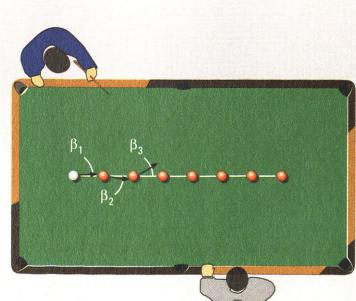
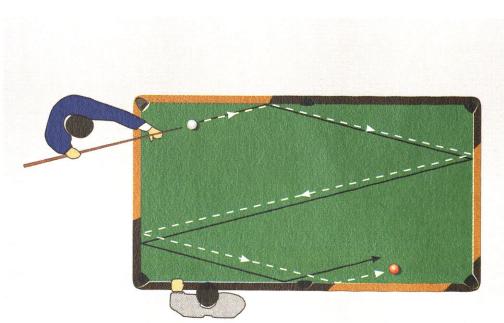
1 Ordnung und Chaos beim Billardspielen.

links:

geordnete, reguläre Bewegung:
eine anfängliche Ungenauigkeit
beim Stoß der weißen Kugel
wächst langsam (linear) an.

rechts:

chaotische Dynamik:
der anfängliche Fehler (im Winkel
bezüglich der Horizontalen)
wächst rasch (exponentiell) an.



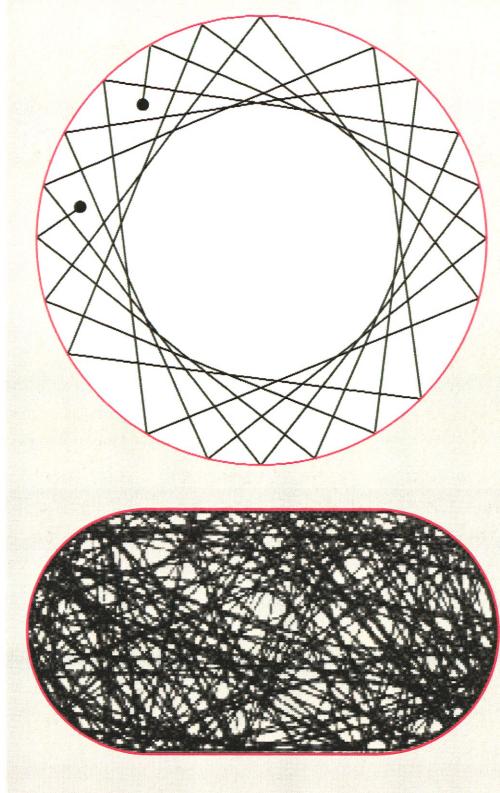
(markiert durch die gestrichelte weiße Linie), langsam und zwar linear; die Bewegung ist regulär. Das Element des Chaos erhält Einzug, wenn viele Kugeln im Spiel sind, wie beispielsweise die auf einer Linie aufgereihten Kugeln in 1 rechts. Wir stellen die Frage, wie viele der roten Kugeln sich durch möglichst präzises horizontales Anspielen der linken weißen Kugel sukzessive in Bewegung versetzen lassen. Es zeigt sich, dass der Winkel β_n , mit der sich die n-te Kugel gegenüber der Horizontalen bewegt, nachdem sie von der vorhergehenden Kugel getroffen wurde, exponentiell als Funktion von n anwächst, also extrem sensitiv vom Anfangsfehler im Winkel β_1 , mit dem die weiße Kugel angespielt wird, abhängt. Das hat zur Folge, dass ein Hobbybillardspieler nur etwa zwei rote Kugeln (im Abstand von 30 cm) in Bewegung setzen wird, ehe die Kettenreaktion abbricht. Um alle sieben, über eine Distanz von zwei Metern angeordneten, roten Kugeln sukzessive zu spielen, müsste der Anfangsfehler schon kleiner als 10^{-5} Grad sein. Das käme der Genauigkeit gleich, die erforderlich ist, um eine fünf km entfernte Kugel durch Anspielen der weißen Kugel zu treffen! Also auch ein noch so trainierter Profispiel wird niemals alle sieben roten Kugeln treffen, sondern nur etwa vier.

Das Beispiel verdeutlicht, dass Vorhersagen über die zeitliche Entwicklung chaotischer Systeme für längere Zeiten eine extrem präzise Kenntnis aller Anfangsbedingungen voraussetzen und deshalb so schwierig sind. Das ist auch der Grund dafür, dass Wetterprognosen prinzipiell nur für wenige Tage möglich sind und sein werden (streng genommen ist das Wetter allerdings nicht rein chaotisch, sondern ein komplexes System, das sich durch vielschichtiges Ineinandergreifen von geordneter und chaotischer Bewegung auszeichnet).

Die Bewegung einzelner Teilchen (Kugeln) im Billard hängt zusätzlich essentiell von der Geometrie des reflektierenden Randes ab. In einem kreisförmigen Billard 2 oben bewegen sich Teilchen auf regulären Bahnen; ein Billard in der Form eines Stadions 2 unten führt dagegen zu chaotischer Dynamik, die sich in irregulären Trajektorien manifestiert.

Das klassische Konzept der Teilchenbahn verliert in der Quantenphysik seine Bedeutung. Mikroskopische Objekte wie beispielsweise Elektronen werden in der Quantenmechanik durch Wellen beschrieben. Die Amplitude einer Welle an einem bestimmten Ort ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit, das Quantenobjekt bei einer Messung an diesem Ort zu finden. Dadurch trägt die Quantenmechanik inhärent statistische Züge, auch wenn die ihr zu Grunde liegenden Gesetze sehr wohl kausal sind. Weiterhin zeigen mikroskopische Objekte auf Grund ihrer Wellennatur Phänomene wie Interferenz und Beugung, wie man sie aus der Optik kennt. Die Abbildung 3 stellt eine solche quantenmechanisch berechnete stehende Welle in einem Stadion-»Quantenbillard« dar. Die roten Spitzen markieren Bereiche hoher Aufenthaltswahrscheinlichkeit. Das kompliziert und unstrukturiert wirkende Wellenmuster scheint qualitativ das chaotische Verhalten der korrespondierenden Trajektorie eines klassischen Teilchens im Stadionbillard 2 unten widerzuspiegeln.

Teilchenbahnen in unterschiedlichen Billards

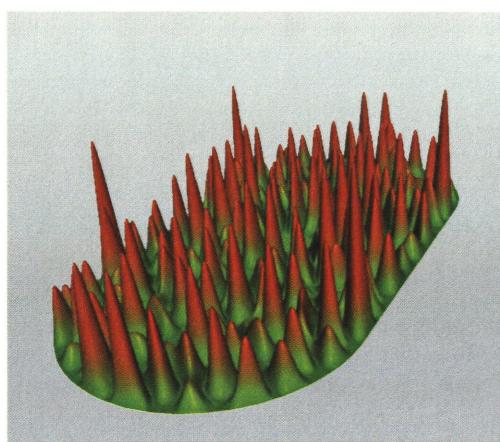


2 Teilchenbahnen in Billards.

oben:
Stabile, reguläre Bahn eines
Teilchens in einem Kreisbillard.
unten:
Chaotische Trajektorie in einem
Stadionbillard.

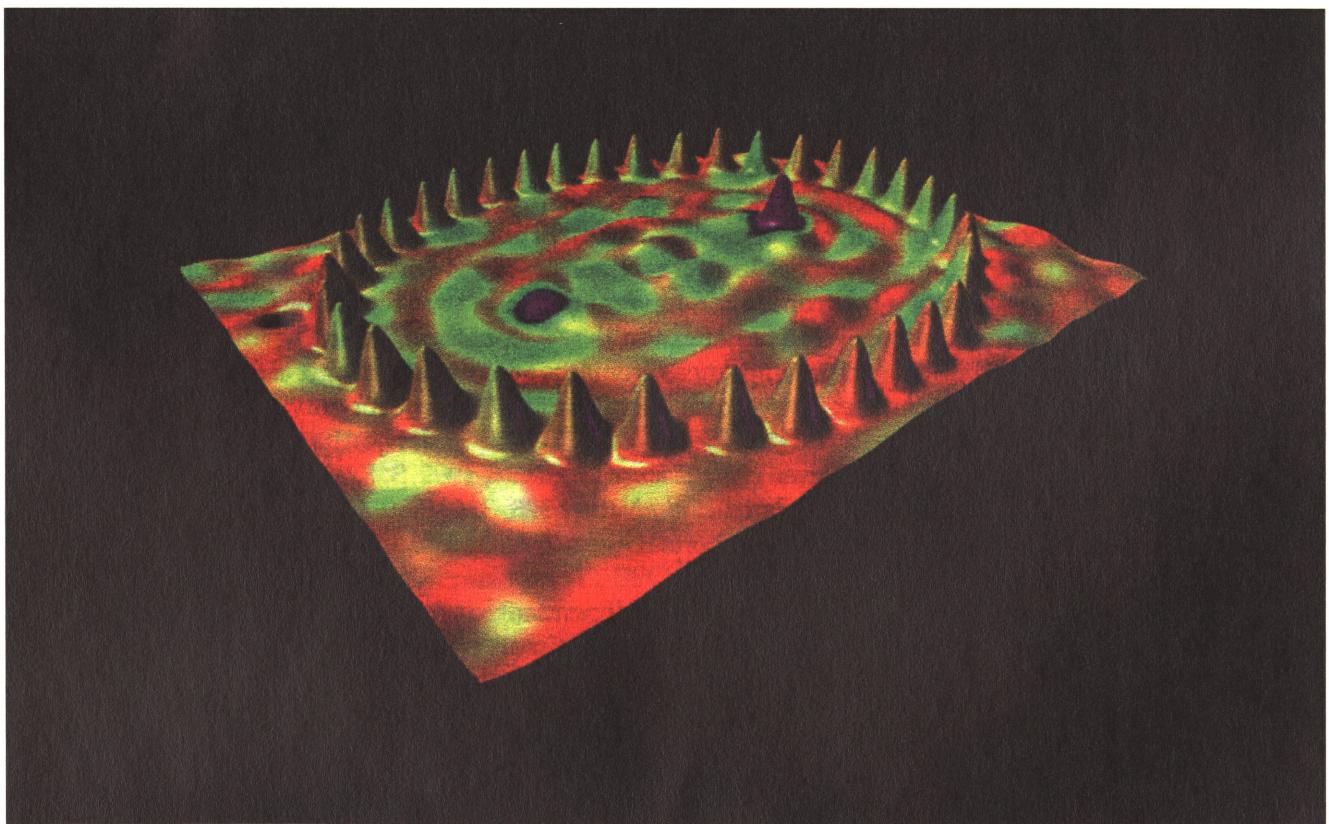
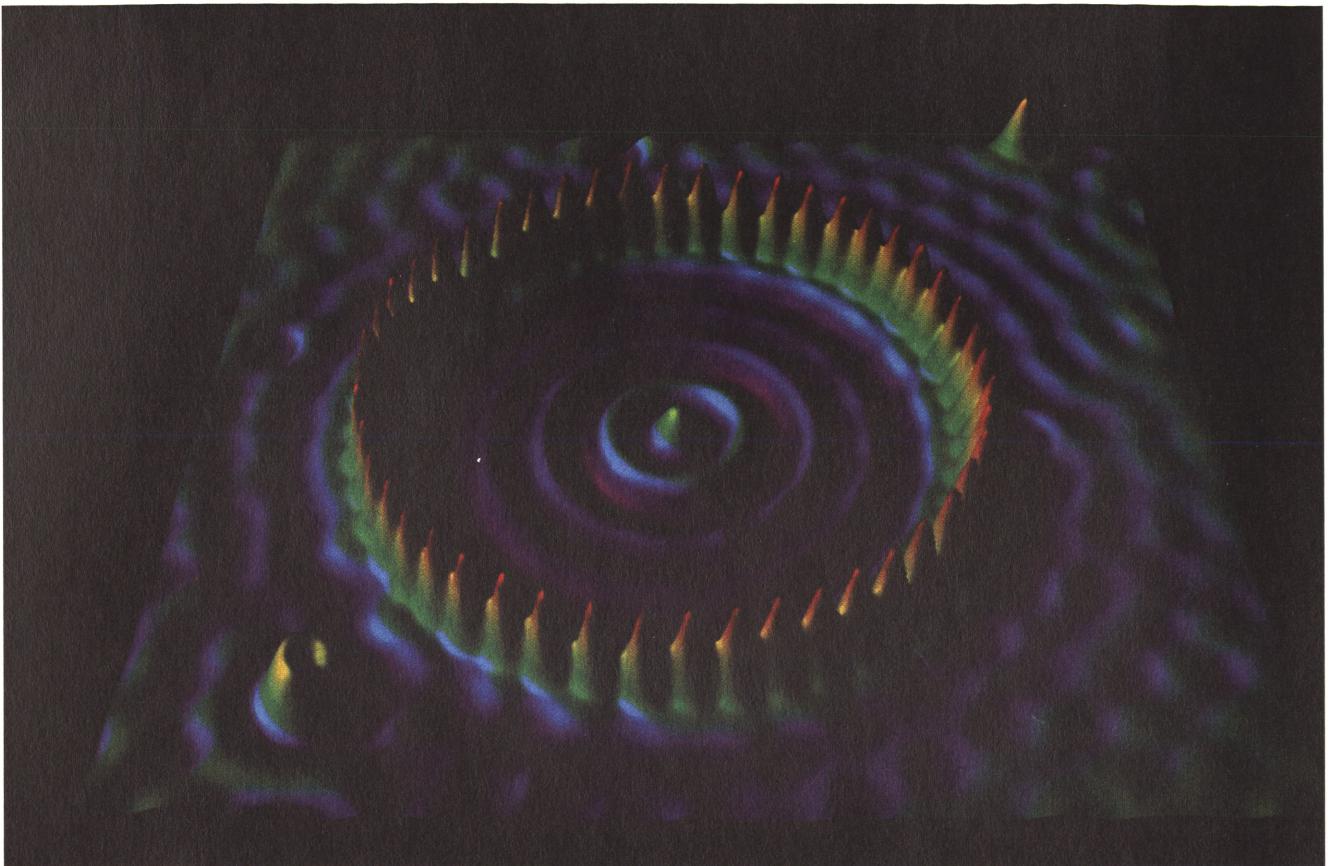
Nanostrukturen als Elektronenbillards

Durch die rasanten Fortschritte in der Nanotechnologie kann man heute entsprechende Quantenbillards für Elektronen maßschneidern und deren Wellennatur direkt sichtbar machen. In einem bahnbrechenden Experiment wurden dazu mit Hilfe der Spitzte eines Rastertunnelmikroskops einzelne Eisenatome auf einer Kupferoberfläche verschoben und mit atomarer Genauigkeit so positioniert, dass sie, wie auf einer Perlenkette aufgereiht, kreis- und stadionförmige Begrenzungen bilden 4. Diese Atomketten (engl. »quantum corrals«) wirken nun wie künstliche Käfige für frei bewegliche Elektronen an der Kupferoberfläche innerhalb der jeweiligen Berandung. Die so eingesperrten Elektronen bilden stehende Wellen aus. Wiederum mit einem Rastertunnelmikroskop ließen sich nun diese Elektronenwellen, und damit die Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines einzelnen Elektrons, durch Ab-



3

Quantenbillard. Berechnete Ver-
teilung der quantenmechanischen
Aufenthaltswahrscheinlichkeit
eines Elektrons in einem stadion-
förmigen Billard.

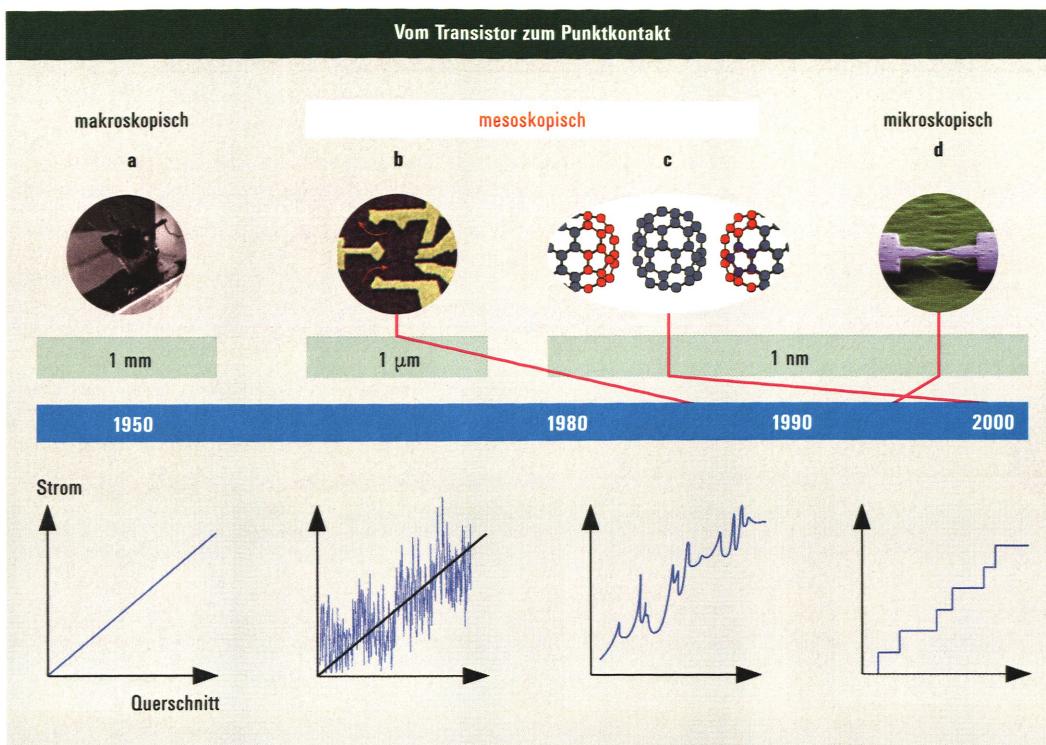


4
Stehende Elektronenwellen.
Rastertunnelmikroskop-Aufnahmen von stehenden Elektronenwellen in Kästen mit kreis- (oben) und stadionartiger (unten) Berandung, sogenannten »quantum corrals«.

rastern der Kupferoberfläche an jedem Punkt der künstlichen Kavität ausmessen. Diese Experimente stellen den bisher wohl unmittelbarsten Nachweis der Wellennatur von Elektronen dar. Die beobachtete Elektronenwelle in der Kavität mit kreisförmiger Berandung bildet symmetrische konzentrische Ringe **4 oben**, während die stehende Elektronenwelle in der Stadiongeometrie wesentlich unregel-

mäßiger Strukturen aufweist **4 unten**; letztere ähneln der mit Hilfe der Quantenmechanik berechneten Verteilung in **3**. Augenscheinlich spiegeln die Wellenmuster in den Elektronenbillards, zumindest qualitativ, die Charakteristika der korrespondierenden Dynamik (geordnet versus chaotisch) von Elektronen im Bild klassischer Teilchen wider, wovon man sich durch Vergleich von **2** und **4** über-

Vom Transistor zum Punktkontakt



5

Prototypen elektronischer Bauelemente:

- a Millimeterbereich (Transistor)
- b mesoskopischer Bereich (Halbleiter-Mikrostruktur)
- c Bereich molekularer Skalen (C₆₀-Molekül als Brücke zwischen zwei Nanoröhren)
- d atomarer Bereich (Einzelatom als punktförmigem Kontakt).

Der Strom durch einen makroskopischen Körper steigt linear mit dem Querschnitt a, während der Strom durch Mikro- und Nanostrukturen Quantenfluktuationen b und c und Quantensprünge d aufweist.

zeugen kann. Deterministisches Chaos ist zwar ein rein klassisches Phänomen; es scheint jedoch im mesoskopischen Bereich Fingerabdrücke im korrespondierenden Quantensystem zu hinterlassen.

Vom Transistor zur Einzmolekül-Elektronik

Um den verborgenen Zusammenhang zwischen klassischer und Quantenphysik näher zu beleuchten, wenden wir uns einem anderen fundamentalen Aspekt von Quantensystemen zu, der Quantelung physikalischer Größen wie beispielsweise der Energie. Die Existenz diskreter, quantisierter Energieniveaus zeigt sich bei Experimenten mit elektronischen Nanostrukturen typischerweise in deren elektrischem Leitfähigkeitsverhalten. Je kleiner die elektrischen Leiter sind, desto enger sind die Bereiche, in denen die Elektronen eingeschnürt sind und desto stärker wird der Einfluss der Quantelung. Diese Tendenz ist in 5 dokumentiert. Die Abbildung zeigt Paradebeispiele künstlicher, dimensionsreduzierter Elektronenleiter unterschiedlichster Größe: Oben links 5 a der Transistor, das Arbeitspferd der heutigen Elektronik (Größenordnung ein Millimeter), daneben eine etwa einen Mikrometer (ein Tausendstel Millimeter) große Halbleitermikrostruktur 5 b. Rechts davon sind Beispiele molekularer und atomarer ›Drähte‹ dargestellt, bei denen einzelne Moleküle oder Atome eine leitende Brücke zwischen zwei Elektroden bilden: Abbildung 5 c zeigt den Vorschlag unserer Arbeitsgruppe in Regensburg für einen molekularen Transistor auf Basis eines C₆₀-Moleküls, das eine Brücke zwischen zwei sogenannten Kohlenstoff-Nanoröhren bildet, und 5 d einen aus einem einzigen Atom bestehenden Punktkontakt.

Solche allerkleinsten Leiter sind erst seit wenigen Jahren in Grundlagenexperimenten realisiert worden. Das hochaktuelle Forschungsfeld der molekularen Elektronik folgt der Vision, derartige Leiter in

sehr ferner Zukunft als Grundbausteine einer neuartigen Computertechnologie zu verwenden, um damit der Miniaturisierung von Chips bis auf molekulare Skalen den Weg zu ebnen und Quanteneffekte gezielt auszunutzen.

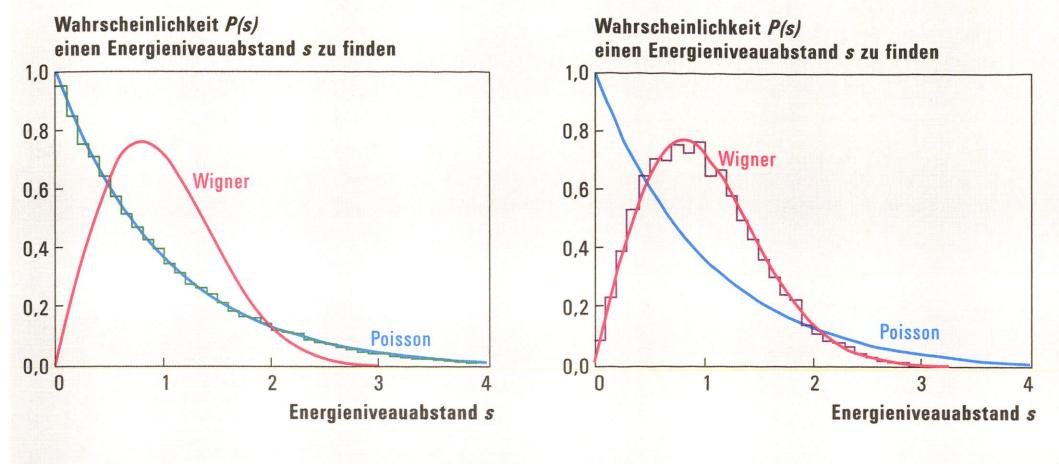
Der *untere Teil* der Abbildung 5 zeigt schematisch, wie sich bei fester angelegter elektrischer Spannung der Strom ändert, wenn der Querschnitt des jeweiligen Leiters vergrößert wird. Der gleichförmige Anstieg des Stroms 5 a unten für den Transistor als einem makroskopischen elektronischen Bauelement entspricht dem Ohm'schen Gesetz. Der Strom in Strukturen, die nur aus einer oder wenigen Atomlagen bestehen, weist dagegen charakteristische Stufen 5 d unten auf, die Quanteneffekte markieren. Die klassische Elektrizitätslehre versagt für quantisierten Strom auf atomaren und molekularen Skalen. Jeder Sprung im Strom resultiert daher, dass zusätzliche diskrete Energieniveaus in den Mikroleitern mit Elektronen, die zum Strom beitragen, besetzt werden. Analog dazu zeigt der Strom durch die C₆₀-Molekülbrücke Spitzen 5 c unten, sofern die Energie der Elektronen in den Zuleitungen mit den molekularen Energieniveaus übereinstimmt.

Im mesoskopischen Übergangsregime zwischen klassischer Physik und Quantenphysik beobachtet man bei sehr tiefen Temperaturen starke Fluktuationen des Stroms, die jede Ordnung vermissen lassen 5 b unten. Diese scheinbar erratischen Sprünge sind quantenmechanischen Ursprungs, während der mittlere lineare Anstieg des Stroms (durchgezogene Linie) der klassischen Elektrizitätslehre gehorcht. Mesoskopische Systeme weisen also erneut sowohl klassische als auch quantenmechanische Züge auf.

Die mesoskopische Struktur in 5 b besteht aus Schichten verschiedener Halbleitermaterialien, an deren Grenzen sich Elektronen sammeln und dadurch ein quasi zweidimensionales Elektronengas bilden. Durch negativ geladene Elektroden, die hel-

Histogramm der Energieniveauabstände

links:
eines regulären Quantenbillards,
rechts:
eines chaotischen Quantenbillards.
Die Abzisse s ist ein Maß für den Energieniveauabstand und $P(s)$ die Wahrscheinlichkeit einen Abstand s zu finden.



len Bereiche in 5 b, die wie reflektierende äußere Wände wirken, lässt sich das Elektronengas in einer solchen »Sandwich«-Struktur räumlich weiter einschränken. Somit ist es möglich, eine definierte Anzahl von Elektronen in einem kleinen Raumbereich einzusperren und zu untersuchen. Die Geometrie der Berandung kann dabei fast beliebig gestaltet werden. Sie begrenzt die ansonsten freie, sogenannte ballistische Bewegung der Elektronen in diesen hochreinen Halbleitermaterialien. Das schon vorher bemühte klassische Bild eines Elektronenbillards, in dem sich die Elektronen wie Billardkugeln im Inneren eines Kastens mit vollständig reflektierenden Wänden kräftefrei bewegen, kommt der experimentellen Realität auch in diesen Halbleiterstrukturen in vielerlei Hinsicht erstaunlich nahe. Andererseits weisen derartige ballistische Mikrostrukturen, wenn sie nahezu abgeschlossen sind, ein diskretes Energiespektrum auf und werden deshalb auch oft als »künstliche Atome« bezeichnet. Die Quantenfluktuationen im Leitwert dieser Halbleiter-Mikrostrukturen 5 b sind Signaturen einer immensen Zahl von solchen quantisierten Energieniveaus der eingesperrten Elektronen, die sich im allgemeinen nicht mehr wie in einem natürlichen Atom individuell klassifizieren lassen. Eine theoretische Untersuchung der Stromfluktuationen bzw. der Energieniveaus legt daher eine statistische Analyse nahe.

Spektrale Statistik in komplexen Quantensystemen

Statistische Verfahren zur Interpretation von Energiespektren gehen auf die Kernphysik zurück. Dort stellte sich in den 1960er Jahren das Problem, eine große Zahl ähnlich komplex erscheinender Energiespektren wie dem in 5 b geeignet auszuwerten. Man fand, dass sich die Spektren verschiedenster Atomkerne mit Hilfe von Abstandsverteilungen der Energieniveaus klassifizieren lassen. Die Vorgehensweise ist dabei wie folgt: Man bestimmt jeweils die Energiedifferenz zwischen zwei aufeinander folgenden diskreten Niveaus im Energiespektrum und teilt diese durch den mittleren Abstand Δ aller Energieniveaus: $s = (E_{n+1} - E_n)/\Delta$. Dann zählt man, wie viele Paare benachbarter Niveaus einen bestimmten Abstand s haben und trägt die Häufigkeitsverteilung der Abstände als Histogramm über s auf.

Die auf diese Weise gewonnenen Abstandsverteilungen der quantenmechanisch berechneten Energieniveaus sind in Abbildung 6 exemplarisch für zwei Mikrostrukturen mit kreisförmiger bzw. deformierter Berandung wiedergegeben. Es zeigt sich, dass das linke Histogramm, das die Daten der Kreisstruktur enthält, sehr gut mit einer durchgezogenen Poisson-Kurve $P(s) = e^{-s}$ (blaue Linie in 6 links) übereinstimmt: Hier ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass benachbarte Energieniveaus eng nebeneinander liegen (d. h. s ist klein), besonders hoch und fällt mit wachsendem s exponentiell ab. Dagegen drückt das Histogramm 6 rechts aus, dass benachbarte Energiewerte einen bestimmten Abstand wahren; man sagt, sie stoßen sich ab, denn der wahrscheinlichste Abstand liegt hier etwa bei $s = 1$. Diese Abstandsverteilung der Energieniveaus entspricht einer so genannten Wigner-Verteilung (rote Linie in 6 rechts). Die Energien der Anregungen mesoskopischer Systeme liegen im Millielektronenvolt-Bereich (1 Elektronenvolt = 1 eV entspricht etwa 10^{-19} Joule). Die Wigner-Verteilung findet man nicht nur für Elektronen in Mikrostrukturen, sondern beispielsweise auch für die Spektren der eingangs erwähnten Atomkerne mit sehr hohen Anregungsenergien, sowie für hochangeregte Atome und Moleküle. Eingehende statistische Analysen haben das bemerkenswerte Ergebnis bestätigt, dass Quantensysteme aus verschiedenen Disziplinen der Physik mit Energien im Bereich von Millielektronenvolt (1 meV = 0,001 eV) bis Megaelektronenvolt (1 MeV = 1 000 000 eV) exakt die gleiche, durch die Wigner-Kurve beschriebene Energieniveaustatistik aufweisen! Dieser Befund ist ein beeindruckendes Zeugnis für Universalität in der Quantenphysik.

Es stellt sich natürlich die Frage nach dem zu Grunde liegenden, verbindenden Strukturelement dieser denkbar unterschiedlichen Quantensysteme. Bekanntlich sind mesoskopische Systeme im Übergangsregime zwischen klassischer Physik und Quantenphysik angesiedelt. Die klassische Dynamik manifestiert sich nicht nur in den Mustern der Elektronenwellen, sondern insbesondere auch in der spektralen Statistik. Man kann beweisen, dass die Abstandsverteilung von Quantensystemen, deren klassisches Gegenstück stabile, reguläre



7

Wechselwirkende Elektronen.
Numerisch berechnete Ladungs-
dichteVerteilung von 14 wechsel-
wirkenden Elektronen in einem
Billardmodell einer Nanostruktur.
Aufgrund der Coulomb-Abstoßung
sind die Elektronen am Rande des
Billards lokalisiert.

Dynamik aufweist, der Poisson-Verteilung genügt **6** links. Demgegenüber folgt die Verteilung der Abstände benachbarter Energieniveaus eines Quantensystems immer dann einer Wigner-Verteilung, wenn die korrespondierende klassische Bewegung chaotisch ist. Diese Vermutung von Oriol Bohigas, Marie-Joya Giannoni und Charles Schmid aus der Mitte der 1980er Jahre ist zwar inzwischen durch eine Vielzahl von Experimenten und numerischen Berechnungen immer wieder bestätigt worden; ein wirklicher Beweis für dieses erstaunliche Verhalten, das Quantensysteme am Rande des Chaos in universeller Weise zu einen scheint, steht aber trotz intensiver Bemühungen bis heute aus. Dazu ist ein noch tieferes Verständnis des inneren Zusammenhangs zwischen der klassischen und der Quantenphysik von Nöten, dem Forschungsfeld, das man als Quantenchaos bezeichnet. Sogenannte semiklassische Theorien, die einen Zusammenhang zwischen klassischen (Elektronen-)Bahnen und Quantenspektren herstellen, erscheinen hierzu prädestiniert. Sie haben ihren historischen Ursprung in der Bohr'schen Atomtheorie, die aus *ad hoc*-Quantisierungsbedingungen für die klassischen Elektronenbahnen diskrete Energieniveaus des Wasserstoffatoms mit erstaunlicher Genauigkeit vorhersagte. Die entsprechende Übertragung der Bohr'schen Ideen zur Berechnung des Grundzustands des Heliumatoms schlug in den 1920er Jahren fehl, trotz vielfacher Bemühungen der namhaftesten Physiker der damaligen Zeit, wie Bohr, Heisenberg und Sommerfeld. Heute weiß man, dass chaotische Bewegung der Elektronen im Helium die alte Atomtheorie zum Scheitern verurteilte. Mit Hilfe moderner semiklassischer Theorien, die chaotische Dynamik adäquat berücksichtigen, ist uns inzwischen die Berechnung quantisierter Ener-

gieniveaus im Helium gelungen. Derartige semiklassische Methoden werden in unserer Arbeitsgruppe in Regensburg weiterentwickelt, um den Gründen für die Universalität in der spektralen Statistik auf die Spur zu kommen. Gerade in der jüngsten Vergangenheit konnten wir hier deutliche Fortschritte machen, nachdem wir subtile Korrelationen zwischen klassischen periodischen Bahnen entdeckten, die der Schlüssel für das Verständnis der quantenmechanischen Niveauverteilungen zu sein scheinen.

Unabhängig von derartigen theoretischen Problemstellungen ist die Niveauabstandsanalyse heutzutage ein sehr effizientes praktisches Diagnoseinstrument, um aus gemessenen oder berechneten Niveaus eines Quantensystems auf die zu Grunde liegende klassische Dynamik zu schließen.

Die bisherige Diskussion erfolgte unter der vereinfachenden Annahme, dass sich die Elektronen in einer festkörperbasierten Nanostruktur praktisch nicht gegenseitig beeinflussen. Die Näherung nicht-wechselwirkender Elektronen ist häufig erstaunlich gut erfüllt, insbesondere wenn man es mit vielen Elektronen zu tun hat, deren wechselseitige Kräfte sich dann im Mittel nahezu kompensieren. Für sehr kleine Nanostrukturen mit wenigen Elektronen müssen jedoch elektronische Wechselwirkungseffekte mit einbezogen werden, was die quantenmechanischen Rechnungen erheblich erschwert. Das Ergebnis einer solchen numerischen Rechnung unserer Arbeitsgruppe ist in Abbildung **7** exemplarisch illustriert. Die Abbildung zeigt die Ladungsverteilung von 14 Elektronen in einem Billardmodell einer Nanostruktur. Man erkennt, dass die Elektronen durch die gegenseitige Abstoßung an den Rand gepresst werden und dadurch eine geordnete Ladungsformation bilden.

Komplexe Systeme

Prof. Dr. rer. nat.

Klaus Richter

geb. 1962 in Kiel. Physikstudium in Kiel und Freiburg, 1991 Promotion an der Universität Freiburg. 1992–94 Auslandsaufenthalt als Postdoc an der Université Paris Sud in Orsay, danach Wiss. Assistent an der Universität Augsburg, dort Habilitation 1998, von 1996 bis 2001 Leiter der Nachwuchsgruppe »Quantenchaos und mesoskopische Systeme« am Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme in Dresden. Seit 2001 Lehrstuhl für Theoretische Physik an der Universität Regensburg.

Forschungsgebiete:

Mesoskopische Physik, Molekulare Elektronik, Komplexe Systeme, Quantenchaos.

Mesoskopische Systeme als Grenzgänger zwischen klassischer Welt und Quantenwelt verbinden klassisches Chaos mit Ordnungsmechanismen der Quantenmechanik, was sie zu komplexen Quatensystemen par excellence und spannenden Forschungsobjekten macht. Die hier exemplarisch herausgegriffenen elektronischen Mikrostrukturen stellen nur eine, wenn auch prominente Klasse dar. Weitere Vertreter sind beispielsweise hochangeregte (so genannte planetarische) Atome, molekulare Komplexe oder Mikrolaser, die auf chaotischer Lichtausbreitung in mikrooptischen Resonatoren beruhen. Mesoskopische Phänomene finden sich insofern in einer Vielzahl unterschiedlichster Systeme, jenseits der Grenzen der traditionellen Gebiete der Physik. Sie sind auch nicht nur auf kleine Systeme begrenzt: Auch die komplizierte Schallausbreitung in Konzertsälen oder die Propagation von Erdbebenwellen (wie z.B. im Tal von Mexiko-Stadt) stellen komplexe mesoskopische Wellenphänomene dar.

Vollständig chaotische und rein reguläre klassische Dynamik stellen Extremfälle dar. Die meisten realen Systeme weisen jedoch koexistierende chaotische und reguläre Bereiche auf. Dies wird generell als ein Wesensmerkmal komplexer Systeme in Physik, Chemie und Biologie angesehen. Komplexe Systeme, die nahe am Chaos operieren oder sich in kritischer Balance zwischen Ordnung und Unordnung bewegen, entwickeln besonders variables und vielschichtiges Verhalten und sind in besonderem Maße in der Lage, auf Veränderungen der Umgebung zu reagieren; ganz im Sinne von Paul Valéry: »Zwei Gefahren bedrohen beständig die Welt, die Ordnung und die Unordnung«.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 65



**»Der Fortschritt lebt
vom Austausch des Wissens.«**

Albert Einstein (1879-1955).

 **Ständiger Austausch
von Wissen bedeutet
auch für uns Fortschritt.**

Als einer der führenden Anbieter von medizinischen Einmalprodukten suchen wir stets den Dialog zwischen Wissenschaft und Anwendern.

Für uns ist dies die beste Chance den Fortschritt in der Medizinbranche zu prägen und somit Maßstäbe zu setzen.

**Tyco Healthcare –
Fortschritt für Mensch
und Medizin.**

tyco

Healthcare



Weitere Informationen bei:

Tyco Healthcare Deutschland GmbH
Gewerbepark 1
93333 Neustadt/Donau
Telefon: (0180) 5892255
Telefax: (0180) 5892329
service.de@emea.tycohealthcare.com
www.tycohealthcare.com

Die vierte Dimension

Quaternionen, eine Verallgemeinerung der komplexen Zahlen

Algebra

Sicher wird jeder, der an Mathematik denkt, unweigerlich an Zahlen denken – und natürlich an die Schule. Schließlich hört bei den meisten von uns der Kontakt mit der Mathematik mit dem Ende der Schulzeit auf, es sei denn, man hat einen Beruf (oder ein Studium) gewählt, in dem man auch weiterhin mit dieser Wissenschaft zu tun hat. Aber selbst, wenn das nicht der Fall ist, trifft man im täglichen Leben auf Zahlen, zum Beispiel auf die Zahlen, die Mathematiker ›natürliche‹ Zahlen nennen, also auf Zahlen wie 1, 2, 3, 4 usw. Wenn man seine Kontoauszüge liest, sieht man leider auch oft so genannte ›negative‹ Zahlen. Auch Brüche, wie z. B. $\frac{1}{4}$, sind sicher jedermann bekannt.

Die Idee, dass es neben diesen Zahlen noch weitere, viel bizarre geben könnte, wird meistens schon in der Schule angesprochen. Ein beliebtes Beispiel ist $\sqrt{2}$, die Wurzel aus 2. Schon die alten Griechen wussten, dass diese Zahl ungefähr gleich $\frac{7}{5}$ war, aber auch, dass sie keinen Bruch finden konnten, der sie exakt darstellte. Man hatte also damit eine Zahl entdeckt, die nie als Bruch geschrieben werden kann. Diese Erkenntnis führte zu der schlichten Frage: Welche Zahl ist denn die Wurzel von 2? Und so wurden die ›irrationalen‹ Zahlen eingeführt, sozusagen der Vollständigkeit halber, um diese und ähnliche Fragen in Zukunft beantworten zu können. Schon in der Renaissance war man zu der Überzeugung gekommen, alle Zahlen des Universums gefunden zu haben. Alle Zahlen, die man kannte, heute auch die reellen Zahlen genannt, lagen anschaulich sauber und ordentlich auf einer Zahlengerade \mathbb{R} , die sich nach beiden Seiten bis ins

Unendliche erstreckte. Die Brüche lagen zwischen den ganzen Zahlen, und zwischen den Brüchen lagen die irrationalen Zahlen, es gab keinen Platz mehr für Neuentdeckungen 1.

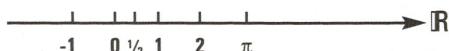
Die reelle Gerade

Das änderte sich im 16. Jahrhundert. Ein italienischer Mathematiker (Rafael Bombelli, 1526–1572) fand bzw. erfand eine neue Zahl, die Zahl i . Er hatte sich ebenfalls mit Wurzeln von Zahlen beschäftigt und war dabei auf ein unlösbare Problem gestoßen: Was ist die Wurzel von -1 ? Oder die einer beliebigen anderen negativen Zahl? Irgend-eine der bisher bekannten reellen Zahlen kam als Antwort nicht in Frage. Schließlich hatten alle anderen so genannten ›richtigen‹, also reellen Zahlen immer ein positives Quadrat. Um dieses Problem zu lösen, benutzte Bombelli einen einfachen ›Trick‹, der von Mathematikern oft unter ähnlichen Umständen angewandt wird: Er definierte die ›imaginäre‹ Zahl i als die (ihm fehlende) Antwort auf die Frage: Was ist die Wurzel von -1 ? Leider gibt es für eine imaginäre Zahl wie i (oder auch für $2i = i + i$, $i/2 = 1/2 \cdot i$ etc.) keine unmittelbare anschauliche Anwendung, so dass diese Zahlen auf den ersten Blick wesentlich esoterischer, abstrakter wirken als ihre ›reellen‹ Kollegen. Sie wurden daher über mehrere hundert Jahre hinweg als ›ohnmögliche‹ Zahlen bezeichnet.

Denn auch wenn man mit ihnen, dank der von Bombelli und anderen Mathematikern postulierten Rechenregeln, durchaus bereits erfolgreich rechnete, so fehlte doch noch ein tieferes mathematisches Verständnis. Man konnte sich einfach kein Bild von ihnen machen. Sie schienen aber auch zu nützlich zu sein, um sie einfach zu ignorieren. Es lief alles auf die eine Frage hinaus: Wie kann man sie sich geometrisch vorstellen? Auf der bekannten Zahlengeraden war kein Platz mehr. Der Mathematiker Johann Carl Friedrich Gauss (1777–1855) fand für dieses Problem eine elegante Lösung: Die imaginäre Zahlengerade. Sie steht senkrecht auf der bereits vorhandenen (reellen) Zahlengeraden und schneidet sie im Nullpunkt. Rein imaginäre oder rein reelle Zahlen liegen auf ihren entsprechenden Zahlengeraden. Man findet nun auch alle Kombinationen von reellen und imaginären Zahlen, die so genannten ›komplexen‹ Zahlen, wie z. B. $1 + 2i$, in der von diesen beiden Geraden aufgespannten Ebene wieder. Und viel wichtiger noch: Die Zahlen schienen endlich alle vollständig zu sein, denn es gab nun wirklich keinen Platz mehr in der Ebene für Neuentdeckungen 2!

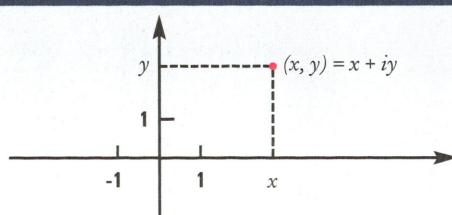
1
Die reelle Gerade.

Die reelle Gerade



2
Die Zahlenebene hilft, sich komplexe Zahlen räumlich vorzustellen.

Die Zahlenebene



Die Zahlenebene

Physiker fanden schnell Anwendungen für die Zahl i . Sie kann zum Beispiel dazu benutzt werden, die Schwingungen eines Pendels, elektrische Wechselströme und Vibrationen zu berechnen. In der reinen Mathematik konnten mit der Entdeckung der imaginären Zahlen plötzlich zuvor unlösbar erscheinende Probleme und Fragen beantwortet werden. So interessierte sich auch ein Mathematiker, der zugleich Astronom und Physiker war, Sir William Rowan Hamilton **3**, brennend für alles, was mit diesen faszinierenden neuen Zahlen zusammenhangt. Er wusste bereits, dass man komplexe Zahlen als Paare reeller Zahlen auffassen kann, wenn man eine geeignete Art und Weise findet, solche Paare miteinander zu multiplizieren. Wenn man eine beliebige komplexe Zahl wie z.B. $1 + i$ oder $3 - 5i$ gegeben hat, so darf man diese schreiben als Paar $(1, 1)$ oder $(3, -5)$. Die Zahl i wird somit durch das Paar $(0, 1)$ dargestellt, 1 durch $(1, 0)$. Multipliziert und addiert wird dann nach den folgenden Regeln:

$$(a, b) + (c, d) = (a+c, b+d), \\ (a, b) \cdot (c, d) = (ac - bd, ad + cb).$$

Zum Beispiel heißt das

$$(1, 1) + (3, -5) = (4, -4), \\ (1, 1) \cdot (3, -5) = (3 - (-5), -5 + 3) = (8, 2),$$

was genau den Ergebnissen

$$(1+i) + (3-5i) = 4 - 4i \text{ und} \\ (1+i) \cdot (3-5i) = 8+2i$$

entspricht. Hamilton war fasziniert von diesem Zusammenhang zwischen den komplexen Zahlen und der zweidimensionalen Geometrie. Über viele Jahre versuchte er nun, ein Zahlensystem zu finden, das etwas Vergleichbares für den dreidimensionalen Raum leistete. So erfand er die »Quaternonen«. Im Oktober 1843, kurz vor seiner entscheidenden Entdeckung, soll er jeden Morgen, wenn er zum Frühstück kam, von seinem Sohn William Edwin gefragt worden sein: »Well, Papa, can you multiply

triplets?« Und immer musste er antworten: »No, I can only add and subtract them.«

Am 16. Oktober 1843 kam Hamilton schließlich die Erleuchtung. Er wurde *vier* Dimensionen brauchen, nicht nur drei, wenn er zwei dreidimensionale Vektoren wirklich sinnvoll multiplizieren wollte. (»... That is to say, I then and there felt the galvanic circuit of thought close, and the sparks which fell from it were the fundamental equations between i , j and k , exactly such as I have used them ever since.«) Diese Erleuchtung kam ihm auf einem Spaziergang mit seiner Frau auf dem Weg zur Royal Irish Academy in Dublin. Und er ritzte die folgenden Gleichungen mit einem Messer in die Steine der Broome Bridge in Dublin ein:

$$i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1.$$

Dort konnte man sie bis vor ein paar Jahren bewundern. Dann wurde die Brücke generalüberholt, und heute erinnert nur noch eine Inschrift an diese bahnbrechende Entdeckung.

Vieles von dem, was man heute in der Schule mit dreidimensionalen Vektoren rechnet, vor allem das auch in der Physik oft verwandte Vektorprodukt, mit dem man zwei Vektoren im dreidimensionalen Raum multipliziert, beruht auf dieser Entdeckung, den Quaternionen, manchmal auch vierdimensionale Zahlen genannt. Was mit Hamiltons Gleichungen gemeint ist, ist schnell gesagt. Er hatte nichts anderes getan als die Konstruktion der komplexen Zahlen zu verallgemeinern. Anstelle von Paaren reeller Zahlen betrachtete er Paare komplexer Zahlen und definierte eine sehr ähnliche Multiplikation auf diesen Paaren, wie bei der Darstellung der komplexen Zahlen als Paare reeller Zahlen:

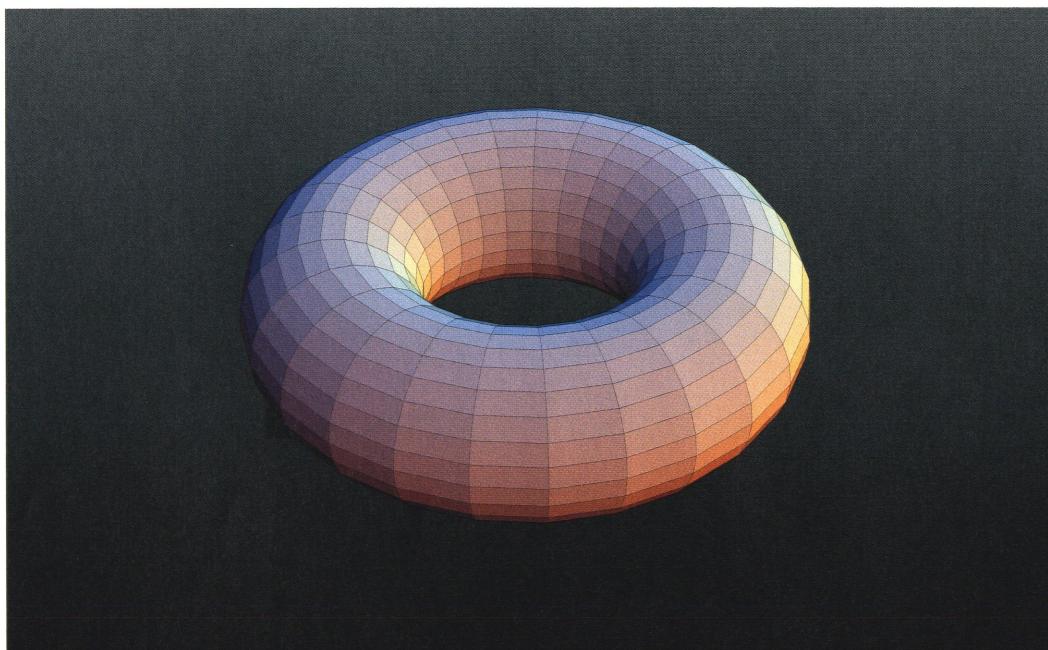
$$(a, b) + (c, d) = (a+c, b+d), \\ (a, b) \cdot (c, d) = (ac - b\bar{d}, ad + \bar{c}b).$$

Dabei bezeichnet das Zeichen $\bar{}$ die komplexe Konjugation, das heißt, für eine komplexe Zahl $d = w + ix$ mit reellen Zahlen x, w hat man $\bar{d} = w - ix$.



3

Sir William Rowan Hamilton,
Astronom und Physiker
(1805–1865).



4

Eine elliptische Kurve über den komplexen Zahlen.
(Zur Erleichterung der räumlichen Darstellung ist das Bild koloriert.)

5

Ein kleines Beispiel, wie man zwei Quaternionen miteinander multipliziert.

Multiplikation in der vierten Dimension

Will man zum Beispiel die Zahlen $2+3i-k$ und $i+5j+8k$ miteinander multiplizieren, so rechnet man zunächst wie gewohnt

$$(2+3i-k) \cdot (i+5j+8k) = 2i+10j+16k + 3j^2 + 15ij + 24ik - ki - 5kj - 8k^2$$

und erhält

$$(2+3i-k) \cdot (i+5j+8k) = 2i+10j+16k - 3 + 15ij + 24ik - ki - 5kj + 8.$$

Nun wissen wir, dass $ijk = -1$ ist, und daraus können wir ableiten

$$i(ijk) = -i \quad (\text{multipliziere von links mit } i \text{ auf beiden Seiten}), \text{ also}$$

$$i^2jk = -jk = -i \text{ und somit } jk = i.$$

Genauso erhalten wir daraus

$$j(jk) = ji \quad (\text{multipliziere von links mit } j \text{ auf beiden Seiten}), \text{ also}$$

$$-k = ji, \text{ sowie } (jk)k = ik \quad (\text{multipliziere von rechts mit } k \text{ auf beiden Seiten}), \text{ also}$$

$$-j = ik.$$

Man erhält auf diese Art das Ergebnis, dass

$$ij = k, ik = -j, ki = j \text{ und } kj = -i \text{ ist.}$$

Eingesetzt in die obige Gleichung, heißt das

$$(2+3i-k) \cdot (i+5j+8k) = 2i+10j+16k+15k-24j-j+5i+5 = 5+7i-15j+31k.$$

Setzt man nun $j = (0, 1)$, so ist j eine Quadratwurzel aus -1 , denn $j^2 = -1$ nach obiger Rechenvorschrift. Für zwei komplexe Zahlen $a = a_0 + a_1i$ und $b = b_0 + b_1i$ kann man nun

$$\begin{aligned} (a, b) &= a(1, 0) + b(0, 1) = a_1 + bj = (a_0 + a_1i) \\ &\quad + (b_0 + b_1i)j = a_0 + a_1i + b_0j + b_1ij \end{aligned}$$

schreiben.

Das Produkt ij wurde dabei von Hamilton mit k bezeichnet. Er betrachtete also die Menge aller Zahlen

$$\mathbb{H} = \{w + ix + jy + kz \mid w, x, y, z \text{ reelle Zahlen}\}$$

und gab durch die in die Brücke eingeritzten Gleichungen vor, wie diese zu multiplizieren sind 5.

In mathematischer Fachsprache hatte er damit eine vierdimensionale Algebra über den reellen Zahlen definiert, die heute als Hamiltons Algebra der Quaternionen bekannt ist. Damit war das erste geschlossene System von hyperkomplexen Zahlen gefunden, das eine der gebräuchlichsten Regeln der Arithmetik verletzte, die Kommutativität. Diese besagt, dass für zwei beliebige Zahlen m und n gilt:

$$m \cdot n = n \cdot m,$$

das heißt, die Reihenfolge der Faktoren ist unwichtig. Bis zur Erfindung der Quaternionen hatten alle Zahlen diesen Test mit Bravour bestanden. Dies war nun nicht mehr der Fall.

Bis in die heutige Zeit hinein werden Quaternionen(algebren) immer wieder in verschiedenen Gebieten der reinen Mathematik und der Physik angewandt. Man betrachtet dabei nicht mehr nur die Hamiltonschen Quaternionenalgebren, sondern eine Verallgemeinerung dieser ursprünglichen Konstruktion. Auch diese Zahlen werden aber noch Quaternionen genannt. So werden Quaternionen zum Beispiel beim Steuern von Robotern,

bei Computergrafiken oder beim Navigieren eines Spaceshuttle benutzt. Artikel in Fachzeitschriften untersuchen ihre diversen, für Algebraiker und Physiker interessanten Eigenschaften und beleuchten sie unter immer wieder neuen Blickwinkeln, um auch die letzten noch offenen Fragen zufrieden stellend beantworten zu können.

Für einige dieser (mittlerweile recht abstrakten) Fragen hat es sich als erfolgreich erwiesen, die Quaternionenalgebren mit Hilfe einer ganz speziellen mathematischen Disziplin, der Algebraischen Geometrie, zu untersuchen. Ein Teilgebiet der algebraischen Geometrie beschäftigt sich mit so genannten elliptischen Kurven. Eine elliptische Kurve ist gegeben durch eine Gleichung der Form

$$y^2 = x^3 + ax^2 + bx + c,$$

wobei a und b irgendwelche ganzen Zahlen sind 4. Eine große Herausforderung bei solchen Kurven besteht darin, herauszufinden, ob sie ganzzahlige (oder vielleicht auch rationale) Lösungen haben, und, falls dem so ist, wie viele es davon gibt. Zum Beispiel hat die Kurve

$$y^2 = x^3 - 2$$

mit $a = 0$, $b = 0$ und $c = -2$ nur zwei ganzzahlige Lösungen, und zwar

$$5^2 = 3^3 - 2 \text{ und } (-5)^2 = 3^3 - 2$$

oder, anders geschrieben, $25 = 27 - 2$. Dies zu zeigen war ein sehr schwieriges mathematisches Problem, das von Pierre de Fermat (1601–1665) gelöst wurde. Solche Kurven sind ein Hauptbestandteil der Beweise einiger neuerer Erkenntnisse über bestimmte Klassen von Quaternionen (z. B. über das Verzweigungsverhalten von so genannten Quaternionenalgebren über Funktionenkörpern vom Geschlecht Eins).

Als ich auf einem Vortrag im Frühjahr 1999 an der University of San Diego diese Resultate vorstellte, wurde ich von meinem Gastgeber, Prof. Dr. Adrian Wadsworth, gefragt, ob die von ihr verwandten Techniken und Argumente nicht auch in einer noch viel allgemeineren Situation anwendbar seien, und zwar bei bestimmten ‚Kurven‘, die keine rationalen Lösungen mehr besitzen. Wadsworth hoffte, dass man auf diese Weise alle nur möglichen verschiedenen »Quaternionenalgebren« bestimmen könnte, die auf einer solchen Kurve existieren. Dies würde dann automatisch Rückschlüsse zulassen auf das Verhalten von Quaternionenalgebren über den entsprechenden Funktionenkörpern vom Geschlecht Eins. Und genau das interessierte ihn und einen seiner Doktoranden besonders. Die Frage erschien mir zunächst sehr verwirrend, wie sollte so etwas aussehen? Eine Kurve ohne ‚rationale‘ Punkte? Wie hatte man sich so ein Gebilde vorzustellen, falls dies denn überhaupt möglich war? In der Fachliteratur war dieses Problem bisher noch nicht zufriedenstellend behandelt worden, zumindest nicht für die bei diesem Problem interessanten Fragen. Sir Michael Francis Atiyah (geb. 1929) hatte die für die Autorin relevanten Probleme über den komplexen Zahlen gelöst. Über den komplexen Zahlen aber hat jede Gleichung des oben vorgestellten Typs immer eine (komplexe) Lösung. Und über den komplexen Zahlen kann man sich elliptische Kurven auch bildlich vorstellen:

Es sind amerikanische Donuts (oder, je nach Geschmack, amerikanische Bagels ...) 4.

Alle diese Phänomene fielen nun weg, schlimmer noch, man musste ausschließlich Gleichungen untersuchen, die gar keine ‚Lösung‘ mehr haben durften! Um diese Quaternionen zu bestimmen, muss man zunächst alle möglichen Bausteine für die Quaternionenalgebren finden, also die so genannten Vektorbündel über diesen Kurven klassifizieren. Nur wenige Vektorbündel kommen dafür letztlich in Frage. Diese Problemstellung gab mir den Anstoß, unabhängig davon so viel wie möglich über diese Bündel herauszufinden – und daraus ergab sich das erste Kapitel meiner Habilitationsschrift. Denn nach langem Nachdenken und vielem Herumprobieren stellte sich heraus, dass ein Großteil der Ergebnisse von Atiyah über Vektorbündel auf diese abstrakte Situation zu verallgemeinern war. Die so gewonnenen Ergebnisse kann man nun nicht nur für die Konstruktion aller Quaternionen benutzen, sondern auch zur Untersuchung einer ganz anderen Klasse von Objekten, den symmetrischen bilinearen Formen über diesen Kurven. Und so fand Prof. Wadsworth Anfang dieses Jahres in seiner Post eine Habilitationsschrift vor, in der die 1999 von ihm gestellte Frage beantwortet wurde.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 65

PD Dr. rer. nat.

Susanne Pumplün

geb. 1966 in Hamm, Westfalen.
Studium der Mathematik an der
Westfälischen Wilhelms-Universität
in Münster. 1995 Promotion an der
Fernuniversität. 1994–1995 Gast-
wissenschaftlerin/Collegeinstructor
sowie 1998–1999 Visiting Assistant
Professor an der New Mexico
State University, USA. 1996–2003
Wiss. Assistentin bei Manfred
Knebusch an der Universität
Regensburg. 2002 Habilitation;
Habilitationspreis 2002 des
Vereins der Freunde der Universität
Regensburg. Seit März 2003
Oberassistentin an der Universität
Regensburg. Lokale Koordinatorin
des Regensburger Knotens
des RTN-Netzwerks >Algebraic
K-Theory, Linear Algebraic Groups
and Related Structures<.
Forschungsgebiete:
Nichtassoziative Algebren,
Quadratische und Hermitesche
Formen, Vektorbündel.



Wir bieten regelmäßig zukünftigen Absolventen der Studiengänge

• Pharmazie • Pharmatechnik • Chemie • Betriebswirtschaft

(Schwerpunkt Analytik, Med.-Wiss., Personal, IT)

die Möglichkeit, Praktika zu absolvieren.

Auch Diplomarbeiten zu diversen Themen sind möglich.

Haben Sie Lust, mit jungen, engagierten Kolleginnen und Kollegen erste Berufserfahrung zu erlangen?

Dann senden Sie uns bitte Ihre aussagefähigen Unterlagen unter Bezugnahme auf Ihren gewünschten Tätigkeitsbereich mit Lebenslauf, Lichtbild und Zeugnissen zu, gerne auch per E-Mail (heidi.karl@hexal.de).

HEXAL AG • Personalabteilung • Industriestr. 25 • 83607 Holzkirchen • www.hexal.de

Sie kennen HEXAL-Arzneimittel aus Ihrer Apotheke. Was Sie vielleicht nicht wissen:

Wir sind eine internationale aktive Gruppe mit weltweit rund 5.000 Mitarbeitern, einer innovativen Forschung und einer leistungsfähigen Produktion. In Deutschland gehören wir zu den Top-Ten der Pharmaindustrie. Trotz der Größe haben wir unsere flachen Hierarchien und unseren Teamgeist erhalten.



Arzneimittel
Ihres Vertrauens

Chemie am absoluten Nullpunkt

Inertgasmatrizen und kalte Molekularstrahlen

Laserspektroskopie

Bei sehr tiefen Temperaturen kommen fast alle chemischen Reaktionen zum Erliegen. Dennoch kann es nützlich sein, Moleküle bei extrem tiefen Temperaturen zu untersuchen. Spektroskopische Experimente an sehr kalten Molekülen liefern genaue Informationen über deren Struktur und Bindungsverhältnisse. Im Molekularstrahl lässt sich die Dynamik chemischer Elementarreaktionen im Detail studieren. Reaktive Zwischenstufen kann man in Edelgasmatrizen einfangen und charakterisieren. Solche Molekülfragmente treten z. B. in der Atmosphäre und im interstellaren Raum auf. Sie entstehen auch bei heftigen chemischen Reaktionen wie der Verbrennung. Die Kenntnis ihrer Eigenschaften und Reaktionen kann wesentlich zum Verständnis ökologischer Zusammenhänge und auch zur Optimierung technischer Prozesse beitragen.

Temperatur - warm oder kalt?

Warm und kalt sind Sinneserfahrungen, die sich über Raum und Zeit sowie zwischen verschiedenen Personen schlecht vergleichen lassen. Ist es heute wärmer als vor einem Monat? Ist es im Institut kälter als zu Hause? Wer aus dem Winterschnee kommend den Vorräum eines Gasthauses betritt, empfindet ihn als warm, wer aus der Gaststube kommt, friert dagegen. Eindrucksvoll kann man das mit drei Gefäßen testen, in die man kaltes Wasser, warmes Wasser und ein Gemisch von beidem füllt. Hält man die eine Hand eine Weile in das kalte und die andere in das warme Gefäß und steckt dann beide in das mittlere, so wird die eine Hand Wärme empfinden, die andere Kälte.

Die Eigenschaften vieler Materialien hängen entscheidend vom Wärmezustand ab. Wasserleitungen können im Winter zufrieren und platzen, Gummi wird bei Kälte spröde, Plastikteile, z. B. CDs, verbiegen sich in der Sonnenhitze und werden unbrauchbar. Es kann fatal sein, Materialien ungeeigneten Bedingungen auszusetzen – der Absturz des Challenger Spaceshuttle 1985 wurde durch eine kleine gefrorene Gummidichtung verursacht. Von Natur aus fehlt uns eine Möglichkeit, objektiv und quantitativ den Wärmezustand anzugeben. Hierzu brauchen wir Thermometer. Die ersten Thermometer nutzten die empirische Beobachtung, dass sich Flüssigkeiten bei Wärmezufuhr ausdehnen. Diese Ausdehnung kann man am Anstieg einer Flüssigkeitssäule in einer Kapillare messen. Steigt die Flüssigkeitssäule beim Kontakt mit zwei verschiedenen Gegenständen gleich hoch, dann ändert sich das auch nicht, wenn man die Gegenstände unter-

einander in Kontakt bringt. Die beiden Gegenstände sind dann im thermischen Gleichgewicht, das durch eine einzige Messgröße, nämlich die Temperatur, festgelegt wird.

Mit einem Tauchsieder kann man einer bestimmten Menge Wasser eine definierte Wärmemenge reproduzierbar zuführen. Man stellt dabei fest, dass die Flüssigkeitssäule im Thermometer jedes Mal um denselben Betrag ansteigt, vorausgesetzt, die Kapillare hat konstanten Durchmesser. Es erscheint daher sinnvoll, die Höhe der Flüssigkeitssäule als lineares Maß für die Temperatur zu nehmen. Dann braucht man nur zwei Fixpunkte, um eine Temperaturskala festzulegen. In Europa ist die Celsius-Skala üblich, mit den Fixpunkten 0°C am Schmelzpunkt und 100°C am Siedepunkt des Wassers. Der schwedische Astronom Anders Celsius (1701–1744) hatte die Skala ursprünglich anders herum definiert, erst der Botaniker Carl von Linné (1707–1778) drehte sie um. Der Physiker Daniel Gabriel Fahrenheit (1686–1736) hatte schon früher eine Temperaturskala eingeführt, die noch heute in vielen angelsächsischen Ländern üblich ist. Als Fixpunkte wählte er 0°F für ein Salmiak-Eis-Gemisch und 100°F für die normale Körpertemperatur des Menschen. Eine weitere Temperaturskala nach Réaumur (1730) ist heute nicht mehr gebräuchlich. Sie hatte die Fixpunkte 0°R beim Gefrierpunkt und 80°R beim Siedepunkt des Wassers.

Gefrierpunkt und Siedepunkt des Wassers hängen vom Druck ab. Nur bei einem Druck von 1 atm (1013 hPa) kocht Wasser bei 100°C. Auf der Zugspitze beträgt der Druck nur noch 0,68 atm (691 hPa), der Siedepunkt des Wassers liegt dann bei 89°C. Wenn alle drei Phasen (Eis, Wasser und Dampf) miteinander im Gleichgewicht stehen, sind sowohl die Temperatur als auch der Druck eindeutig festgelegt. Dieser Tripelpunkt des Wassers liegt bei 0,01°C und 6,11 hPa und dient heute als Fixpunkt der Temperatur.

Bei tiefen Temperaturen ist Quecksilber ein ungeeignetes Material für ein Thermometer, da es bei -38,87°C fest wird. Ein Weingeist-Thermometer, das mit Alkohol gefüllt ist, kann dagegen noch bis -117,3°C benutzt werden. Noch besser geeignet sind Gase mit einem sehr niedrigen Siedepunkt, die sich bei niedrigen Dichten nahezu wie ideale Gase verhalten; so nennt man Gase, deren Teilchen keine Kräfte aufeinander ausüben. Trägt man z. B. den Druck von hinreichend verdünntem Helium bei konstantem Volumen gegen die Celsius-Temperatur auf, dann erhält man eine Gerade. Der Druck ist daher ein lineares Maß für die Temperatur. Extra-



Wärme ist Bewegung. Mit abnehmender Temperatur werden alle Bewegungen und Lebensvorgänge langsamer. Bei extremer Kälte erstarrt (fast) alles in einen Zustand völliger Bewegungslosigkeit. Hier sieht man das Auto des Autors, das mit einer mehrere Zentimeter dicken Eisschicht überzogen und regelrecht festgefroren ist. Das Photo entstand im Winter 1988 in Göttingen, als nach Tagen klarirrender Kälte plötzlich starker Regen einsetzte. Um auch die inneren Bewegungen einzelner Moleküle einzufrieren, (d. h. in den tiefsten möglichen Zustand zu bringen), benötigt man noch viel tiefe Temperaturen. Die Experimente des Autors finden bei Temperaturen nahe am absoluten Nullpunkt statt.

poliert man diese Gerade zu tiefen Temperaturen, dann findet man, dass man bei $-273,15^{\circ}\text{C}$ den Druck Null erreichen würde, und zwar unabhängig davon, mit welchem Druck oder Volumen man bei hoher Temperatur angefangen hat 1. Aus zahlreichen Experimenten ist bekannt, dass dies tatsächlich die tiefste Temperatur ist, die nicht unterschritten werden kann. In der absoluten Temperaturskala nach Kelvin wählt man diese Temperatur als Nullpunkt (0 Kelvin) und legt den Tripelpunkt des Wassers mit 273,16 Kelvin fest.

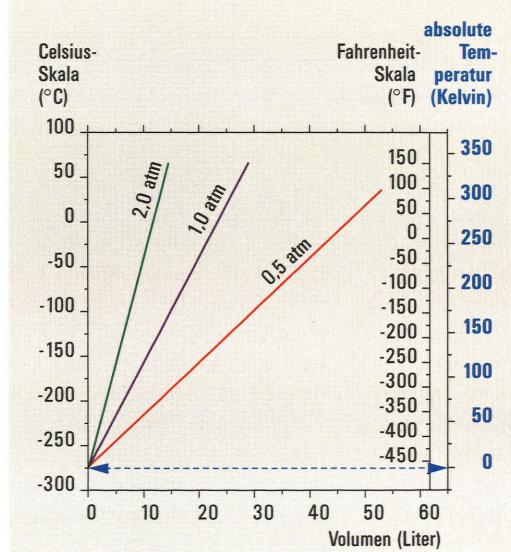
Temperaturen auf der Kelvin-Skala lassen sich absolut vergleichen. Die Oberfläche der Erde hat eine mittlere Temperatur von etwa 300 Kelvin und ist damit 20-mal kälter als die Oberfläche der Sonne (ca. 6 000 Kelvin), während sie 20-mal wärmer ist als eine Edelgasmatrix (► Seite 27) mit einer Temperatur von 15 Kelvin. Eine solche Matrix auf der Erde ist also vergleichbar kalt wie ein Schwimmbecken auf der Sonnenoberfläche.

Der Nullpunkt – absolut und unerreichbar

Die Temperaturskala ist nach oben hin unbegrenzt, man kann die Temperatur durch Zuführen von Wärme immer weiter erhöhen. Ein Erniedrigen der Temperatur durch Abkühlen ist aber nicht unbegrenzt möglich, sondern würde theoretisch am absoluten Nullpunkt enden. Allerdings kann man in der Praxis diesem absoluten Nullpunkt zwar beliebig nahe kommen, man kann ihn aber nicht ganz erreichen. Das klingt paradox, lässt sich aber durch Vergleich mit einer anderen physikalischen Größe, dem Druck, verstehen.

Der Druck in einem Gas wird durch die Stöße erzeugt, welche die Gasteilchen gegen die Wände des Gefäßes ausführen. Dieser Druck ist um so höher, je mehr Gasteilchen im Behälter sind und je schneller sie fliegen. Wenn man Gasteilchen aus dem Behälter abpumpt, senkt man den Druck. Offensichtlich kommt man an eine Grenze, wenn man das letzte Gasteilchen entfernt. Der Druck ist dann genau Null, und ein weiteres Absenken ist nicht möglich. In der Praxis wird es aber nie gelingen, alle Gasteil-

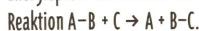
Definition der absoluten Temperatur



1 Temperaturabhängigkeit des Drucks eines idealen Gases bei konstantem Volumen und Vergleich verschiedener Temperaturskalen. Die drei Geraden entsprechen verschiedenen Gasdrücken.

2

Energieprofil der chemischen

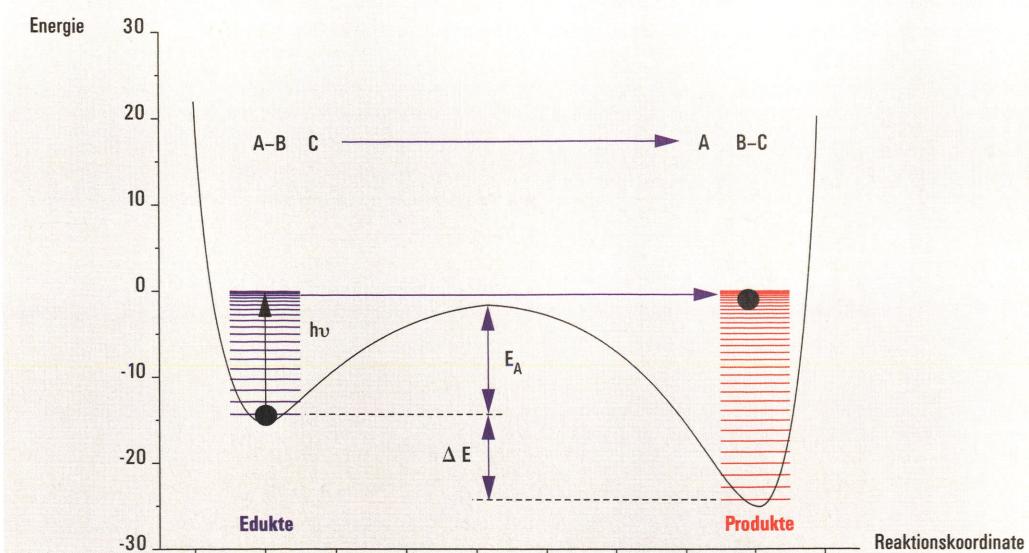


Das linke Minimum der Energiekurve entspricht dem Edukt A-B, das rechte dem Produkt B-C.

Beide Verbindungen haben quantisierte Energiezustände, die durch horizontale Striche angedeutet sind. Zwischen den beiden Minima liegt eine Barriere der Höhe E_A . Bei tiefer Temperatur befinden sich alle Eduktmoleküle im untersten Zustand. Anregung mit monochromatischem Licht stattet alle Moleküle mit derselben Energie $h\nu$ aus. Wenn sie die Barriere überwunden haben, verteilt sich die Energie in vielfältiger Weise auf die Zustände der Produkte.

- Markierung des Zustandes, welchen das System einnimmt.

Energieprofil einer chemischen Reaktion

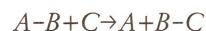


chen abzupumpen. Es gibt immer eine endliche Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich ein Atom von der Behälterwand ablöst und in die Gasphase geht. Die Unerreichbarkeit des absoluten Nullpunktes des Druckes hat auch etwas damit zu tun, dass es nirgendwo ein natürliches „Nulldruckgebiet“ gibt, nicht einmal im Weltraum. Man kann also nicht einfach den Behälter aufmachen und die Gasteilchen entweichen lassen, denn es kommt durch Einströmen anderer Gasteilchen immer zu einem Gleichgewicht. Um den Druck abzusenken, muss man Aufwand treiben und sich gegen die Einstellung des Gleichgewichtes stemmen. Obwohl der absolute Drucknullpunkt nicht hergestellt werden kann, kann man doch sehr genau messen, wie weit eine konkrete Probe noch davon entfernt ist.

Wärme ist diejenige Energie, die in den inneren Freiheitsgraden der Rotationen und Schwingungen der Moleküle sowie in ihrer regellosen Bewegung zueinander enthalten ist. Im thermischen Gleichgewicht besitzt aber nicht jedes Molekül die gleiche Energie, die Energie ist vielmehr nach bestimmten statistischen Gesetzmäßigkeiten auf die einzelnen Freiheitsgrade verteilt. Um eine Probe abzukühlen, muss man ihr diese Energie entziehen. Der denkbar kälteste Zustand und damit der absolute Nullpunkt der Temperatur wäre dann erreicht, wenn sich alle Teilchen in ihrem tiefsten Energiezustand befänden. Wie beim Druck gibt es auch bei der Temperatur keinen Ort, an dem der Nullpunkt natürlich erreicht wird. Nach dem Urknall ist das Weltall zwar schon erheblich abgekühlt, dennoch beträgt die Temperatur überall noch mindestens 3 Kelvin. Um Temperaturen herzustellen, die niedriger als die Umgebungstemperatur sind, muss man Aufwand treiben, man muss Wärme gegen das natürliche Gefälle transportieren. Je näher man dem absoluten Nullpunkt kommt, um so größer wird dieser Aufwand. Wie beim Druck kann man die Stelle auf der Temperaturskala ganz genau angeben, an der der absolute Nullpunkt liegt, auch wenn man ihn in der Praxis nie ganz erreichen kann.

Chemie und Spektroskopie kalter Moleküle

Bei vielen chemischen Reaktionen wird Wärme frei, etwa bei der Verbrennung von Kraftstoff in einem Automotor. Andererseits muss man oft erst einmal Wärme zuführen, um eine Reaktion anspringen zu lassen. So brennt eine Kerze nicht von selbst, sie muss angezündet werden. Manche Reaktionen verbrauchen auch Wärme, wie zum Beispiel das Brennen von Kalk. Den energetischen Verlauf einer Reaktion stellt man oft schematisch in einem Diagramm wie in 2 dar. Auf der vertikalen Achse ist die Energie aufgetragen, auf der horizontalen Achse die Reaktionskoordinate, die den Verlauf der chemischen Reaktion kennzeichnet. Für eine einfache chemische Reaktion der Form



entspricht die Reaktionskoordinate der Bewegung des Atoms B weg vom Atom A und hin zum Atom C. Die Kurve in 2 hat zwei Minima. Das eine gehört zu Verbindung A-B, das andere zu Verbindung B-C. Bewegt man das Atom B von einem Minimum weg, so steigt die Energie zunächst an. Man muss also erst Energie aufwenden, um die alte Bindung zu verlängern und schließlich zu brechen. Wenn sich die neue Bindung bildet, sinkt die Energiekurve wieder zu einem neuen Minimum herab. Dabei wird ein entsprechender Energiebetrag frei. Die Energie, die nötig ist, um „über den Berg“ zu kommen, nennt man Aktivierungsenergie E_A . Bei einer niedrigen Temperatur kann es sehr lange dauern, bis ein einzelnes Molekül zufällig die Energie erhält, die es braucht, um die Barriere zu überwinden – die Reaktion ist dann verhältnismäßig langsam. Erhöht man die Temperatur, dann steht im Mittel mehr Energie zur Verfügung, und die Reaktion wird schneller.

Wenn man den Ablauf einer chemischen Reaktion detailliert untersuchen will, ist es ungünstig, wenn die Moleküle in der Probe alle unterschiedlich viel Energie haben. Besser wäre es, wenn alle Moleküle exakt die gleichen Ausgangsbedingungen

hätten. Dies kann man erreichen, wenn man zuerst alle Energie aus den Molekülen herausnimmt, die Probe also so tief wie möglich abkühlt, und dann alle Moleküle mit genau der gleichen Energie ausstattet. Das geht natürlich nicht durch Erhitzen, denn dadurch wird immer eine statistische Verteilung von Energien erzeugt. Man kann die Energie aber durch Licht zuführen. Nach Einstein besteht Licht einer bestimmten Frequenz ν aus Lichtteilchen (Photonen) mit der Energie $h\nu$. Dabei ist h eine Naturkonstante (Plancksches Wirkungsquantum). Wenn man eine kalte Probe von Molekülen mit monochromatischem (einfarbigem) Laserlicht bestrahlt, das also nur eine einzige Frequenz enthält, dann erhalten alle Moleküle genau dasselbe energetische „Startkapital“ für die Reaktion.

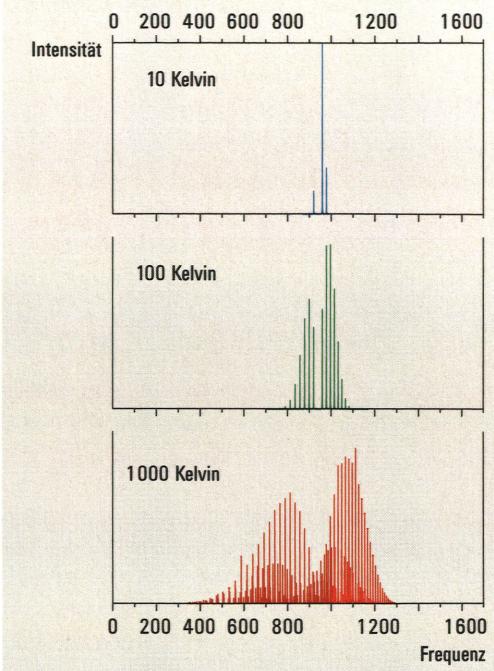
Niedrige Temperaturen haben aber noch einen anderen großen Vorteil. Die Freiheitsgrade der Rotationen, der Schwingungen und der Elektronenbewegung in Molekülen können Energie nämlich nur in bestimmten Quanten aufnehmen. Die Quantenzustände für eine Schwingung sind in 2 schematisch eingezeichnet. Durch Absorption von Licht kann ein Molekül von einem Quantenzustand in einen anderen übergehen. Die Differenz der Energie des Ausgangszustandes E_1 und des Endzustandes E_2 muss dabei genau der Energie des Lichtteilchens (Photons) entsprechen:

$$E_2 - E_1 = h\nu$$

Weißes Licht ist ein Gemisch von Photonen mit einer breiten Verteilung von Frequenzen. Ein Molekül kann daraus Photonen bei all den Frequenzen absorbieren, die ausgehend vom Anfangszustand zu erlaubten Endzuständen führen. Nach dem Durchgang durch die Probe ist die Intensität des Lichtes bei diesen Frequenzen vermindert. Durch Vergleich mit dem Spektrum vor der Probe erhält man ein Absorptionsspektrum, aus dem man charakteristische Eigenschaften des Moleküls bestimmen kann, z. B. die Längen oder Stärken chemischer Bindungen. Ein Beispiel dafür sind die Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum.

Bei sehr tiefer Temperatur, nahe am absoluten Nullpunkt, befinden sich alle Moleküle im untersten Energiezustand, und nur wenige spektroskopische Übergänge sind möglich. Die Spektren sind vergleichsweise einfach und bestehen aus wenigen scharfen Linien. Als ein Beispiel zeigt Abbildung 3 das simulierte Spektrum einer Probe aus zweiatomigen Molekülen bei 10 Kelvin. Mit steigender Temperatur nimmt die durchschnittliche Energie der Moleküle zu. Die Probe ist jetzt ein Gemisch von Molekülen in den verschiedensten Zuständen. Als Spektrum erhält man die Überlagerung der Spektren aller Anfangszustände, die in diesem Gemisch vorkommen. Dadurch werden die Spektren komplizierter. Viele Absorptionslinien überlappen sich und können nicht mehr getrennt gemessen werden. Im mittleren und unteren Teil von 3 ist simuliert, wie das Spektrum unserer Beispilmoleküle bei 100 Kelvin und bei 1000 K aussieht. Kalte Proben liefern also viel übersichtlichere Spektren, aus denen man leicht und eindeutig Information über die Moleküle gewinnen kann. Im Institut für Physikalische und Theoretische Chemie der Universität Regensburg werden

Temperaturabhängigkeit von Spektren



3

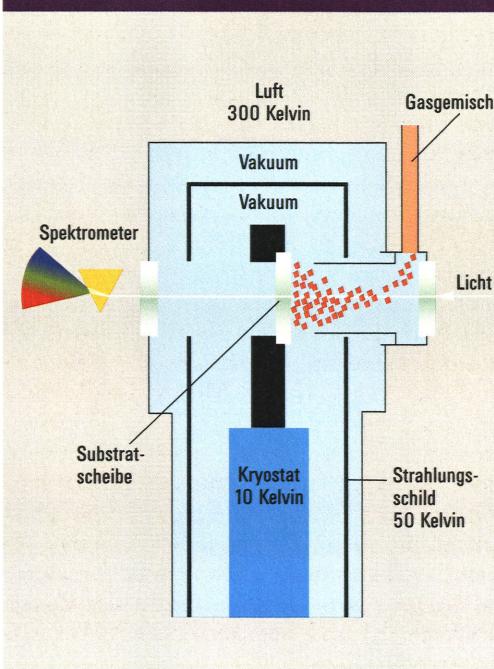
Simulation des Spektrums eines zweiatomigen Moleküls bei 10 K, 100 K und 1000 K. Jede Linie entspricht einem Übergang von einem Rotations-Schwingungs-Zustand in einen anderen. Je mehr Zustände thermisch besetzt sind, desto mehr Linien treten auf. Zur Simulation wurde das Modell eines anharmonischen Oszillators mit der Schwingungswellenzahl $\nu_0 = 1000 \text{ cm}^{-1}$ und der Anharmonizität $x_e = 0,03$ verwendet. Die Rotationskonstante sinkt mit steigender Vibrationsquantenzahl v gemäß $B_v = (10 - 0,25 \cdot v) \text{ cm}^{-1}$.

Experimente an sehr kalten Molekülen mit verschiedenen Techniken durchgeführt. Drei Beispiele werden kurz vorgestellt.

Matrixisolierung

In einem Vakuumbehälter befindet sich eine Scheibe aus durchsichtigem Material. Diese wird mit einem Kompressorkryostat, der ähnlich wie ein Kühlschrank funktioniert, auf eine Temperatur von etwa 15 Kelvin gebracht 4. Wenn es noch kälter sein muss, wird mit flüssigem Helium bis auf etwa 4 Kelvin gekühlt. Bei dieser Temperatur wird sogar das Edelgas Neon fest. Lässt man durch ein dünnes Rohr ein Gas so in das Vakuum ein, dass es auf die kalte

Matrixisolation

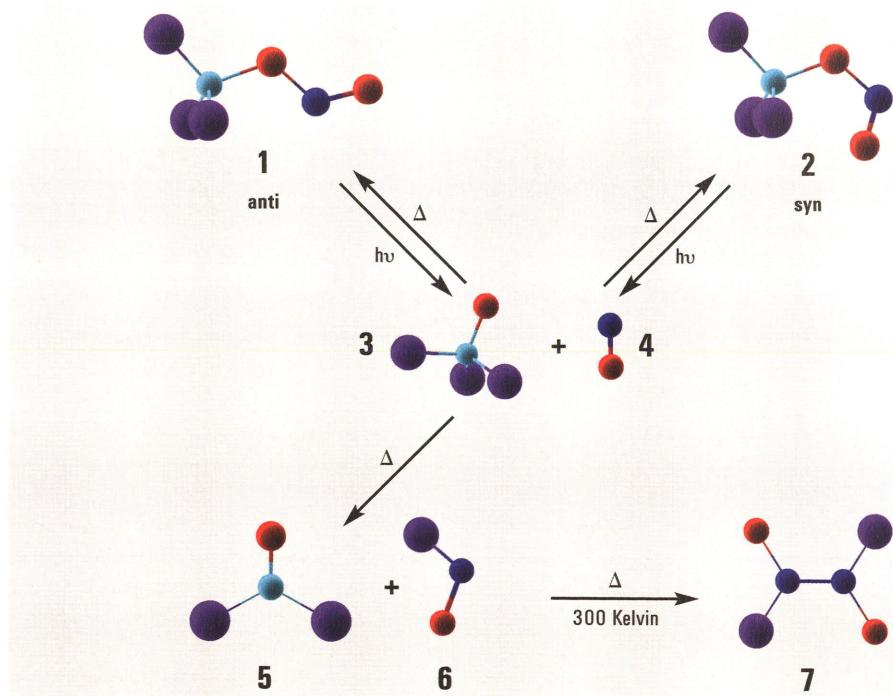


4

Schema einer Apparatur für die Matrixisolierung. Ein Gasgemisch aus Edelgas und der zu untersuchenden Substanz wird auf einer Substratscheibe ausgefrören, die von einem Kryostat auf 10 Kelvin gekühlt wird. Weißes Licht wird durch die Probe geleitet und anschließend durch ein Spektrometer (symbolisiert durch ein Prisma) in seine spektralen Bestandteile zerlegt.

Reaktionsschritte in der Photolyse des Moleküls *tert*-Butylnitrit

- Kohlenstoff (C)
- Sauerstoff (O)
- Stickstoff (N)
- Methylgruppe (CH_3)



Substratscheibe trifft, dann friert es dort zu einer Matrix fest. Meist benutzt man dazu Edelgase wie Argon oder Neon, denen man eine geringe Menge der chemischen Substanz zumeist, die man untersuchen will. Diese Moleküle stecken dann in der Edelgasmatrix fest wie Gurken in einem Haufen Apfelsinen. Da die Matrix fest ist, können die eingelagerten Moleküle nicht zusammenkommen. Die Edelgasatome selbst sind chemisch sehr wenig reaktiv. In einer solchen Inertgasmatrix kann man daher Moleküle fangen und untersuchen, die unter normalen Bedingungen sehr schnell weiter reagieren würden.

Beispiele dafür sind Radikale; so nennt man Molekülfragmente mit einem ungepaarten Elektron. Diese entstehen, wenn man eine chemische Bindung zerstört. Radikale kann man durch Pyrolyse herstellen, indem man das Gas unmittelbar vor dem Einlass in die Vakuumapparatur sehr hoch erhitzt. In Regensburg brechen wir chemische Bindungen durch Photolyse, indem wir die Substanz mit UV-Licht bestrahlen.

Ein Beispiel zeigt das Reaktionsschema in **5**. Im Molekül *tert*-Butylnitrit **1** ist die Einfachbindung zwischen dem Sauerstoffatom O und dem Stickstoffatom N eine Schwachstelle. Durch UV-Licht wird diese Bindung gebrochen, und es entstehen zwei Radikale, **3** und **4**. Diese können wieder zurück reagieren, wobei neben **1** auch ein anderes Isomer **2** entsteht, in dem die vier Atome C-O-N=O nicht z-förmig, sondern u-förmig angeordnet sind. Der Chemiker spricht von syn- und anti-Konformatio-nen. Bei Raumtemperatur ist die u-Form nicht stabil. In der Matrix kann man sie jedoch an ihrem 'Fingerabdruck' im Spektrum erkennen. Das NO-Radikal **4** kann aber auch eine Methylgruppe von Radikal **3** abreißen. Dann entstehen die Produkte

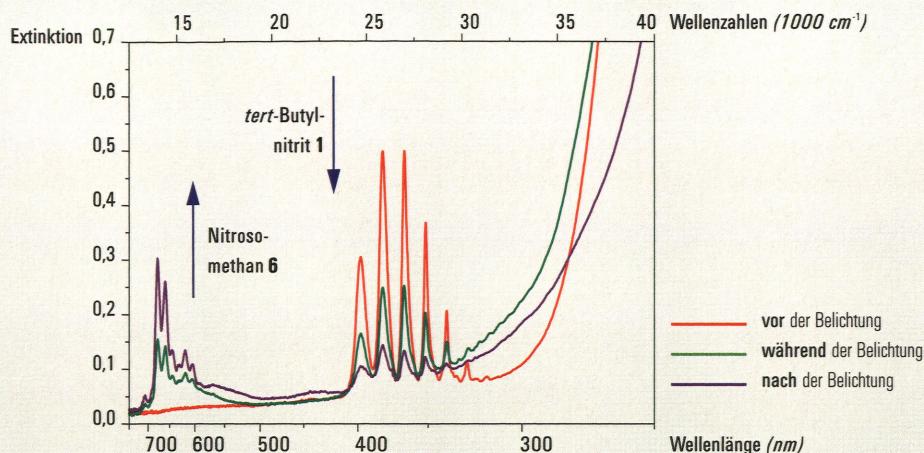
Aceton **5** und Nitrosomethan **6**. Nitrosomethan lässt sich bei Raumtemperatur nicht herstellen, da jeweils zwei Moleküle miteinander reagieren und ein Doppelmolekül **7** bilden. In der Edelgasmatrix erkennt man die Einzelmoleküle an einer neuen Absorptionsbande im roten Spektralbereich **6**.

Überschall-Düsenstrahlen

Edelgasmatrizen sperren die eingelagerten Moleküle in einer kalten Umgebung ein. Dadurch können sie sehr gut untersucht werden. Ein Nachteil ist, dass sich Moleküle in Matrizen nicht mehr bewegen können und dass die Matrixumgebung nicht für alle Moleküle die gleiche Struktur hat. Für manche Experimente wäre es ideal, wenn die Moleküle sehr kalt und trotzdem wie in einem Gas völlig voneinander isoliert wären. Das erscheint zunächst unmöglich, denn um eine Substanz zu verdampfen, muss man sie ja über den Siedepunkt erhitzen. Mit einem raffinierten Verfahren gelingt es aber doch.

Zunächst wird die Substanz, die untersucht werden soll, so weit erhitzt, dass ein Dampf mit einem Druck von etwa 1 bis 10 hPa entsteht. Die Moleküle im Dampf befinden sich dann in hoch angeregten Zuständen der Rotation und Schwingung. Diesem Dampf mischt man einen großen Überschuss (1–4 atm) an Helium zu. Die Heliumatome fliegen wie die anderen Moleküle im Dampf mit hoher Geschwindigkeit regellos im Behälter herum, und zwar um so schneller, je höher die Temperatur ist. Bei einer bestimmten Temperatur haben aber nicht etwa alle Teilchen dieselbe Geschwindigkeit, vielmehr stellt sich eine statistische Verteilung ein. Für die Bewegung entlang einer Raumrichtung ist diese Verteilung durch die Normalverteilung nach Gauss gegeben, die den alten 10-DM-Schein zierte. In **7** ist unten links diese Verteilung für Helium

Spektroskopie während einer Photolyse



6

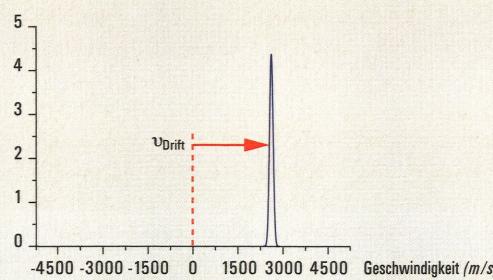
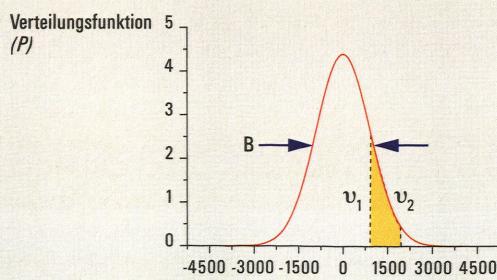
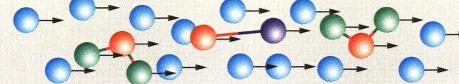
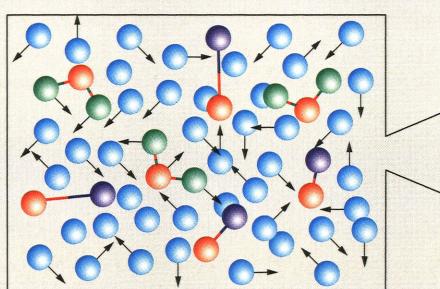
Sequenz von UV-Spektren, gemessen während der Photolyse von *tert*-Butylnitrit **1** in einer Neomatrix. Die charakteristischen Banden von *tert*-Butylnitrit **1** verschwinden, während die Banden von Nitroso-methan **6** anwachsen. Das zweite Produkt Aceton **5** absorbiert in diesem Bereich nicht.

bei 400 Kelvin skizziert. Die Fläche unter der Kurve zwischen den Geschwindigkeiten v_1 und v_2 entspricht dem Anteil der Heliumatome, die eine Geschwindigkeit in diesem Intervall besitzen. Mit steigender Temperatur wird die Verteilung breiter. Die Breite ist proportional zur Wurzel aus der Temperatur. Der Anteil der Teilchen mit hohen Geschwindigkeiten nimmt also mit steigender Temperatur zu.

Lässt man dieses Gasgemisch durch eine kleine Düse in einen Vakuumbehälter expandieren, dann wird die regellose Bewegung der Gasteilchen zum Teil in eine gerichtete Bewegung umgewandelt. Dies ist in **7** oben skizziert. Durch Stöße gleichen die Teilchen im Gasstrom ihre Geschwindigkeiten so lange aneinander an, bis sie quasi im Gleichschritt marschieren. Die Gesamtenergie bleibt bei diesem Vorgang erhalten, der größte Teil dieser Energie steckt aber nach der Expansion in der gerichteten Bewegung, nur noch ein kleiner Teil in der regel-

losen Bewegung der Teilchen relativ zueinander. Die resultierende Geschwindigkeitsverteilung ist in **7** unten rechts dargestellt. Die Verteilung ist jetzt sehr schmal, hat ihr Maximum aber nicht mehr bei $v=0$, sondern bei der Driftgeschwindigkeit der gesamten Gaswolke. Diese Driftgeschwindigkeit ist aber für die Temperatur unerheblich. Die Temperatur der Luft in einem Fußball hängt auch nicht davon ab, ob der Fußball durch das Stadion fliegt oder auf dem Boden liegt. Da nur die Breite der Verteilung der Relativgeschwindigkeiten die Temperatur bestimmt, ist die Gaswolke tatsächlich sehr kalt. Solange noch Stöße zwischen den Teilchen stattfinden, stellt sich ein Gleichgewicht zwischen der Translation der Heliumatome und den Freiheitsgraden der Rotationen und Schwingungen der beigemischten Moleküle ein. Diese werden also mitgekühlt. Typischerweise erreichen wir so Rotationstemperaturen von 2 Kelvin und Vibrationstemperaturen von 20 Kelvin.

Adiabatische Expansion



7

Erzeugung von kalten Molekularstrahlen durch adiabatische Expansion ins Vakuum.

oben links:

Vor der Expansion bewegen sich die Gasteilchen völlig regellos.

oben rechts:

Nach der Expansion fliegen die Gasteilchen alle mit fast gleicher Geschwindigkeit.

unten links:

Geschwindigkeitsverteilung in einem Heliumgas bei 400 Kelvin vor der Expansion.

unten rechts:

Geschwindigkeitsverteilung nach der Expansion (T=1 Kelvin).

8

Ein Beispiel für Experimente an Molekular-Düsenstrahlen ist die Bestimmung der Geschwindigkeitsverteilung von Fragmenten aus einer Photolysereaktion.

oben:

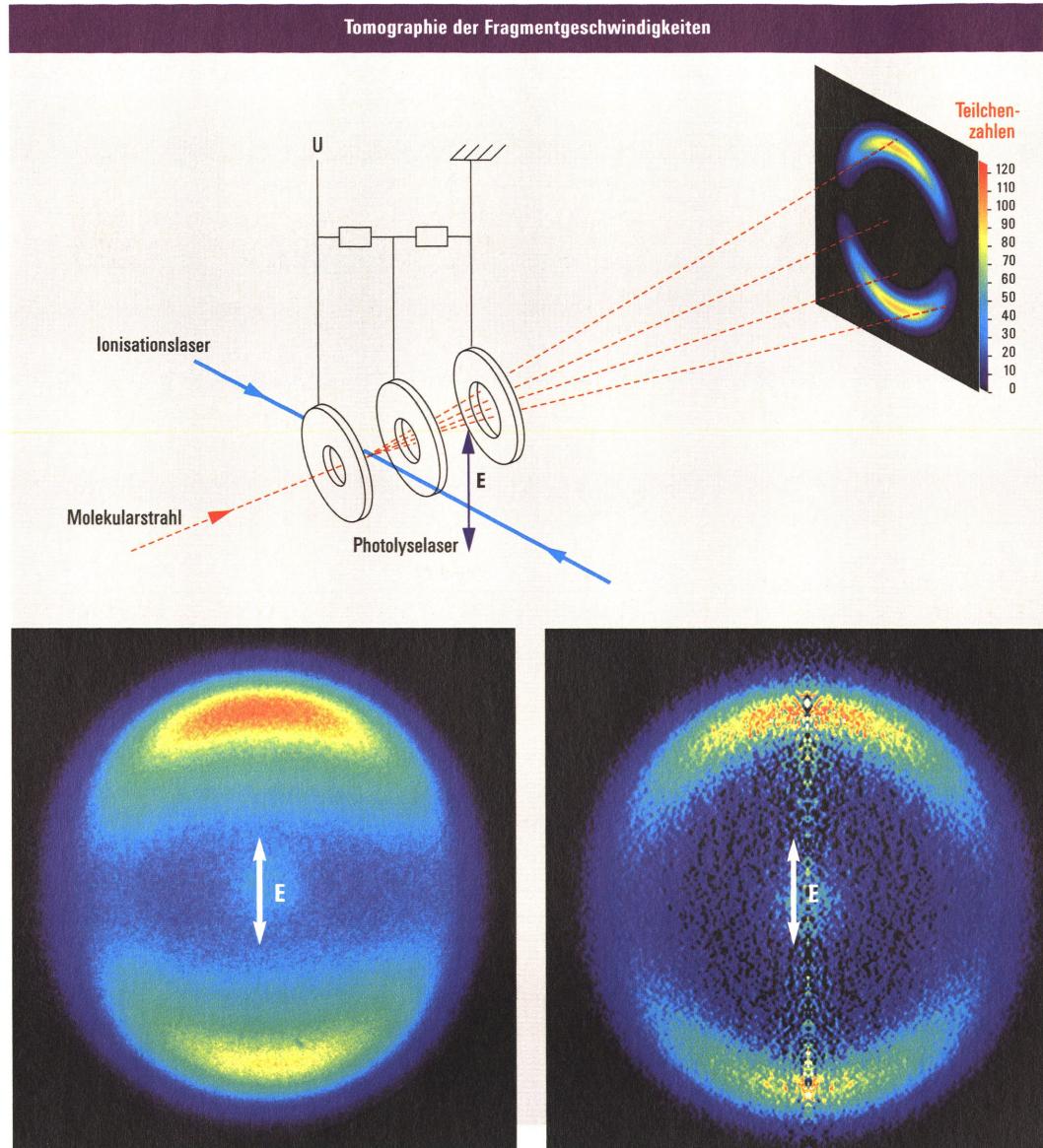
Schema der Apparatur zur Messung der Geschwindigkeitsverteilung von Molekülfragmenten in Überschall-Düsensstrahlen. Die ionisierten Fragmente werden durch eine elektrische Spannung U in zwei Stufen auf einen Flächendetektor beschleunigt.

unten links:

Ein typisches Messergebnis für das Molekül *tert*-Butylnitrit 1. Das Bild zeigt die auf der Detektorfläche gemessene Ionenverteilung. Diese entspricht der Projektion der dreidimensionalen Geschwindigkeitsverteilung des NO-Fragments auf eine Ebene. Blau zeigt niedrige Teilchenzahlen an, rot hohe Teilchenzahlen. Der Pfeil gibt die Polarisationsrichtung E des Photolyseslasers an.

unten rechts:

Schnitt durch die dreidimensionale Geschwindigkeitsverteilung, die aus den Daten (links) durch inverse Abeltransformation errechnet wurde.



In einem derartigen Molekularstrahl sind alle Moleküle frei von Störungen durch ein Matrixmaterial. Dadurch werden die Spektren stark vereinfacht. Wenn man diese Moleküle mit einem Laser anregt, nehmen alle Moleküle eine genau definierte Energie auf. Führt dies zu einer chemischen Reaktion, kann man sehr genau studieren, wohin diese Energie geht.

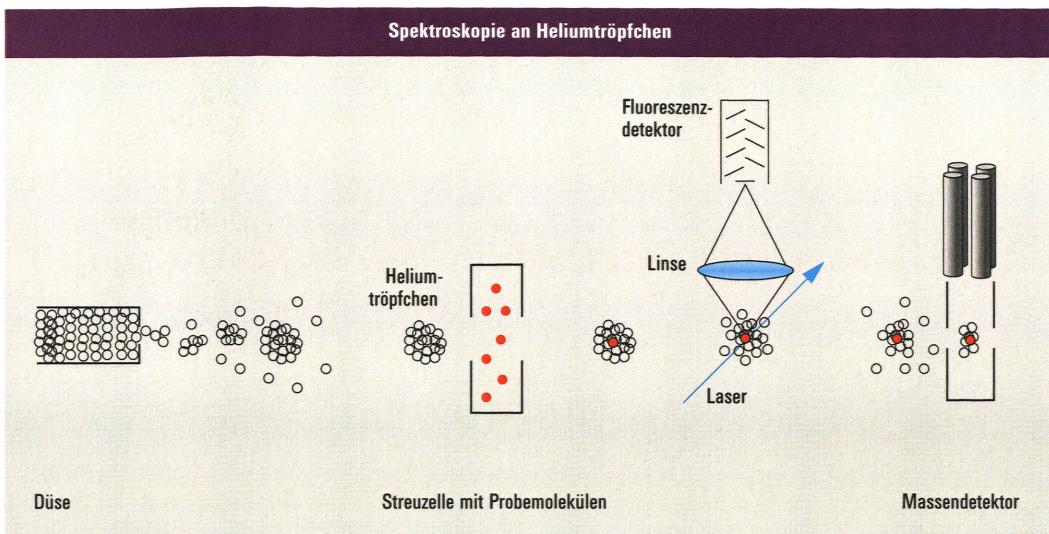
Als Beispiel betrachten wir dieselbe Reaktion wie im Fall der Matrixisolierung, nämlich die Photolyse von *tert*-Butylnitrit 1. Nach der Kühlung im Düsenstrahl wird das Molekül zuerst durch ein UV-Photon angeregt. Es zerbricht in zwei Radikale 3 und 4, die mit großer Geschwindigkeit voneinander wegfliegen. Da es keine feste Matrixumgebung gibt, welche die Fragmente festhalten könnte, reagieren sie nicht mehr zurück, und die gesamte Energie bleibt in den Fragmenten. Mit einem weiteren Laserphoton wird nun der Zustand des NO-Fragments abgefragt. Man findet, dass dieses sehr schnell rotiert. Mit einer Apparatur, die hier in Regensburg gebaut wurde, können wir die dreidimensionale Verteilung der Geschwindigkeiten vermessen 8. Es zeigt sich, dass die Fragmente bevorzugt parallel zur Polarisationsrichtung des Lasers fliegen. Das bedeutet, dass der Bindungsbruch schneller erfolgt als die Rotation des Ausgangsmoleküls.

Superflüssige Helium-Nanotröpfchen

Zusätzlich zu extrem kalten Feststoffen und Gasen können wir auch extrem kalte Flüssigkeiten herstellen. Helium ist eine Substanz, die auch bei tiefsten Temperaturen noch flüssig bleibt. Bei Normaldruck liegt der Siedepunkt von flüssigem Helium bei 4,2 Kelvin, bei tieferem Druck sinkt er weiter ab. Unterhalb von 2,1 Kelvin bildet sich die so genannte superflüssige Phase, die ganz außergewöhnliche Eigenschaften hat. Ihre Wärmeleitfähigkeit ist sehr hoch, sodass sich in der Flüssigkeit keine Blasen bilden; die Verdampfung erfolgt nur an der Oberfläche. Außerdem bewegen sich die Atome in der superflüssigen Phasereibungsfrei.

In Regensburg haben wir eine Apparatur gebaut, die kleine Tröpfchen aus superflüssigem Helium erzeugt 9. Das Helium wird bei hohem Druck (20 atm) und tiefer Temperatur (ca. 10 Kelvin) durch eine kleine Düse von 5 Mikrometer Durchmesser in eine Vakuumkammer gepresst. Während der Expansion kondensiert ein Teil des Heliums zu Aggregaten von 10^5 bis 10^7 Atomen, den Helium-Nanotröpfchen. Durch Verdampfen von der Oberfläche kühlen sich diese Tröpfchen bis auf 0,38 Kelvin ab. Das ist nur noch fast ein Tausendstel der Raumtemperatur

Spektroskopie an Heliumtröpfchen



9

Schema der Apparatur zur Erzeugung dotierter Helium-Nanotröpfchen. Das aus der Düse bei tiefer Temperatur und hohem Druck austretende Helium kondensiert zu Tröpfchen, die durch Stoß ein Probemolekül aufnehmen können. Nach Anregung mit einem Laser emittieren diese Moleküle Fluoreszenzlicht, das von einem Detektor (Photomultiplier) nachgewiesen wird. Ein Massendetektor kann die Größe der Tröpfchen und die eingelagerten Moleküle bestimmen.

und fast 10-mal kälter als die kälteste Ecke des Weltalls. In einer Streukammer werden die Tröpfchen dann mit den Molekülen beladen, die wir untersuchen wollen. Stößt ein Molekül mit einem Heliumtröpfchen zusammen, wird es von diesem aufgesaugt. Die im Molekül gespeicherte Wärme wird an das Heliumtröpfchen abgegeben, das sich durch Abdampfen einiger Heliumatome von der Oberfläche wieder abkühlt.

Wenn zwei Streukammern hintereinander eingesetzt werden, kann man die Tröpfchen auch mit zwei Molekülen unterschiedlicher Sorte beladen. Diese kann man anschließend durch Einstrahlen von Licht zur Reaktion bringen. Da jede Reaktionswärme durch das superflüssige Helium sofort weggeleitet und durch Abdampfen abgeführt wird, liegen die Produkte der chemischen Reaktion anschließend wieder bei der extrem niedrigen Temperatur von 0,38 Kelvin vor und können nun mit sehr großer Genauigkeit spektroskopisch untersucht werden.

Ausblick

Spektroskopische Experimente an kalten und isolierten Molekülen sind Grundlagenforschung. Zur Zeit besteht eine große Herausforderung für die Theoretische Chemie darin, den Ablauf chemischer Reaktionen auf der Grundlage der Gesetze der Quantenmechanik zu simulieren. Detaillierte spektroskopische Daten aus Molekularstrahlen liefern ein vollständiges Bild der Endzustände einer definierten chemischen Reaktion eines isolierten Moleküls in Abhängigkeit von der zugeführten Energie, das in allen Einzelheiten mit der theoretischen Vorhersage verglichen werden kann.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 66

Prof. Dr. rer. nat.

Bernhard Dick

geb. 1953 in Köln.

1972–1977 Studium der Chemie in

Köln, 1981 Promotion in Köln,

1982–1984 Post Doc am Department of Chemistry der University of

Pennsylvania, 1984–1992 Wiss.

Mitarbeiter am Max-Planck-Institut

für Biophysikalische Chemie, Abt.

Laserphysik, in Göttingen.

Seit 1992 Lehrstuhl für Physika-

lische Chemie an der Universität

Regensburg.

Forschungsgebiete:

Optische Spektroskopie von Mole-

külen mit interessanten photo-

chemischen Eigenschaften, Photo-

chemische Elementarreaktionen,

Spektroskopie bei tiefen Tempera-

turen, Resonante Nichtlineare Optik.



High Tech für die Produktwelt von morgen

Die WILDEN AG ist Synonym für hochwertige Kunststoffsysteme. Sowohl bei der Produktion von medizinischen und technischen Produkten als auch in den Bereichen Engineering, Werkzeugbau und Automatisierungstechnik sowie Montage, Verpackung und Logistik haben wir in den vergangenen 50 Jahren im Markt entscheidende Akzente gesetzt.

Heute zählen wir in Europa zu den führenden Unternehmen unserer Branche.

WILDEN

WILDEN AG

Bischof-von-Henle-Str. 2 b

D-93051 Regensburg

Telefon +49 (0) 941-70 58-200

Telefax +49 (0) 941-70 58-201

Internet www.wilden.de

E-Mail info@wilden.de

Innovationen - made by WILDEN

Zwischen Hochzeitsflug und Brudermord

Reproduktive Taktiken bei Ameisenmännchen

Evolutionsbiologie

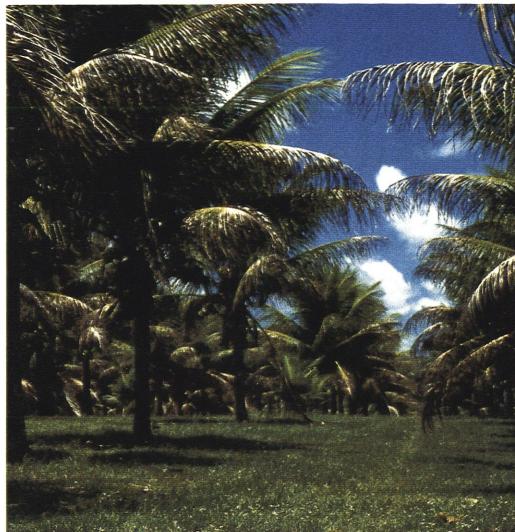
Bei vielen Tierarten haben Individuen unterschiedliche Möglichkeiten, die Anzahl ihrer Nachkommen zu erhöhen. Beispielsweise versuchen manche Affenmännchen, aggressiv einen Harem gegen Nebenbuhler zu verteidigen, während andere die direkte Konfrontation mit dem ›Platzhirsch‹ vermeiden und sich stattdessen im Verborgenen mit Weibchen aus dessen Harem paaren. Bei Männchen der Ameise *Cardiocondyla obscurior* gehen solche alternativen Taktiken mit bizarren Unterschieden in der Morphologie einher: Ungeflügelte ›Kämpfermännchen‹ mit robustem Körperbau und starken Kiefern (ergatoide Männchen) versuchen, durch heftige Kämpfe mit ihren Rivalen die im Staat heranwachsenden Jungköniginnen für sich zu monopolisieren. Geflügelte Männchen sind im Gegensatz dazu fragil und friedfertig. Sie entgehen den Attacken von Seiten der ungeflügelten Männchen dadurch, dass sie in ihrem Geruch Jungköniginnen nachahmen.

Darwins Evolutionstheorie besagt, dass Selektion die am besten an die Umwelt angepassten Individuen begünstigt und diese sich daher in der Evolution gegenüber weniger gut angepassten Formen durchsetzen. Dies wird durch zahllose Beispiele grundsätzlich und in beeindruckender Weise belegt. Bei genauerem Hinsehen zeigt sich aber, dass oft nicht so eindeutig ist, was dabei eigentlich »am besten angepasst« bedeutet.

Tatsächlich gibt es viele verschiedene Möglichkeiten, »gut angepasst« zu sein. Selbst innerhalb einer Art kommen häufig Individuen vor, die sich auf unterschiedliche Art und Weise, aber ähnlich erfolgreich fortpflanzen. Solche ›alternativen Fortpflanzungstaktiken‹ sind oft situationsabhängig: Ein Affenmännchen wird versuchen, eine Gruppe von Weibchen offen für sich zu monopolisieren, wenn weit und breit kein stärkerer Nebenbuhler vorhanden ist. Sobald aber ein solcher auftaucht, wird dasselbe Individuum vielleicht direkter Konfrontation aus dem Weg gehen und sich nur noch im Verborgenen mit den Weibchen paaren. Meist ist eine heimliche Paarung die bevorzugte Strategie junger oder schwächerer Tiere, denen die Voraussetzungen fehlen, sich im direkten Wettbewerb mit anderen Männchen erfolgreich durchzusetzen. In anderen Fällen sind die Fortpflanzungstaktiken mit feststehenden Unterschieden in Körperbau, Färbung oder der Ausstattung an Waffen und Ornamenten verbunden. Alternative Typen sind sich dabei gelegentlich so unähnlich, dass zur selben Art

gehörige Individuen über lange Zeit für Angehörige unterschiedlicher Spezies, ja sogar unterschiedlicher Gattungen gehalten wurden.

Alternative Fortpflanzungstaktiken kommen bei Männchen häufiger vor als bei Weibchen. Dies liegt vermutlich daran, dass Männchen bei den meisten Tierarten prinzipiell mehr Nachkommen haben können als die Weibchen. Spermien sind kleiner und können ›billiger‹ hergestellt werden als die oft sehr dotterreichen Eier. Daher versuchen Männchen, ihren Paarungserfolg zu erhöhen, indem sie mit ihren Rivalen um Zugang zu den Weibchen kämpfen. Dies hat bei den Männchen vieler Tierarten zur Ausbildung von vergrößerten Eckzähnen, Spornen oder Hörnern geführt. Bei anderen Arten konkurrieren die Männchen indirekt miteinander, indem sie versuchen, die Weibchen durch prachtvolle Ornamente oder komplexe akustische Signale auf sich aufmerksam zu machen. Waffen und Ornamente taugen im Wettbewerb um die Weibchen nur dann, wenn sie eine bestimmte Mindestqualität oder -größe haben. Nicht alle Männchen haben genügend Ressourcen, um solche Merkmale in voller Größe auszubilden. Männchen mit schlechter Kondition bilden sie oft überhaupt nicht aus, sondern versuchen, auf andere Weise die Gunst der Weibchen zu erlangen. Sie sparen somit die hohen Kosten der Ausbildung effizienter Waffen, aufwändiger Ornamente oder teurer Balz, gehen direkter Konfrontation mit anderen Männchen aus dem Weg und gelangen auf deren Kosten indirekt zum Ziel. Beispielsweise vermeiden manche kleineren Froschmännchen den Aufwand des kräftezehrenden und Feinde anlockenden Gesangs und paaren sich mit Weibchen, die von den Rufen anderer Männchen angelockt wurden, in deren Nähe sich die stumm gebliebenen Kandidaten als ›Satelliten-Männchen‹ aufhalten. In ähnlicher Weise warten kleinere männliche Lachse ab, bis ein großes Männchen ein Weibchen so weit betört hat, dass es Eier ablegt; dann verlassen sie blitzschnell ihr Versteck und versuchen, die Eier noch vor dem balzenden Männchen zu besamen. Bei einer Meeresassel gibt es sogar drei unterschiedliche, genetisch festgelegte Männchentypen: solche, die versuchen, einen Harem aggressiv gegen andere Männchen zu verteidigen, ›sneaker‹, die heimlich in das Territorium der aggressiven Männchen eindringen und dort mit Weibchen kopulieren, und schließlich Männchen, die Weibchen nachahmen und deshalb vom dominanten Männchen im Harem geduldet werden.



Alternative Paarungstaktiken von Ameisenmännchen

Bei Ameisen findet die Paarung meist während eines kurzen Hochzeitsfluges statt. Die geflügelten Männchen verlassen dazu bei einer bestimmten Wetterlage zeitgleich ihre Nester und sammeln sich in einer dichten Wolke um einzeln stehende Bäume, Kirchtürme oder andere herausragende Orientierungspunkte. Die ebenfalls geflügelten Jungköniginnen fliegen in diese Wolke hinein, und die Paarung erfolgt in der Luft. Nach wenigen Stunden ist der Hochzeitsflug vorbei. Während die frisch verpaarten Jungköniginnen ihre Flügel abwerfen und sich zur Gründung einer neuen Kolonie im Boden, unter Steinen oder in morschem Holz verkriechen, sterben die Männchen. Die kurze Dauer des Hochzeitsfluges und die hohe Anzahl von Konkurrenten macht die Eroberung und Verteidigung eines Harems durch ein einzelnes Männchen unmöglich. Im Gegensatz zu den Männchen anderer Tierarten kämpfen Ameisenmännchen daher nicht offen aggressiv um Zugang zu den Weibchen, und sie verteidigen sie auch nicht gegen andere Männchen. Morphologie und Verhalten der Ameisenmännchen ist auf diese kurze Paarungszeit hin ausgerichtet, sie sind fragil, haben keinerlei »Waffen«, und da sich die Hoden beim Erreichen der Geschlechtsreife zurückbilden, ist ihr Spermenvorrat limitiert und reicht nur für wenige Begattungen.

Unter manchen Umweltbedingungen sind ein solcher Paarungsflug und die anschließende Koloniegründung durch einzelne Königinnen sehr risikant und wenig erfolgreich. Bei einigen Ameisengattungen, beispielsweise bei *Cardiocondyla*, hat sich stattdessen die Paarung von Jungköniginnen und Männchen innerhalb des Mutternests entwickelt. Dadurch ergibt sich für *Cardiocondyla*-Männchen gleichzeitig die Möglichkeit, ihre Nebenbuhler aus dem Nest auszuschließen und die Jungköniginnen für sich zu monopolisieren.

Männchendimorphismus

Cardiocondyla obscurior ist eine recht kleine Ameise (Körperlänge ca. 3 mm), die durch den Handel mit Nutzpflanzen über weite Teile der Tropen verschleppt wurde. In Südamerika, wo diese Art

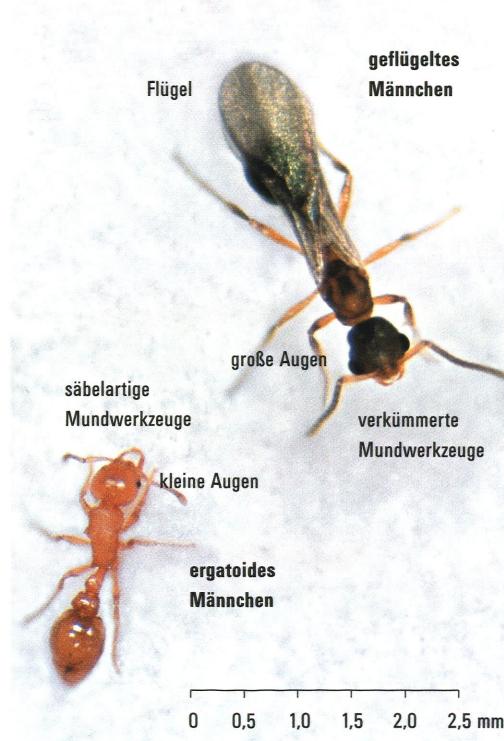


ursprünglich nicht heimisch war, findet sie sich häufig auf Plantagen 1, wo sie beispielsweise in zusammengerollten Blättern von Zitronenbäumen nistet oder in sich nicht weiter entwickelnden Kokosnüssen 2.

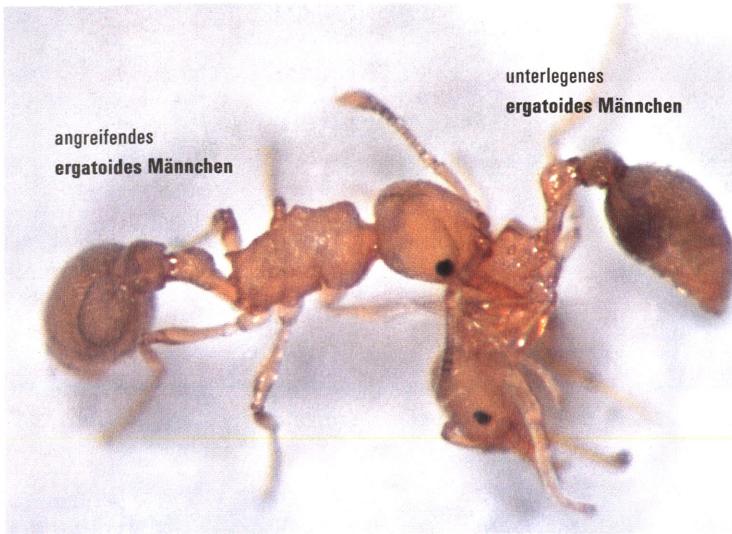
Bei *C. obscurior* gibt es neben den für Ameisen typischen geflügelten Männchen noch einen weiteren Männchentyp: flügellose, robuste »Kampfmaschinen«, die in der Forschung als »ergatoide Männchen« bezeichnet werden 3. Im Gegensatz zu den geflügelten Männchen verlassen sie das Nest nicht, sondern suchen es fast kontinuierlich nach frisch geschlüpften Jungköniginnen und ergatoiden Rivalen ab. Treffen zwei dieser Kämpfermännchen aufeinander, versuchen sie, sich gegenseitig mit ihren säbelartig verlängerten Kiefern zu packen 4 und mit der Hinterleibsspitze bestimmte Sekrete auf den Gegner aufzutragen und dort mit ihren Beinen zu verstreichen. Diese Substanzen alarmieren wiederum Arbeiterinnen, die beginnen, das derart

1 Typischer Lebensraum der kleinen tropischen Ameise *Cardiocondyla obscurior*: eine Kokosnussplantage in Brasilien.

2 In den kleinen Hohlräumen im Inneren von sich nicht weiter entwickelnden Kokosnüssen (Gesamtlänge ca. 2 cm) haben ganze Kolonien von *Cardiocondyla obscurior* Platz.



3 So unterschiedlich können Männchen der Ameise *Cardiocondyla obscurior* aussehen: oben ein geflügeltes Männchen, das wie ein typisches Ameisenmännchen sehr große Augen besitzt, unten ein kleineres, ergatoides Männchen, dessen Flügel und Augen stark reduziert sind, das dafür aber mit großen säbelartigen Mundwerkzeugen ausgestattet ist.



4
Kampf zweier ergatoider Männerchen.
Ergatoide Männerchen setzen ihre langen Mundwerkzeuge im Kampf gegeneinander ein. Nachdem das angreifende Männerchen seinen Gegner mit den Mandibeln erfasst hat, beginnt es, ihn mit einer chemischen Substanz zu markieren. Dadurch wird die Aufmerksamkeit der Arbeiterinnen geweckt, die das gebrandmarkte Männerchen zu Tode beißen.

gebrandmarkte Männerchen anzugreifen und ihm Antennen, Beine und letztlich den Kopf abzubeißen. Auf diese Weise gelingt es einem erfolgreichen ergatoiden Männerchen, neu schlüpfende Rivalen frühzeitig aus dem Weg zu räumen, so dass es über Wochen oder sogar Monate hinweg das einzige ausgewachsene Männerchen dieses Typs im Nest bleibt. Während dieser Zeit paart es sich mit allen schlüpfenden Jungköniginnen, was dadurch ermöglicht wird, dass bei den Kämpfermännchen von *Cardiocondyla* im Gegensatz zu allen anderen Ameisenmännchen nach der Geschlechtsreife die Hoden voll funktionsfähig bleiben und der Spermenvorrat daher ständig ergänzt wird.

Geflügelte Männerchen von *C. obscurior* verhalten sich völlig anders: Sie sind friedfertig und verlassen etwa zehn Tage nach dem Schlüpfen das mütterliche Nest, um an einem Paarungsflug teilzunehmen. Spätestens dann sind ihre Hoden degeneriert, der Spermenvorrat ist folglich limitiert. Während der ersten Tage ihres erwachsenen Lebens versuchen die geflügelten Männerchen aber ebenfalls, sich mit den Jungköniginnen im Nest zu verpaaren. Man würde daher erwarten, dass Kämpfermännchen nicht nur ergatoide Rivalen, sondern auch die geflügelten Nebenbuhler attackieren. Überraschenderweise tun sie dies aber nicht. Im Gegenteil, sie tolerieren nicht nur die Anwesenheit geflügelter Männerchen im Nest, sie scheinen von ihnen sogar sexuell angezogen zu werden und versuchen häufig, sich mit ihnen zu paaren. Junge geflügelte Männerchen lösen während ihrer ersten fünf Lebenstage

ähnlich häufig Kopulationsversuche von Seiten ergatoider Männerchen aus wie Jungköniginnen. Allerdings lässt das Interesse der Kämpfermännchen an geflügelten Männerchen nach deren sechstem Lebenstag nach, während unbegattete Königinnen offensichtlich weiterhin attraktiv bleiben. Geflügelte Männerchen scheinen somit einen Trick anzuwenden, durch den sie vor den Angriffen durch die Kämpfermännchen gefeit sind: Sie tarnen sich als Weibchen.

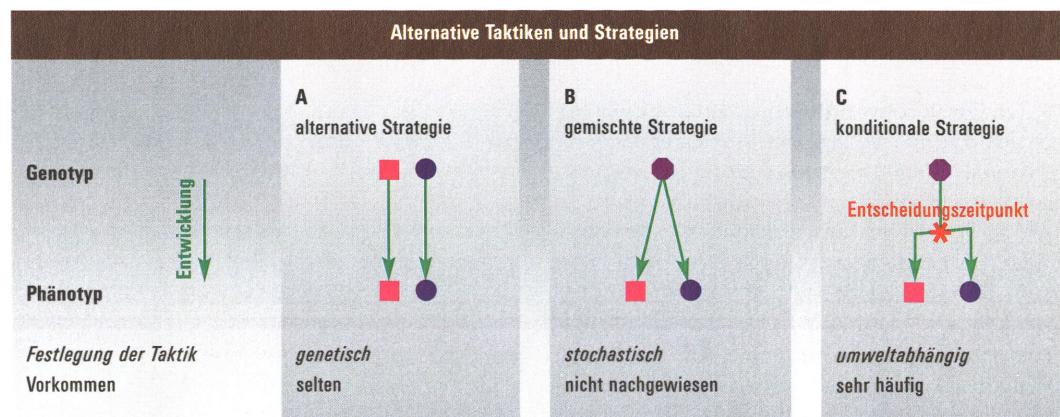
Chemische Tarnkappe

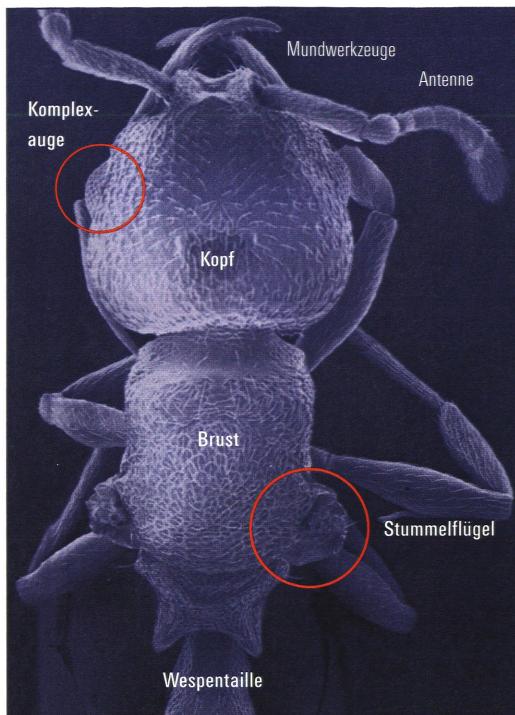
Worauf basiert die Ähnlichkeit junger geflügelter Männerchen mit den Jungköniginnen? Wie eingangs erwähnt, tarnen sich auch bei einigen anderen Tierarten Männerchen als Weibchen (Weibchenmimikry). Meist erfolgt dies durch Nachahmung des weiblichen Aussehens und/oder Verhaltens. Geflügelte Männerchen ähneln den Jungköniginnen zwar nicht im Verhalten, haben aber tatsächlich eine ähnliche Größe wie die Jungköniginnen und sind genau wie diese geflügelt. Allerdings ändert sich ihr Aussehen nicht mit steigendem Alter – die Abnahme ihrer Attraktivität für die ergatoiden Männerchen nach sechs Tagen kann daher nicht mit dem Aussehen zusammenhängen. Für Ameisen, die meist in dunklen Nestern zusammenleben, spielt die chemische Kommunikation eine entscheidende Rolle. Sie erkennen sich gegenseitig dadurch, dass sie mit den Sinnshaaren ihrer Antennen die Zusammensetzung eines komplexen Cocktails von Kohlenwasserstoffen auf der Körperoberfläche „erschmecken“. Es war daher nahe liegend, die Ursachen der Weibchenmimikry in der chemischen Zusammensetzung dieses Cocktails zu suchen.

Die gaschromatographische Auftrennung der Kohlenwasserstoffe am Dipartimento di Biologia Animale e Genetica der Universität Florenz zeigte, dass die Geruchsmischung bei *C. obscurior* aus 44 verschiedenen Substanzen besteht, wobei sich einzelne Individuen deutlich durch den jeweiligen Anteil bestimmter Stoffe unterscheiden. Die Duftmuster junger geflügelter Männerchen sind dabei deutlich anders als die der Kämpfermännchen, ähneln aber denen der Jungköniginnen. Erst mit steigendem Alter unterscheiden sich die Muster aller Gruppen von Koloniemitgliedern stärker voneinander. Junge geflügelte Männerchen tarnen sich also tatsächlich dadurch als Jungköniginnen, dass sie zeitweise genau das gleiche Parfum produzieren wie diese.

5
Als Taktik bezeichnet man die auftretende Merkmalsausprägung (Phänotyp), z. B. ein geflügeltes oder ungeflügeltes Männerchen bei *Cardiocondyla*. Dieser Taktik liegt eine Entscheidungsregel – die Strategie – zugrunde. Das Auftreten alternativer Taktiken kann durch unterschiedliche Strategien bedingt werden:

A die alternative Strategie
B die gemischte Strategie
C die konditionale Strategie.
Im Fall der alternativen Strategie **A** ist bereits genetisch festgelegt, welche Taktik ein Individuum entwickeln wird. Hingegen sind die alternativen Phänotypen bei gemischerter Strategie **B** oder konditionaler Strategie **C** genetisch gleich. Bei der gemischten Strategie **B** kann jedes Tier potenziell alle Taktiken durchführen und tut dies jeweils mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit. Bei der konditionalen Strategie **C** hängt die verwirklichte Taktik eines Tieres vom Zustand zu einem bestimmten Zeitpunkt ab, an dem die gesamte weitere Entwicklung festgelegt wird.



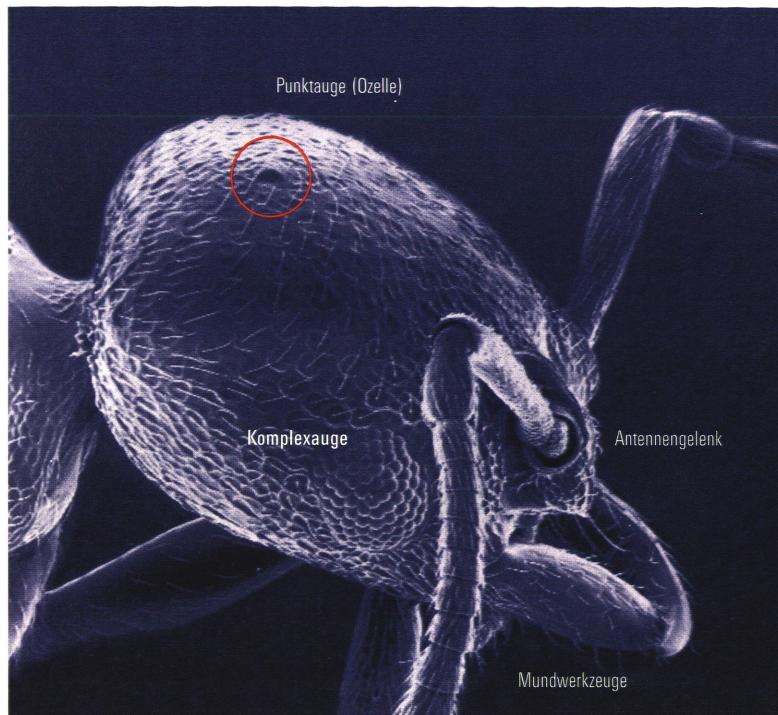


Eine solche chemische Weibchenmimikry innerhalb einer Art wurde bislang nur bei bestimmten nordamerikanischen Schlangen und Dungkäfern beobachtet. Manche männlichen Strumpfbandnattern ziehen nach dem Winterschlaf durch ihren weiblichen Geruch andere Männchen an und erhalten durch deren Werben die Wärme, die sie benötigen, um schnell aus der Kältestarre aufzuwachen. Bei *Aleochara*-Käfern tarnen sich einige Männchen als Weibchen, um – von anderen Männchen ungehindert – am Dung fressen zu können. In beiden Fällen zeigen Männchen, die Weibchen nachahmen, weder große Kopulationsneigung noch sind sie für die Weibchen attraktiv. Im Gegensatz dazu sind geflügelte *Cardiocondyla*-Männchen sowohl sexuell aktiv als auch effektiv getarnt.

Stress verleiht Flügel

Welche Faktoren bestimmen, ob sich aus einem männlichen *Cardiocondyla*-Ei ein geflügeltes oder ein ergatoides Männchen entwickelt? Ein solcher Polymorphismus kann entweder genetisch fixiert sein – das heißt, unterschiedliche Genotypen entwickeln sich in unterschiedliche Typen (alternative Strategie) – oder aber sich im Lauf der Entwicklung in Abhängigkeit von Umweltbedingungen herausbilden (konditionale Strategie; 5 gibt einen Überblick über die verschiedenen Arten von Polymorphismus und den Mechanismus seiner Aufrechterhaltung).

Genetische Polymorphismen sind beispielsweise von den erwähnten Meeressasseln bekannt und können meist durch einfache Kreuzungsexperimente nachgewiesen werden, da Männchen ihre Morphologie an ihre männlichen Nachkommen vererben. Anders als bei den meisten Tierarten kann man bei *C. obscurior* jedoch nicht schon aus den ersten Nachkommen Schlüsse auf etwaige Vererbung väterlicher Merkmale ziehen. Bei Ameisen, wie auch bei Bienen und Wespen, entwickeln sich Männchen nämlich aus unbefruchteten Eiern. Dies hat



zur Folge, dass Männchen keine Söhne und auch keine Väter haben! Um zu untersuchen, ob die Morphologie von Männchen vererbt wird, verglichen wir daher 21 Großväter mit ihren 180 Enkelsöhnen. Dieser Vergleich ergab jedoch keinen Hinweis auf das Vorhandensein eines genetischen Polymorphismus.

Andere Beobachtungen sprechen sehr deutlich für einen starken Einfluss der Umweltbedingungen auf die Ausprägung der Morphologie der Männchen. Weder in den 80 im Frühjahr und Herbst in Brasilien gesammelten Nestern noch in Kolonien, die im Labor unter naturnahen Bedingungen (27°C) gehalten wurden, fanden sich geflügelte Männchen. Auf eine Absenkung der Haltungstemperatur im Labor um 5°C reagierten aber mehr als vier Fünftel der Kolonien mit der Produktion geflügelter Männchen. Auch in Kolonien, in denen wir die Arbeiterinnenzahl experimentell massiv reduziert hatten, wurden geflügelte Männchen aufgezogen. Die Männchenmorphie ist also offensichtlich nicht genetisch fixiert, sondern wird erst im Laufe der Entwicklung des Männchens durch die äußeren Bedingungen festgelegt. Um herauszufinden, ab wann die Entwicklung männlicher Eier in Richtung zu der einen oder anderen Morphologie festgelegt ist, tauschten wir Eier zwischen gestressten und ungestressten Kolonien aus. Gestresste Kolonien wurden bei 22°C gehalten, ungestresste bei 27°C. Dieses Experiment ergab, dass geflügelte Männchen nur dann entstehen, wenn sie ihre Larvalentwicklung unter Stressbedingungen durchmachen, nicht jedoch, wenn nur die Eiablage bei niedrigeren Temperaturen erfolgt. Die Männchenmorphie ist also nicht bereits im Ei festgelegt, sondern bleibt für längere Zeit flexibel. Dies erleichtert der Ameisenkolonie eine flexible und schnelle Reaktion auf sich verändernde Umweltbedingungen, hat aber den Nachteil, dass es zu Entwicklungsfehlern kommen kann. Innerhalb der ersten fünf Wochen nach Absenkung der Temperatur

6

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines intermorphen Männchens. Bei rasch wechselnden Umweltbedingungen können Entwicklungshilfer auftreten, die zu >intermorphen Männchen< führen, deren Morphologie und Physiologie intermediär zwischen den >reinen< Männchentypen liegt.

links:
Kopf und Brustbereich von oben.
Intermorphische Männchen haben Stummelflügel.

rechts:
Kopf von der Seite. Auch die Mundwerkzeuge und Augen der intermorphischen Männchen sind intermediär ausgeprägt.



Dr. rer. nat.

Sylvia Cremer

geb. 1973 in Nürnberg,

Studium der Biologie an der Universität Erlangen-Nürnberg.

2002 Promotion an der Universität Regensburg bei Jürgen Heinze.

Oktober 2002 bis September 2003

›Assistant Research Professor‹

im Rahmen des EU-Netzwerkes

›INSECTS‹ am Zoologischen Institut der Universität Kopenhagen.

Seither Feodor-Lynen-Stipendiatin der Alexander-von-Humboldt-Stiftung.

Arbeitsgebiete:

Evolution, Genetik und Verhaltensökologie sozialer Insekten, Invasionsbiologie.

Prof. Dr. rer. nat.

Jürgen Heinze

geb. 1957 in Darmstadt,

Studium an der TH Darmstadt.

1984 Promotion. Danach als Wiss.

Assistent an der Harvard Universität, Cambridge, Mass., und am Biozentrum der Universität Würzburg. 1996 bis 2000 Professur an der Universität Erlangen-Nürnberg, seit 2000 Lehrstuhl für Biologie I an der Universität Regensburg.

Arbeitsgebiete:

Evolution, Genetik und Verhaltensökologie sozialer Insekten.

traten vereinzelt Männchen auf, deren Morphologie intermediately zwischen der der geflügelten und der der ergatoiden Männchen lag [6]; beispielsweise waren ihre Flügel nur als Stummel angelegt und ihre Mundwerkzeuge von mittlerer Länge. Ihre Komplexaugen bestanden aus einer mittleren Anzahl von Einzelaugen, und auch die drei Punktäug (Ozellen), die normalerweise nur bei geflügelten Männchen auftreten, finden sich bei einigen intermorphen Männchen. Kein intermorphes Männchen gleicht dem anderen, denn die Männchenlarven können bereits unterschiedlich weit entwickelt sein, wenn der Stress einsetzt und ihre Entwicklung zur geflügelten Morphe induziert.

Adaptiver Nutzen

Welche Vorteile haben die *Cardiocondyla*-Ameisen davon, zwei morphologisch so unterschiedliche Männchentypen aufziehen zu können? Staaten von *C. obscurior* scheinen bevorzugt in bestimmten inselartig verteilten Habitaten zu leben, die zwar schwer zu finden sind, dann aber geradezu unbegrenzten Lebensraum für eine so kleine Ameisenart bieten. Kolonien, die an einem Ort mit günstigen Bedingungen leben, brauchen diesen nicht zu verlassen, sondern sich nur innerhalb seiner Grenzen auszubreiten. Ausfliegende Jungköniginnen und Männchen laufen dagegen Gefahr, außerhalb des Idealterrains in einer ungeeigneten Umgebung zu landen.

Anders stellt sich die Situation jedoch dar, wenn sich die Umweltbedingungen verschlechtern. Die Ameisenkolonie als Ganzes ist wie eine Pflanze ortsgebunden und kann auch unter schlechten Bedingungen nicht über weite Strecken abwandern, da sie aus flügellosen Arbeiterinnen, entflügelten eierlegenden Königinnen und unbeweglicher Brut besteht. Allerdings kann sie ausfliegende Geschlechtstiere produzieren, im Fall von *C. obscurior* also auch geflügelte Männchen. Diese Eigenschaft, nämlich den Wechsel zwischen lokalem, »vegetativem« Wachstum und der Produktion von geflügelten Verbreitungsformen, teilen diese Ameisen mit wenigen anderen Lebewesen, etwa einigen Pflanzen und sesshaften marinen Tieren. So gibt es Korbblütler, die ihre Samen bei sich verschlechternden Umweltbedingungen mit einem Schirmchen versiehen, das bessere Flugeigenschaften besitzt als die üblichen einfachen Verbreitungsschirmchen.

Ausblick

Ameisen sind in vieler Hinsicht gut untersuchte Organismen. Fast alle Forschungsarbeiten beschränkten sich dabei auf das Verhalten der beiden weiblichen Kasten, der Königinnen und Arbeiterinnen. Unsere Beobachtungen zeigen jedoch, dass auch die bislang vernachlässigten Männchen faszinierende Forschungsobjekte sind, die grundlegend neue Phänomene in den Blick rücken.

So könnte der Polymorphismus der *Cardiocondyla*-Männchen in Zukunft als ein Modellsystem für die Beantwortung grundsätzlicher Fragen nach Wechselbeziehungen zwischen Genen und Umwelt dienen: Welche Gene werden bei Stress-Bedingungen aktiviert, so dass sich geflügelte statt ungeflü-

gelter Männchen entwickeln? Unklar ist des Weiteren noch, wie groß eigentlich der Erfolg beider Taktiken ist. Von männlichen Käfern weiß man, dass sie unter Mangelbedingungen die Taktik der Weibchenmimikry wählen. Die Paarungschancen solcher Männchen sind zwar geringer als die der hörnerbewehrten, dominanten Männchen, aber vermutlich doch größer als die kümmerlicher Männchen, die versuchen, mit winzigen Hörnern oder Kiefern dominante Männchen zu vertreiben. Wie sieht es entsprechend mit der ›Fitness‹ geflügelter und ungeflügelter *Cardiocondyla*-Männchen aus, und auf welcher Selektionsebene – Individuum oder Gruppe – wird der Fortpflanzungserfolg maximiert? Prinzipiell könnten männliche Larven bezüglich ihrer zukünftigen Entwicklung andere Interessen haben als der Rest der Kolonie, so dass mit Konflikten und einem evolutionären ›Wettrüsten‹ zu rechnen wäre (vergl. dazu Heinze, BLICK IN DIE WISSENSCHAFT 13/2001).

C. obscurior ist nur eine zahlreicher Arten, die vom Menschen in einen neuen Lebensraum eingeschleppt wurden. Aufgrund ihrer ›zurückhaltenden‹ Art der Futtersuche (nur bis zu zwei Ameisen sammeln an der gleichen Stelle, ohne eine grosse Ameisenstraße zu bilden) bleibt sie auch im neuen Lebensbereich relativ unscheinbar.

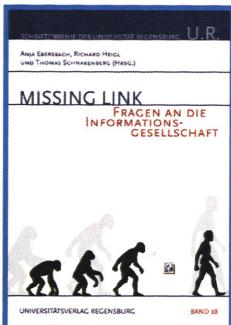
Die meisten anderen eingeführten Ameisen hingegen entwickelten sich im neuen Habitat regelrecht zu Pestorganismen, die die gesamte einheimische Fauna (von anderen Ameisen über diverse andere Insekten bis hin zu Wirbeltieren) verdrängen. Dieser enorme ökologische Erfolg eingeführter Ameisen erklärt sich durch eine gewaltige ›Reform‹ ihrer Sozialstruktur: Während sie im Ursprungsgebiet ihre Nester gegen andere Ameisen der gleichen Art aggressiv verteidigen, verlieren sie im neuen Habitat ihre territoriale Aggressivität gegenüber Artgenossen komplett. Sie werden somit noch eine Stufe ›sozialer‹, als es normale Ameisen sind: Sie bilden eine uniforme Gruppe nicht nur mit den Angehörigen ihres Nestes, sondern aller Nester der gesamten Population, die sich über viele Kilometer erstrecken kann. Dieses Phänomen wird daher als »Hypersozialität« bezeichnet und die Tiere, die sich zu einer populationsweiten Kolonie zusammenschließen, als »Superkolonie«. Ein Problem ergibt sich jedoch aus dieser neuen Art des Zusammenlebens: Durch den regen Austausch der Tiere aller Nester ziehen die Arbeiterinnen nicht mehr nur die Brut ihrer Mutter groß, sondern kümmern sich nun auch um die Eier komplett unverwandter Königinnen. Somit verlieren diese Arbeiterinnen ihre Verwandtschaft zu der Brut, die sie aufziehen, und somit jegliche Vorteile, die normalerweise ihr altruistisches Verhalten (Aufgabe der eigenen Reproduktion) erklären. Somit sollten diese hypersozialen Ameisenverbände auf Dauer instabil sein und die Arbeiterinnen zu meutern beginnen.

Wie sich solche hypersozialen Sozietäten entwickeln und wodurch sie stabilisiert werden, ist eine Frage, der die Autorin nun an der Universität Kopenhagen anhand der invasiven Gartenameise, *Lasius neglectus*, nachgeht.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 66

Schriftenreihe der Universität Regensburg U.R.

Einblicke in die Informationsgesellschaft



172 Seiten, kartoniert,
ISBN 3-930480-45-X
Euro 22,90

A. Ebersbach, R. Heigl, Th. Schnakenberg (Hrsg.)

Missing Link

Fragen an die Informationsgesellschaft

Wer ist drinnen, wer draußen, wer oben und wer unten? Der vorliegende Band bietet einen einführenden Überblick über gesellschaftliche Konsequenzen der neuen Informations- und Kommunikationstechnologien. Eine Anregung zur kritischen Auseinandersetzung mit den gesellschaftlichen Leitideen, die den Konzepten der Informationsgesellschaft zugrunde liegen.

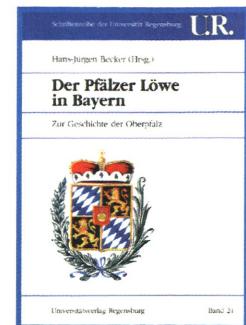
Wichtige Ereignisse der Oberpfälzer Geschichte

Hans-Jürgen Becker (Hrsg.)

Der Pfälzer Löwe in Bayern

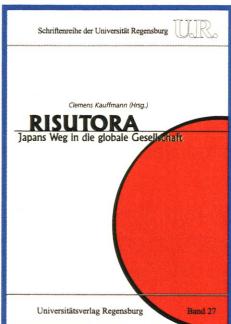
Zur Geschichte der Oberpfalz in der kurpfälzischen Epoche

Die im vorliegenden Band enthaltenen Aufsätze beleuchten – auf der Grundlage von neuen Quellenfunden – Ereignisse der oberpfälzischen Geschichte, in denen die Entwicklung von Region und Wirtschaft, von Kultur und Konfession, von Verfassung und politischer Struktur im Zeitraum 1329 bis 1648 schwerpunktmäßig sichtbar werden.



224 Seiten, kartoniert,
ISBN 3-930480-42-5
mit Abbildungen, Euro 22,90

Japan in Deutschland



175 Seiten, kartoniert,
ISBN 3-930480-44-1
Euro 20,-

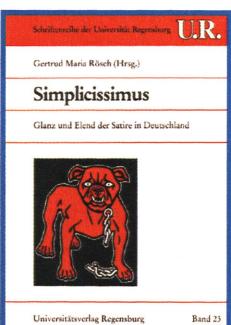
Clemens Kaufmann (Hrsg.)

Risutora

Japans Weg in die globale Gesellschaft

Noch vor wenigen Jahren schien Japan das glänzende Modell einer hochmodernen Industriegesellschaft zu sein. Mit dem Ende des Kalten Krieges haben sich die Verhältnisse grundlegend geändert. Japan steht inzwischen nicht nur vor der Herausforderung, seine Position in der internationalen Politik neu zu formulieren. Es rutschte zugleich in eine tiefe Strukturschwäche und geriet in den Sog der die ganze Region überschattenden „Asienkrise“.

Ein höchst facettenreiches Bild der Satire in Deutschland



216 Seiten, kartoniert,
ISBN 3-930480-41-7
mit Abbildungen, Euro 22,90

Gertrud Rösch (Hrsg.)

Simplicissimus

Glanz und Elend der Satire in Deutschland

Zum 100. Geburtstag des Simplicissimus erscheint der vorliegende Tagungsband eines internationalen und interdisziplinären Kolloquiums des Instituts für Germanistik an der Universität Regensburg. In 14 informativen und anschaulich geschriebenen Einzelbeiträgen entsteht ein höchst facettenreiches Bild vom Glanz und Elend der Satire in Deutschland.

Herausgegeben vom Rektor der Universität Regensburg
Überall im Buchhandel
UNIVERSITÄTSVERLAG REGensburg

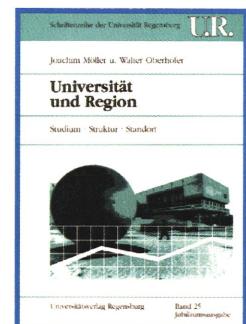
30 Jahre Universität Regensburg

Joachim Möller und Walter Oberhofer

Universität und Region

Studium, Struktur, Standort

Die vorliegende Studie untersucht in enger Zusammenarbeit mit regionalen Wirtschaftsunternehmen und Studierenden die Bedeutung der Universität als Wirtschafts- und Standortfaktor für die umliegende Region. Ergänzend dazu wird die Funktionsweise des „Systems Universität“ analysiert. Das Beispiel der Universität Regensburg hat dabei Modellcharakter, die Ergebnisse sind auf andere Regionen übertragbar.



224 Seiten, kartoniert,
ISBN 3-930480-66-2, zahlreiche
graphischen Darstellungen, Euro 22,90

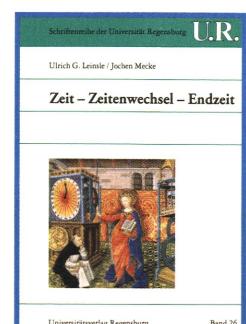
Was ist die Zeit?

Ulrich G. Leinsle und Jochen Mecke (Hrsg.)

Zeit – Zeitenwechsel – Endzeit

Zeit im Wandel der Zeiten, Kulturen, Techniken und Disziplinen

„Was also ist Zeit? Wenn niemand mich danach fragt, weiß ich es; wenn ich es jemandem auf seine Frage hin erklären soll, weiß ich es nicht“, seufzte schon Augustinus. Das Millennium bot willkommenen Anlass, über alte und neue Zeitenwenden und über Zeit selbst nachzudenken. Die vorliegenden zwölf Beiträge beschäftigen sich mit dem Phänomen „Zeit“ aus den Blickwinkeln von Theologie, Anthropologie, Philologie, Literatur-, Geschichts- und Musikwissenschaften sowie der Physik. Aufgegriffen werden Schlagworte wie Zeitmangel, Chaostheorie und Endzeitvisionen: Reflexionen über Zeit, ihren Wandel und ihr mögliches Ende.



212 Seiten, kartoniert
ISBN 3-930480-43-3
Euro 22,90

Fremd in der eigenen Sprache

Jüdische Hermeneutik und moderne Literaturtheorie

Vergleichende Literaturwissenschaft

Hatte Franz Kafka Recht, wenn er in seinen Tagebüchern über »jüdische Literatur« reflektiert und sie eine »kleine« oder »mindere« Literatur nennt, die allerdings nicht die Literatur einer kleinen Sprache, sondern die einer Minderheit sei, die sich einer großen Sprache bedienen müsse? Ihr erstes Merkmal, so Kafka, sei daher ein starker Deterritorialisierungskoeffizient, der ihre Sprache erfasse. In diesem Sinne definierte Kafka das Dilemma, das den Prager Juden den Zugang zum Schreiben versperrte und ihre Literatur »von allen Seiten unmöglich« mache: Sie lebten zwischen »der Unmöglichkeit, deutsch zu schreiben, und der Unmöglichkeit, anders zu schreiben.«

Die Frage, was das »Jüdische« eigentlich ausmache, zieht sich wie ein roter Faden durch die Kulturgeschichte des Abendlandes, seit der Kirchenvater Tertullian um 200 nach unserer Zeitrechnung es für nötig hielt, den Antagonismus zwischen griechischem Denken einerseits und der hebräischen Bibel andererseits zu markieren. Die Dualismen dieser traditionellen Formel lauten: »Ewigkeit und Schöpfung«, »Vernunft und Offenbarung«, »Immanenz und Transzendenz«, »Orient und Okzident«, »Auge und Ohr«, »Raum und Zeit«, »Totalität und Unendlichkeit« usw. Eine unversöhnliche Opposition, die ihre topographischen Fixpunkte in Athen und Jerusalem fand und von jüdischer und nicht-jüdischer Seite abwechselnd beklagt und gefeiert wurde. Auch Martin Buber bediente sich dieser Kategorisierung und sprach gar von *zwei Glaubensweisen*, die einander dialogisch begegnen sollten. Und so ist es sicher kein Zufall, dass Buber zur Galionsfigur für den christlich-jüdischen Dialog nach der Shoah wurde.

Während aber die Definition des Phänomens »jüdische Philosophie« auf eine jahrhundertealte Debatte zurückblicken kann, sieht die Begriffsbestimmung für »jüdische Literatur« ungleich schlechter aus.

Eine »jüdische Literatur« zu bestimmen, impliziert, über Sprache und Fremdwahrnehmung gleichermaßen nachzudenken – und man kommt nicht darum herum, sich auch mit Identitätskonzeptionen auseinander zu setzen, was ein ganzes Bündel von Fragestellungen aufwirft: Handelt es sich um Literatur, die von Juden geschrieben wird? Von allen Juden oder nur den religiösen? Schreiben Juden, die der Tradition kritisch oder gar ablehnend gegenüber stehen, demnach keine »jüdische Literatur«? Oder handelt es sich um Literatur über

jüdische Themen? Was aber sind »jüdische Themen«? Biblische? Rabbinische? Weiter könnte man fragen, ob man – so wie man in der écriture féminine schließlich auch Männern den weiblichen Diskurs zugestand – analog dazu nun auch von einem jüdischen Diskurs sprechen könne und ob folglich auch Nichtjuden »jüdische Literatur« produzieren? Wäre daraus dann zu folgern, dass man auf »Jüdisch« denken kann? Oder es erlernen kann? Die Fragekette ließe sich noch beliebig lange fortsetzen. In einer ersten Annäherung an das Thema können wir zunächst nur konstatieren, dass »jüdische Literatur« nicht nur die Zulässigkeit bestimmter Kategorisierungen in Frage stellt, sondern den Vorgang der Zuschreibung selbst problematisch erscheinen lässt. Ein Autor wie Jurek Becker wehrte sich beispielsweise zeitlebens gegen diese Etikettierung. Er sah sich als deutschen, genauer als ostdeutschen Schriftsteller, nicht jedoch als einen jüdischen.

Während die Antithese Athen und Jerusalem in der Philosophie zumeist auf den Konflikt zwischen Philosophie und Theologie hinausläuft – noch der rationale Philosoph der Haskalah (der jüdischen Aufklärung) Moses Mendelssohn **I** musste sich gegenüber Lavaters fortwährend vorgebrachten Bekhrungsversuchen verteidigen und lehnte immer wieder einen Übertritt zum Christentum entschieden ab –, führt sie in der Literatur bzw. der Literaturwissenschaft zu anderen Problemfeldern. Neben der Analyse der endogenen, polyperspektivischen jüdischen Selbstwahrnehmung und dem Nachspüren des Ringens um Identität in den Texten, das sich am auffallendsten in der Polarisierung zwischen dem West- und dem Ostjudentum wider spiegelt, fordert die Beschäftigung mit der »jüdischen Literatur« dazu auf, sich mit jüdischer Hermeneutik zu befassen. Denn seit der poststrukturalistischen Kritik an den universalistischen Paradigmen der Moderne (wie Subjekt, Wahrheit- und Sinnsuche etc.) lässt sich eine veränderte Einstellung zum Text beobachten bzw. zur Rezeptionsästhetik und zur Hermeneutik der Schleiermacher-Dilthey-Gadamerischen Provenienz, der es nicht darum ging, Sinn in eine Sache *hineinzulegen*, sondern um den Sinn, wie er sich vom zu *rekonstruierenden* Standpunkt des Autors aus zeigt. Das Immer-besser-Verstehen eines Textes wird von Schleiermacher als unerreichbares Ziel proklamiert, das ein immer tieferes Eindringen auf das zu Deutende erfordert. Die Schleiermachersche Interpretationsregel plädiert daher dafür, die Textstellen aus ihrem Kontext heraus zu erklären.

Das zunehmende Interesse an einer interkulturellen Hermeneutik, deren Ausgangspunkt das Manko der »traditionellen« Exegese war, nur solche Verstehensprobleme zu berücksichtigen, die sich aus dem zeitlichen Abstand der zu rezipierenden Texte ergeben, konstatierte statt dessen einen Bedarf an systematischer Aufarbeitung auch solcher Verstehensprobleme, die sich als Effekt kultureller Distanz einstellen. Für die Hermeneutik Gadamers wird das Wunder des Verstehens nicht-zeitgenössischer Texte prinzipiell dann möglich, wenn der Rezipient in der gleichen Tradition steht wie das Werk, das er liest, wenn er eingerückt ist in dessen »Überlieferungsgeschehen«.

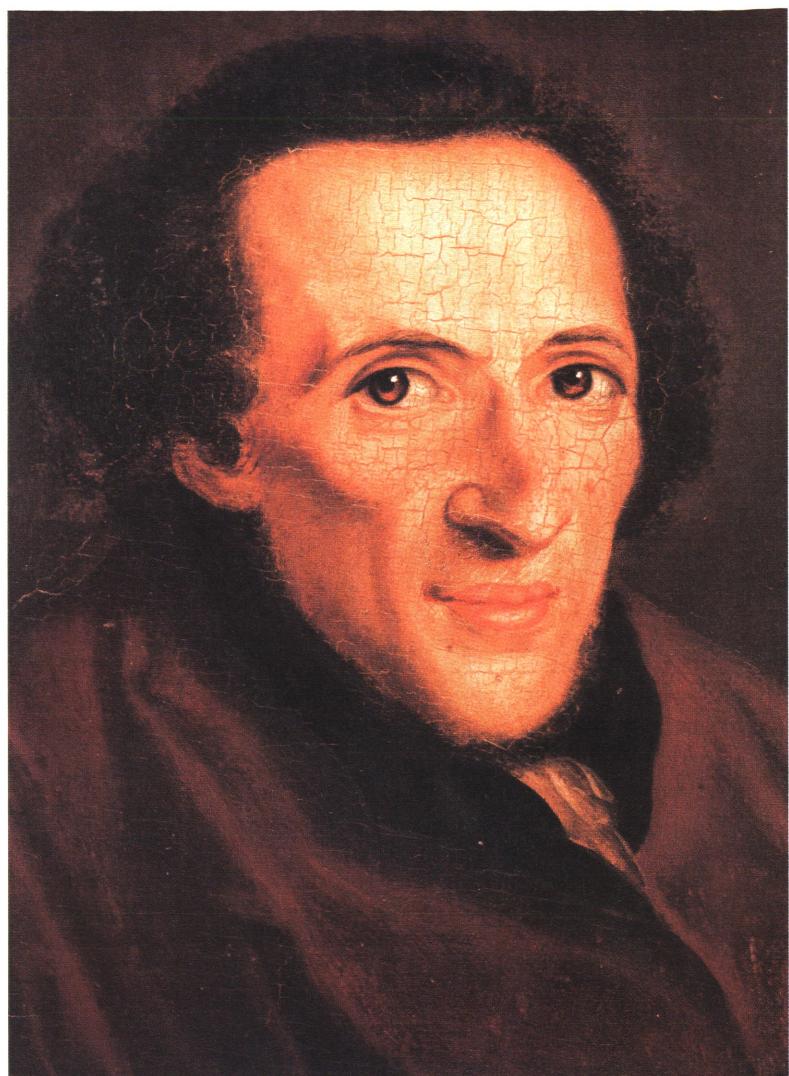
In den vergangenen zwei Jahrzehnten hat man nun begonnen, jüdische Hermeneutik auf die ihr innenwohnenden literaturwissenschaftlichen Ansätze hin zu überprüfen, die einen anderen Blick auf Texte und ihre Auslegung ermöglichen sollen. Neben dem innerjüdischen multiplen Umgang mit dem biblischen Text und seinen Kommentaren geht es dabei auch um eine Gegenüberstellung zweier hermeneutischer Denkmodelle.

Im vorliegenden Beitrag will ich auf die beiden zentralen Aspekte, Fremdheit und jüdische Hermeneutik, die für die jüdische Literatur bzw. Literaturwissenschaft konstituierend sind, ausführlicher eingehen. Jüdische Identität soll im Folgenden im Verhältnis zur Sprache gefasst werden, das sich einerseits als Fremdsein in der eigenen Tradition und andererseits im Aufeinanderbezogensein von Textschichten ausdrückt.

In und mit der Fremde

Das Interessante an Kafkas Tagebucheintragung 2 ist weniger, dass er von »Minderheiten« und einer »kleinen Literatur« schreibt, sondern, dass er es in dem Augenblick thematisiert, als er zunehmend vom jiddischen Theater fasziniert wurde und seine Freundschaft mit Jizchak Löwy, einem Schauspieler der jiddischen Theatertruppe in Prag, ihn der jüdischen Volkskultur, den eigenen Wurzeln, der eigenen Geschichte und sogar dem Jiddischen, später auch dem Hebräischen, näher brachte. Kafkas Auseinandersetzung mit seinem Judentum ist, wie bei vielen assimilierten Juden, die Geschichte einer »Heimkehr«. Martin Buber, Franz Rosenzweig, Paul Celan, Nelly Sachs, Manès Sperber, Isaak Babel, Danilo Kiš und viele andere haben einen ähnlichen Weg genommen, dessen Kernproblem das Ringen um Selbstverortung war, die manchmal aus der Begegnung mit dem Ostjudentum rührte, manchmal im Kontext des aufkeimenden Zionismus eine neue Wendung erhielt oder zur Bewältigung der Shoah versucht wurde. So unterschiedlich die Beweggründe auch sein mögen, gemeinsam ist den Autoren, dass sie die Identitätssuche in ihren Texten reflektieren, indem sie durch heterogene Textelemente und ständig assoziierte fremde Textfolien ein zusätzliches Bedeutungsnetz knüpfen, das die Problematik des Juden in und mit der Fremde auch in der Narration widerspiegelt.

Die Verbindung von Israel und Exil (hebräisch: נַעֲלֵם [Galut] wörtlich: die Wegführung ins Exil) impliziert immer ein Leben in nicht-jüdischer Umgebung und ist vor allem mit drei Männern



verbunden, die alle bemerkenswerterweise den Vornamen Moses tragen: Der erste führte sein Volk aus Ägypten ins gelobte Land, der zweite, Mosche ben Maimon, bekannter als Maimonides, überwand im Mittelalter die scharfe Grenze zwischen Religion und Philosophie und etablierte letztere fest im jüdischen Geistesleben. Und der dritte, Moses Mendelssohn, bereitete mit der Haskalah den Weg des Judentums in die Moderne. Mendelssohn ermöglichte einerseits eine Öffnung des Ghettos, andererseits steht sein Name paradigmatisch für das Ringen um Identität 3, das in Osteuropa den Juden meist abverlangte, zwischen Chassidim [die Frommen, Anhänger der volkstümelnden Religionsausübung] und Maskilim [die Gebildeten oder »Denker«, die Anhänger der jüdischen Aufklärung, die den rationalen Zugang zur Religion favorisieren] zu wählen.

Dieser Konflikt der Identitätssuche kommt auch auf sprachlicher Ebene zum Ausdruck. So lassen sich in der ostjüdischen Literatur drei grundsätzlich verschiedene Richtungen unterscheiden: Die einen bedienen sich der Nationalsprachen, die außerhalb der Schtetl gesprochen werden, wie Polnisch, Deutsch, Russisch, Ukrainisch, Rumänisch etc. und reflektieren das Problem nur metasprachlich (teilweise können sie selbst kein Hebräisch oder Jiddisch und müssen es sich erst später mühsam erarbeiten). Hierzu gehören Schriftsteller wie Franz

1

Moses Mendelssohn, gemalt von Johann Christoph Frisch, 1786. Seinem Maler schrieb der Philosoph am 8. Oktober 1785 in das damals so beliebte Stammbuch: »Natur, von Vernunft geleitet, begeistert den weisen Künstler, wenn er arbeitet; Vernunft, von Natur geleitet, ergötzt ihn, wenn er ruhet.«

Kafka, Paul Celan, Rose Ausländer, Isaak Babel¹, Osip Mandel'stam, Jósef Wittlin und auch Joseph Roth. Die zweite Richtung respektiert Hebräisch als die Sprache der Religion, in der man Weltliches nicht sagen kann und darf. Um jedoch ihre Verbundenheit mit dem Schtetl zu dokumentieren, beginnen Autoren wie Mendele Mokher Sforim, Scholem Alejchem, Isaak Bashevis Singer und Isaak Leib Peretz eine Literatur des Jiddischen zu entwickeln. Die dritte Gruppe schließlich wandert nach Palästina bzw. später Israel aus und etabliert dort eine neuhebräische Literatur, wie David Frischman, Micha Josef Berdyczewski oder der aus Galizien stammende Nobelpreisträger Schmu'el Josef Agnon.

Das Problem der Fremderfahrung und des Fremdanspruchs im Ostjudentum spiegelt somit auf eigene Weise die Probleme der Moderne wider. Der simple Antagonismus: auf der einen Seite der Ostjude, der für die nicht-jüdische Umgebung ein Fremder ist, und andererseits der aufgeklärte Jude, der seinerseits für seine Glaubensgemeinschaft ein Abtrünniger ist, reicht als Erklärung nicht aus.

Statt dessen bedarf es eines flexiblen Konzepts, in dem Identität keine gesetzte Größe ist, sondern in ihren wesentlichen Merkmalen auf der Eigen- und Fremdwahrnehmung basiert und von der subjektiven Wahrnehmung Einzelner abhängt.

Dabei ist auch der Begriff des »Ostjuden« selbst zu definieren: Folgen wir hier der Typisierung Ezra Mendelsohns, dann ist der Jude osteuropäischen

Typus² als relativ schwach akkulturiert und assimiliert charakterisiert, der die jiddische Sprache und die religiöse Orthodoxie bewahrt hat. Dieser Typus des »Ostjuden« als in sich abgeschlossene *Kulturpersönlichkeit* formierte sich bereits im 18. Jahrhundert, wobei die Bezeichnung selbst erst ein Jahrhundert später aufkam und sich im 20. Jahrhundert allmählich durchsetzte. Somit ist deutlich, dass der Begriff von Anfang an mehr als eine geographische Zuordnung bedeutete. Steven Aschheim fügt hinzu, dass die Bezeichnung »Ostjude« in der deutschen Gesellschaft bereits in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts als Stereotyp eines Juden gebraucht wurde, der angeblich schmutzig, laut, roh und rückständig sei, von dem sich die deutschen Juden vehement abzugrenzen wünschten, weil sie sich selbst als emanzipierte, fortschrittliche, akkulturierte Bürger Preußens bzw. Deutschlands oder Österreichs sahen, die sich lediglich durch die mosaische Konfession von der einheimischen Bevölkerung unterschieden. Der »Ostjude« war für sie der »Ghettojude« und brachte ihnen die eigene oder eigener Vorfahren Vergangenheit in die Erinnerung, die sie zu vergessen bestrebt waren. Was die Kategorisierung der »West-« bzw. »Ostjuden« kompliziert, ist nicht nur, dass beide in einigen Ländern gleichermaßen vor der Shoah vorhanden waren – so gab es in Litauen, Ungarn, Estland oder Polen beide Typen in der Zwischenkriegszeit –, sondern dass man die jeweilige Selbst- bzw. Fremdwahrnehmung stets mitzubedenken hat.

Was alle Konzepte aber verbindet, ist, dass die Typologie des »Ostjuden« als Fremder der Erfahrung der Grenzziehung entspringt, die ihren Ursprung in der Dichotomie von Aufklärung vs. Religion, Westen vs. Osten und Ratio vs. Mystik hat.

Will man sich mit dem Stachel des Fremden im jüdischen Kontext beschäftigen, muss somit nicht nur für jeden einzelnen Autor eine Positionierung bestimmt und der Übergang von der individuellen zur kulturellen Fremderfahrung untersucht, sondern auch der Zusammenhang zwischen Mikroerfahrung und Makrostrukturen vom Phänomen des Fremden her neu durchdacht werden. Vor diesem Hintergrund erweist sich die Einteilung für die »jüdische Literatur«, die Stéphane Mosès einmal in einem Vortrag im Literarischen Colloquium in Berlin vorgeschlagen hat, als sinnvoll: erstens Autoren, die kritisch zum Judentum und seinen Traditionen stehen, zweitens diejenigen, die damit subversiv umgehen, und drittens schließlich die Autoren, die sich bewusst der Tradition einschreiben und diese weiterzuschreiben bemüht sind.

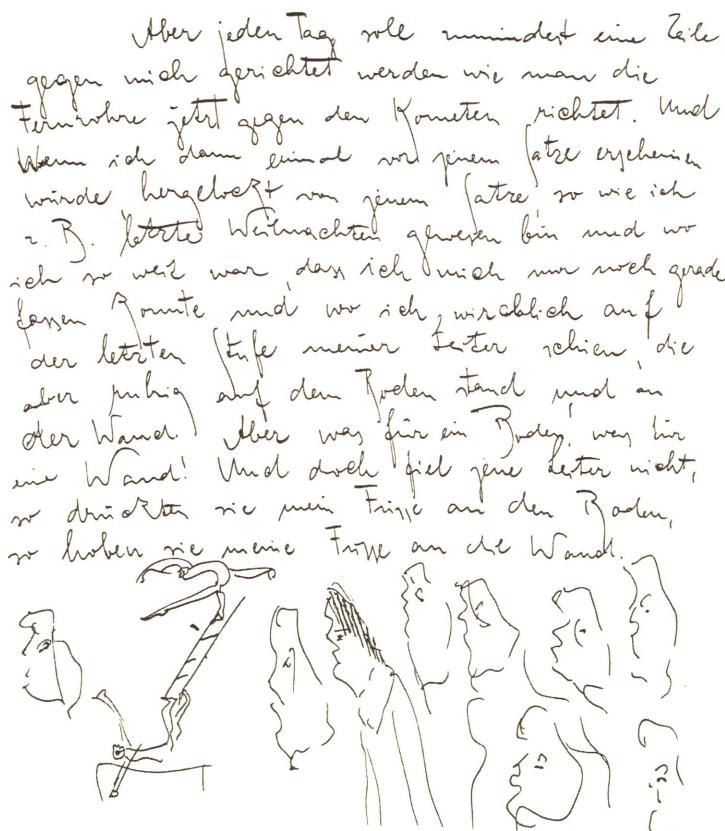
Letztere Gruppe führt uns zu dem zweiten Problemfeld, der jüdischen Hermeneutik.

Jüdische Hermeneutik

Kafkas Schwierigkeit, anders schreiben zu müssen, inspirierte die beiden französischen Poststrukturalisten Gilles Deleuze und Félix Guattari, sich mit Kafkas Dilemma, das auch zugleich das der »jüdischen Literatur« ist, auseinander zu setzen. »Nicht zu schreiben war [ihm] unmöglich, weil das unsichere und unterdrückte Nationalbewusstsein geradezu auf die Literatur angewiesen ist. Anders

2

Eine der ersten Seiten aus Kafkas Tagebuch von 1910.



als deutsch zu schreiben, war für die Prager Juden unmöglich, weil sie zu ihrer ursprünglichen tschechischen Territorialität eine unüberwindliche Distanz empfanden. Und deutsch zu schreiben war gleichfalls unmöglich, weil die deutsche Bevölkerung in Prag selbst deterritorialisiert war.« So gefasst, qualifiziert das Adjektiv »klein« nicht mehr bloß bestimmte Sonderliteraturen, sondern die revolutionären Bedingungen *jeder* Literatur, die sich innerhalb einer so genannten »großen« (oder etablierten) Literatur befinden. Auch wer das Unglück hat, in einem Land mit großer Literatur geboren zu sein, muss dennoch in seiner Sprache schreiben. Ohne hier auf Deleuzes und Guattaris Analysen zu Kafkas Laut- und Sprachspielereien näher eingehen zu können, sei soviel erwähnt, dass bei der Findung einer anderen Sprache dem Sinn eine signifikante Bedeutung zukommt. Der »dritte Weg«, zu schreiben, entsteht somit nicht durch *Übernahme* einer anderen oder *neuen* Sprache, auch nicht durch rückwärts gewandte Wiederbelebung alter Sprachen (bei Kafka etwa des Jiddischen), sondern muss in der *eigenen* Sprache gefunden werden – man muss in der eigenen Sprache wie ein Fremder leben. Das heißt, Vielsprachigkeit in der eigenen Sprache zu verwenden, von der eigenen Sprache kleinen, minderen oder intensiven Gebrauch zu machen, das Unterdrückte in der Sprache dem Unterdrückenden in der Sprache entgegenzustellen und die Orte der Nicht-Kultur, der sprachlichen Unterentwicklung zu finden.

Wer sich auf diese Sinnvermittlung einlässt, ist auch bereit, nicht nur nach Bedeutung »hinter« dem Text zu suchen, sondern im Textmaterial, in der Sprache und der Intertextualität selbst. Letzteres führt ins Zentrum der jüdischen Hermeneutik.

Zum Verständnis der jüdischen Hermeneutik gehören die Unterscheidung und gleichzeitig die Zusammengehörigkeit von schriftlicher und mündlicher Torah, die nach rabbinischer Vorstellung bei de Moses am Sinai gegeben wurden. Das bedeutet, dass es in der traditionellen jüdischen Hermeneutik Schriftbezug nicht unvermittelt gibt, sondern immer vermittelt durch die Tradition (Masoret), das ist die rabbinische Schriftauslegung, die klassischen mittelalterlichen Kommentare oder die modernen Aktualisierungen. Einen wesentlichen Bestandteil der traditionellen jüdischen Schriftauslegung bilden dabei die vier Bedeutungsschichten, wie sie in den mittelalterlichen Kommentaren entwickelt wurden: פְּשָׁת (P'schat), die offensichtliche oder wortwörtliche Ebene, רֵמֶס (Remes), die hinweisende oder assoziative Bedeutung, דִּרְשׁ (D'resch), die Interpretation des Metaphorischen und der Bilder und סֹד (Sod), die Ebene der verborgenen Bedeutungen, auch mystische Ebene genannt, die in der Kabbalah gesucht wird und die nur Eingeweihte entschlüsseln können.

Das Prinzip der jüdischen Hermeneutik korrespondiert somit mit dem rabbinischen Verständnis, dass sich die Vollkommenheit der Torah in einer Spannung zwischen *Klarheit* und *Widerspruchsfreiheit* einerseits und in der *Vielfalt* und der *Fähigkeit*, *Widersprüche zu vereinen*, andererseits ausdrückt. Das Prinzip der Exegese beruht nun darauf, dass häufig zu einer bestimmten Aussage oder zu einem



Motiv verwandte Stellen quer aus der ganzen Schrift herangezogen werden. Auch wenn nur ein Vers oder Versteil zitiert wird, ist somit immer der gesamte Kontext einer Schriftstelle mit zu berücksichtigen. Denn die Heiligkeit der Torah liegt gerade darin, dass sie *mehrdeutig* und *zeitlos* ist. Aneignung des Textes geschieht im rabbinischen Kontext durch ein ständiges Einprägen und Verinnerlichen ihrer Worte, und so übertrifft das Torahstudium nach der rabbinischen Vorstellung alle anderen Gebote. Der Aneignungsprozess als durchgehende Überlieferungskette von Moses am Sinai bis zur jeweiligen Gegenwart kommt textuell als Midrasch zum Ausdruck und liefert ein anderes Hermeneutikmodell als das Schleiermachersche.

3

Johann Caspar Lavater (rechts am Tisch), Gotthold Ephraim Lessing (stehend) bei Moses Mendelssohn.
Stich nach einem Gemälde von David Oppenheim (1856).
Der Zürcher Prediger Lavater hatte Mendelssohns Bekanntschaft 1763 bei einem Besuch in Berlin gemacht. In einem Brief schrieb er über seinen Eindruck. »Ein Mann von scharfen Einsichten, weisem Geschmack und ausgebreiteter Wissenschaft«.

Midrasch als Interpretationsliteratur

Die Definitionen von Midrasch sind allerdings fast so zahlreich wie seine unterschiedlichen Formen. Grundsätzlich gilt, dass sich die rabbinische Literatur im Allgemeinen und der Midrasch im Besonderen dem analytischen Diskurs widersetzen. Erschwerend kommt hinzu, dass »Midrasch« eine lange Begriffsgeschichte hat und in unterschiedlichen Zusammenhängen unterschiedlich gebraucht wird. Er lässt sich daher leichter beschreiben als definieren.

Der Begriff Midrasch ist von dem hebräischen Verb שָׁרַח (derasch) abgeleitet, das »suchen«, »fragen« oder auch »forschen« bedeutet. In der rabbinischen Literatur bezeichnet Midrasch zum einen den »Prozess des Forschens« (das Auslegen des Tanach [das sind die Fünf Bücher Mose]) und ist daher auch als *Kommentar* zu einem bestimmten Text zu verstehen, d. h. als »Ergebnis« dieses Interpretationsprozesses. In einer zweiten Bedeutung kann Midrasch aber auch einen ganz konkreten

לפני אדיין פרק ראשון עבודה זורה

פז

א' וסתומה לאו לשוטפה קא,
שחו? ש', אמר רב זודה
של פטם בזים אידם, חסר
ל מס' ריבנן, חסר ל ריבנן
ריבנן שאן מקירבן אוון
שי' ליטעטן, שאן מקירבן
יא וא עביד מלאכיה אמר רב
רבנן על הרין.
שש בו נוק לרביבין און בונן
ונין עומדים *בימיסאות ובית
חת בכוכבים. אסור לבנות
ריבנן ריבנן.
אבל ריבנן בר רבא אמר
רבנן לא למזרה, איגי אמא'
למיבור. אין מוכרי, הגן אין
נוק לרביבין; טעמא דאית בה
רבת בר ערלא: באדי שבוב
אַלְבָּבָא

זו אזכור מנגנון הסוגה, מילוקם ותוקףו: (ז) ר' יונתן ור' יוסי.

ה' אפסר. גלו מרכז: דל' עולם ומיין. כבבליים כל' יון כמלת המשנה קובל' בחרסן: מטבח. חביתות טוח צדין חכ'': הולם מעשיין. מחלבן לומן בקרום מד אצטוא לוקט ושען מן כל' יין: האל מהר. פטוזי'': ותני. ולוחורי'ל' מיל' מוכן לא' דלאקי

מְשֻׁמָּךְ כַּלְיָ זִין: כְּפָרָזָלָה כִּינָדוֹתָה.

לט' כהו ח'

[ב' יט']

בבבבבב
בבבבבב

[ע"י חווית כ-
מ"ג דצמבר
ר' נ. נ. נ. נ. נ.
דסמן
וואר נ.
בנבר נ. נ.]

[ג'ז]

כשין דפוס
דיטראיה
ווע' ווע' נק'
פערוד נ' ד

כ'ז

ג'ז

Text, sprich die Auslegung einzelner Schriftverse bezeichnen, und drittens versteht man Midrasch als rabbinische *Gattung*, als Bezeichnung für die »spezifische rabbinische Schriftinterpretation« 4.

Methodisch ist Midrasch folgendermaßen charakterisiert: Der Midrasch ist fokussiert auf die Irregularitäten im Text. Es werden Textprobleme, Widersprüche oder Worte, die nicht in den Kontext zu passen scheinen, auch ungewöhnliche Worte oder ungewöhnliche Schreibung diskutiert. Dabei hat der Midrasch durchaus die Problemlösung im Auge, auch wenn man das aufgrund der häufigen Ausschmückungen und Verzweigungen manchmal kaum noch wahrnehmen kann. Entscheidend ist dabei, dass es im Midrasch nicht um Synthesen geht, sondern gerade um die Widersprüchlichkeiten im Text oder in der eigenen Exegese. Als kleinste Grundeinheit konzentriert sich die Midrasch-Exegese auf den Vers, nicht auf einen ganzen Text. Die Verse, die dabei zur Erläuterung herangezogen werden, können aus weit entfernten Büchern stammen. Doch auch wenn der Midrasch zunächst verszentriert ist, wird in der Interpretation immer der weitere Kontext mitaufgerufen, so dass in der Erklärung von Schriftzitaten völlig zusammenhanglose Texte problemlos nebeneinander gestellt werden können.

Mit anderen Worten: Midrasch ist im Grunde ein Spiel mit dem geschriebenen Text, allerdings nach bestimmten rabbinischen Regeln.

In den vergangenen 20 Jahren ist – vor allem in den USA – ein gesteigertes Interesse zu beobachten, Neuansätze in der Midrasch-Forschung sowie die Grundelemente poststrukturalistischer Literaturtheorie und hier insbesondere Derridas Dekonstruktion zur Beschreibung und Analyse der Hermeneutik hinzuzuziehen. In den »poststructuralist literary circles« wird dabei allerdings weniger die literarische Sprache des Midrasch mit ihren rhetorischen oder poetischen Formen untersucht, als vielmehr die Methodik des Midrasch »as a hermeneutic, and as an exegetical act« adaptiert. Die poststrukturalistische Midrasch-Lektüre stellt dabei den Pluralismus im Midrasch, der aus dem Text selber kommt, in den Mittelpunkt. Die Interferenzen zwischen literary criticism und rabbinischer Hermeneutik werden vor allem in drei Punkten gesehen: der Intertextualität, der Kreativität der Exegese und der vielfältigen Interpretierbarkeit von Texten. Das rückt auch die viel gesuchte Dekonstruktion Derridas in ein neues Licht. Denn wenn es keine Originalbedeutung von Texten gibt, sondern nur ständige Interpretation, so wird Midrasch zum Modell für alles Lesen und Schreiben. Die klassische jüdische Schriftinterpretation wird damit zu einem *alternativen* Paradigma von Kritik, d.h. zu einem ureigenen Typus literarischen Diskurses gemacht und der universalistischen Hermeneutik an die Seite gestellt.

Diese Ansätze sind neu, und ihre wissenschaftliche Tragfähigkeit wird noch zu überprüfen sein. Auch auf jüdischer Seite stößt dieses Vorgehen keineswegs auf ungeteilte Zustimmung. Die Diskussion darüber, was es bedeutet, wenn sich Literaturwissenschaftler mit Midrasch und Talmud befassen, wenn sie Terminologien aus Talmud und

Midrasch übernehmen oder literarische Systeme auf der Kabbalah aufbauen und ob sich tatsächlich so leicht Vergleiche zwischen rabbinischer und (post)moderner literaturwissenschaftlicher Exegese ziehen lassen und woher dieses plötzliche Interesse an klassischer jüdischer Exegese kommt, werden zum Teil leidenschaftlich geführt. Ein wichtiges Forum ist dabei die seit 1980 existierende Zeitschrift »Prooftexts«, in der Zusammenhänge von Judaistik und Literaturwissenschaft untersucht werden.

Die Bemühungen um Verbindungen zwischen rabbinischer Hermeneutik und moderner Literaturwissenschaft werden interdisziplinär in unterschiedlichen Forschungsgebieten – von Literaturwissenschaft über Sprachphilosophie, rabbinische und postrabbinische Exegese bis hin zu Midrasch- und Kabbalah-Forschung – betrieben. Bekannte Vertreter dieser Richtung sind die amerikanischen Literaturwissenschaftler Susan Handelman, José Faur und Daniel Boyarin.

Auch wenn jede Polarisierung immer problematisch bleibt, da ihr die Gefahr der Vereinfachung, Verallgemeinerung oder Hierarchisierung inhärent ist, ist das Nebeneinanderstellen verschiedener Denkmodelle und Hermeneutiken ein wichtiges Unterfangen. Die Beschäftigung mit der jüdischen Literatur zeigt, dass sie, indem sie Tradition und Moderne verbindet, zugleich den kulturellen Kontext und Ort des jüdischen Denkens in der europäischen Geistesgeschichte beschreibt.

Das an der Universität Regensburg geplante Forschungsprojekt »Jerusalem und Athen« will von dem benannten Antagonismus ausgehen und in einem ausdrücklich interdisziplinären und interkulturellen Dialog die Berührungs punkte und Schnittstellen beider Seinsweisen diskutieren.

Das Projekt will neben dem sehr wichtigen Dialog, der im Vordergrund stehen soll, den jüdischen Traditionen im Abendland nachgehen; dies ist der zweite Themenbereich des Forschungsvorhabens. Die Wurzeln des jüdischen Denkens reichen bekanntlich weit zurück und spiegeln im Laufe der Jahrhunderte eine lange wechselseitige Rezeptionsgeschichte zwischen dem Judentum und den verschiedenen Kulturen und Disziplinen, mit denen es in Berührung trat. Ausgehend von diesen Themen will das Projekt sich mit der Lesbarkeit religiöser Erfahrung in verschiedenen Kontexten und philosophischen Traditionen beschäftigen. Diese Aufgabe betrifft auch das Forschen nach der Einbettung der orientalischen Traditionen in ihrer Entwicklungsgeschichte als Teil der Geistesgeschichte des Abendlandes und insbesondere nach dem jüdischen Beitrag, der in der christlich geprägten Rezeptionsgeschichte nicht genügend berücksichtigt worden ist. Denn das Ausmaß des Verlustes des Judentums in Europa hat eine Tragweite für die europäische Kultur als Ganzes und greift tief in die Wurzeln dieser Kultur als Erbe Europas ein. Solange die jüdische Geistesgeschichte nicht als Teil der eigenen Geschichte begriffen wird, bleibt das »Jüdische« als das »Fremde« stehen, das es dann, so der xenophobe Reflex, zu bekämpfen gilt.

4

1520 bis 1523 hat der christliche Buchdrucker Daniel Bomberg die erste Gesamtausgabe des babylonischen Talmuds hergestellt. Seine Ausgabe hat das Druckbild des Talmud für alle Zeiten fixiert: Der großgedruckte Text in der Mitte des Blatts ist der eigentliche Talmudtext, d.h. die Mischna (hier in der Zeile 8 von unten des Großdrucks einsetzend) und ihr amoräischer Kommentar, die Gemara, die den oberen Teil des Blatts beherrscht und nach der Mischna in der Zeile 5 von unten wieder einsetzt. Links unter der letzten Zeile des Großdrucks steht ein einzelnes Wort, nämlich jenes, mit dem die nächste Seite beginnt – ein Hinweis für den Buchbinder. Seit Bomberg steht in allen Talmudausgaben auf derselben Seite stets derselbe Text, was die üblich gewordene Zitationsweise ermöglicht. Die abgebildete Seite ist Blatt 16a aus dem Traktat Aboda Zara.

Prof. Dr. phil.
Dorothee Gelhard
geb. 1965 in Hildesheim.
Studium der Slavistik und Italianistik an der Freien Universität Berlin, in Krakau, Sofia und Perugia.
1995 Promotion; 1995–98 Wiss. Assistentin am Institut für Slavistik und Balkanologie an der Freien Universität Berlin; 1998–2001 Wiss. Assistentin am Institut für Allgemeine und Vergleichende Literaturwissenschaft der Freien Universität Berlin; 2001 Habilitation, 2001–2002 Gastprofessor an der FU Berlin. Seit Oktober 2002 Professorin für Vergleichende Literaturwissenschaft an der Universität Regensburg.
Forschungsschwerpunkte:
Emmanuel Levinas, Literaturtheorie, literarische Formen der Philosophie, jüdische Literatur.

Alzheimer, Ahnen und Archive

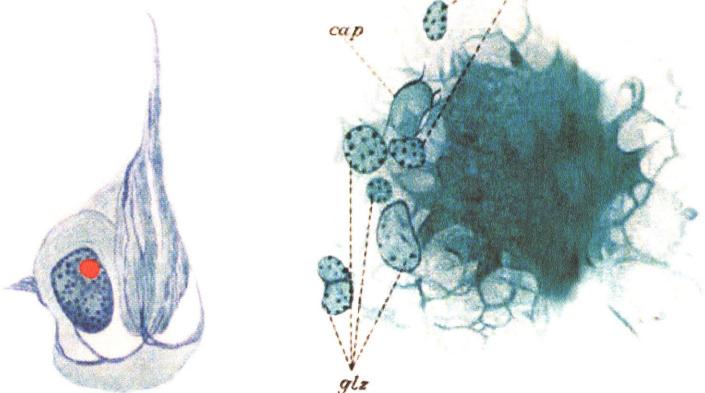
Genetisch-genealogische Alzheimerforschung

Gerontopsychiatrie

Die Alzheimersche Erkrankung ist zu einem gewichtigen sozialen und ökonomischen Problem geworden. Nach längerem, meist bereits betreuungsintensiven Verlauf führt sie zur vollständigen Pflegebedürftigkeit der Betroffenen. Weltweit gibt es eine Vielzahl wissenschaftlicher Studien zur Alzheimerkrankheit, die auf unterschiedlichsten Ansätzen beruhen. Am Bezirksklinikum Regensburg setzt man auf eine für medizinische Forschung eher ungewöhnliche Methode: die Mithilfe der Archivare des Diözesanarchivs in Passau. Dort entsteht die bisher einzige historische Bevölkerungsdatenbank Deutschlands mit Informationen aus jahrhundertealten Kirchenbüchern. Durch die Ermittlung von Vorfahren erkrankter Patienten und das Aufstellen von Familienstammbäumen erhoffen sich die Mediziner, genetische Faktoren bei der Entstehung der Alzheimerkrankheit aufzuspüren und Risikogruppen einzuzgrenzen.

Das Interesse an humangenetischen Fragestellungen ist im Laufe der letzten Zeit gewachsen, wobei der Zusammenhang zwischen »genetischer Disposition« und dem Ausbrechen einer Krankheit immer wieder diskutiert wird. Will man nach regelmäßiger wiederkehrenden Erkrankungen in einer Familie fahnden, muss zu diesem Zweck zunächst ein Stammbaum erstellt werden. Hierfür ist in bestimmten Fällen die Zusammenarbeit mit Historikern unerlässlich, um alte Quellen erschließen zu können. Die Geisteswissenschaften bilden somit das Fundament, auf dem die Forschung der Mediziner aufbaut.

- 1
links:
Tangle (Neurofibrille)
rechts:
Plaque aus den von Alzheimer und seinen Mitarbeiter untersuchten Gehirnen (Zeichnungen, 1909).
glz Gliazelle
cap Kapillare



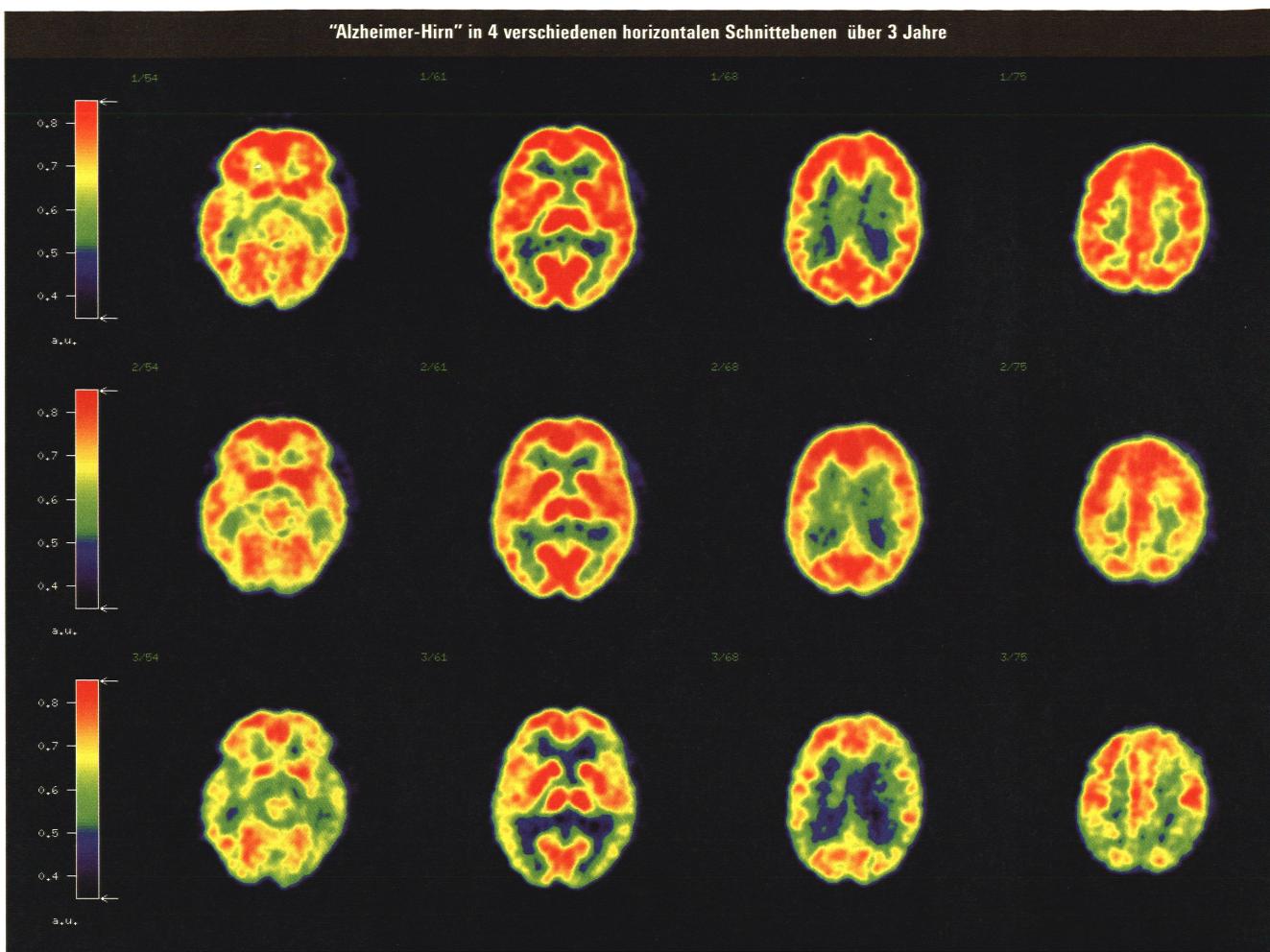
Die Alzheimerkrankheit

Im Verlauf der Alzheimerschen Erkrankung treten Veränderungen im Gehirn auf, die sich auf dessen Funktion und Leistungsfähigkeit auswirken. Einerseits kommt es zu einem Verlust von Nervenzellen, andererseits entstehen verschiedene abnorme Eiweißablagerungen. Dabei unterscheidet man zwei Typen: faserige Ablagerungen außerhalb der Neuronen, die aus dem Beta-Amyloid-Eiweiß bestehen und ›Plaques‹ genannt werden, sowie knäuelartige Ablagerungen in den Nervenzellen selbst. Das innere Gerüst dieser Zellen ist unter anderem aus dem Eiweiß »tau« aufgebaut. Das Tau-Protein verliert bei der Alzheimerkrankheit seine Fähigkeit, die Mikrotubuli, die dem Substanztransport innerhalb der Zelle dienen, zu stabilisieren. Nervenzellen haben sehr lange Fortsätze und sind daher in besonders hohem Maße auf diese Transportfunktion angewiesen. Das veränderte Tau-Protein bildet widerstandsfähige Vernetzungen, die sich nach und nach in den Nervenzellkörpern und Zellfortsätzen ansammeln. Solche Ablagerungen werden als Neurofibrillen bezeichnet 1.

Einschränkend ist zu sagen, dass Tau-Proteinablagerungen im Verlauf einer ganzen Reihe unterschiedlicher Erkrankungen auftreten. Die aus dem Tau-Eiweiß aufgebauten Fibrillen sind also unspezifisch. Wegen dieser geringen Spezifität und weil die drei bisher im Zusammenhang mit Morbus Alzheimer identifizierten Gene alle als wichtig für den Amyloid-Stoffwechsel bekannt sind, werden die Plaques zur Zeit von vielen Wissenschaftlern als bedeutsamer für die Entstehung der Alzheimerkrankheit angesehen als die Neurofibrillen.

Wenn Nervenzellen absterben, kommt es bei den Erkrankten zudem zu Hirnschwund, besonders im Schläfen- und, in geringerem Ausmaß, auch im Scheitellappen des Gehirns 2. Die Betroffenen leiden an Störungen des Gedächtnisses, der Sprache, des Denkvermögens, der örtlichen Orientierung sowie des Erkennens und der Handhabung von Gegenständen. Im Endstadium sind die Patienten bettlägerig und auf ständige Pflege angewiesen.

Je älter ein Mensch wird, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, daß er an Morbus Alzheimer erkrankt. Der Großteil der Patienten hat das 65. Lebensjahr überschritten. Der neben dem Alter bedeutendste Risikofaktor besteht in einer familiären Vorbelastung für dieses Leiden. Wissenschaftliche Beobachtungen haben gezeigt, dass sich bei 24 bis 46 Prozent aller Alzheimer-Patienten ein weiterer Betroffener oder (selten) sogar mehrere betroffene Erkrankte in der engeren Verwandtschaft finden.



Bei zufällig ausgewählten Familien finden sich in nur acht bis fünfzehn Prozent Alzheimer-Patienten. Vor allem mehrfach betroffenen Familien widmet sich die Studie am Bezirksklinikum in Regensburg. Verwandte ersten Grades haben dabei ein um so höheres Erkrankungsrisiko, je jünger der Alzheimer-Patient bei Auftreten der ersten typischen Symptome war. Da aber sogar bei 80-jährigen einigen Zwillingen mit völlig gleichen Erbanlagen

nicht immer beide Zwillinge erkranken, können genetische Faktoren unmöglich alleine für das Auftreten der Krankheit verantwortlich gemacht werden.

Nur bei den klar erkennbar familiär vererbten Alzheimerkrankheiten mit so genannter autosomal dominanter Vererbung ließen sich bislang Gendefekte nachweisen. In diesen Fällen wird die Krankheitsanlage im Durchschnitt an eines von zwei Kindern weitergegeben. Bisher wurden bei

2
PET (Positronen-Emissions-Tomographie) des Gehirns eines Alzheimer-Kranken mit Presenilin-1-Mutation im Alter von 46 (oben), 47 (Mitte) und 49 (unten) Jahren. Rote Bereiche: normaler Stoffwechsel, gelbe Bereiche: verringelter Stoffwechsel (Maßstab etwa 1:8).



3
Alois Alzheimer (1864–1915) und seine Mitarbeiter etwa um das Jahr 1910, Königlich Psychiatrische Klinik, München.

4

Portrait von Emil Kraepelin (1856–1926).
Kraepelin war Lehrstuhlinhaber in München und Erstbeschreiber zahlreicher psychiatrischer Krankheiten. Er gilt als einer der Stammväter der wissenschaftlichen Psychiatrie.

Morbus Alzheimer drei Gene als krankheitsverursachend identifiziert; doch sind Gendefekte vorerst nur für eine kleine Zahl der Alzheimererkrankungen als Ursache nachweisbar. Die Entdeckung solcher Zusammenhänge birgt neue Chancen für die Medizin, weil man dank dieser neu gewonnenen Einsichten die auf molekularer Ebene ablaufenden Prozesse zu verstehen beginnt, die zur Entstehung von Krankheiten führen. Denn Gene regulieren die Synthese von Proteinen, und diese wiederum steuern die biochemischen Abläufe im menschlichen Körper. Wenn diese Mechanismen aufgeklärt sind, können Medikamente entwickelt werden, die gezielt in krankheitsverursachende Stoffwechselvorgänge eingreifen – möglicherweise auch in die Stoffwechselvorgänge, die zur Bildung der Plaques führen.

Eine Forschungsidee

Der Fund histologischer Originalpräparate aus der Schaffenszeit des Münchner Nervenarztes Alois Alzheimer 3 sorgte 1997 in der medizinischen Fachwelt für Aufsehen. Alzheimer, der in der Psychiatrischen Klinik von Emil Kraepelin 4 arbeitete, beschäftigte sich in den Jahren 1907–1910 intensiv mit dem Leiden des bei der Klinikeinweisung 54-jährigen Patienten Johann F. und dokumentierte dessen Krankheitsverlauf präzise. Die akribische Aufzeichnung des Krankheitsbildes bewog Emil Kraepelin später dazu, dieses Leiden nach seinem Erstbeschreiber als »Alzheimerkrankheit« zu bezeichnen.

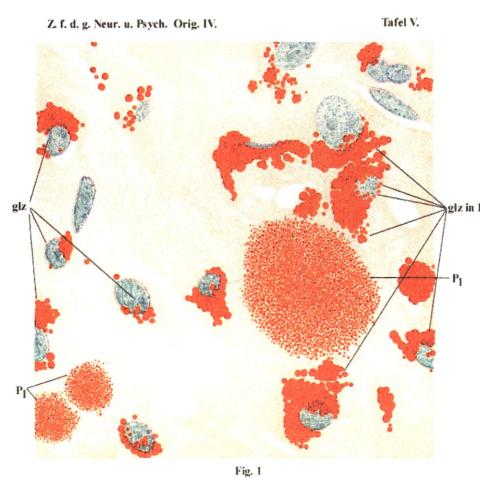
»... vergesslich, schwerfällig, fand sich nicht mehr zurecht, konnte einfache Aufträge gar nicht mehr oder sehr ungeschickt ausführen, stand immer umher, sorgte nicht mehr für Essen, wusch sich nicht mehr ...

... packt seine Bettstücke immer wieder zu einem Bündel zusammen und will damit fort. Stumpf, leicht euphorisch, fasst schwer auf ... Nachsprechen noch immer gut ... Gegenstände benutzt er oft falsch ... schon ganz frühzeitig eine ausgesprochene Wortverarmung, die sich im weiteren Verlauf zu einem völligen Verlust der Spontansprache steigerte ...«

(aufgezeichnet von Alois Alzheimer zwischen 1907 und 1910).

5

Färfärbung einer großen Plaque aus dem Gehirn von Johann F. (aus der Originalarbeit von Alois Alzheimer aus dem Jahre 1911).
glz Gliazelle
P₁ zentraler Teil (Kern) der Plaque
P₂ peripherer Teil, Hof der Plaque



Nach dem Tod des Patienten Johann F. im Jahre 1910 wurden Gehirngewebeschnitte angefertigt. Bei der Untersuchung der Gewebeproben fiel Alois Alzheimer auf, dass sich dieses Gehirn von den untersuchten Gewebeschnitten seiner ersten Patientin mit den gleichen Symptomen, Auguste D., unterschied – bei Johann F. traten ausschließlich Plaques 5 auf. Um diesen außergewöhnlichen Befund von den häufigeren Fällen mit Plaques und Fibrillen abzugrenzen, beschrieb Alois Alzheimer die Gewebeschnitte 1911 folgendermaßen:

»... Recht bemerkenswert ist die Beobachtung, daß sich in recht zahlreichen, aus sehr vielen Stellen des Gehirns angefertigten Präparaten nicht eine einzige Zelle finden ließ, welche die von mir beschriebene eigenartige Fibrillendegeneration zeigte. Eine Zellveränderung also, welche in den bisher beschriebenen Fällen ... ungemein häufig vorkam ... fehlte hier, obwohl die Plaques eine Größe und Häufigkeit zeigten, wie in keinem der untersuchten Fälle.«

Die hier von Alzheimer erwähnten histologischen Besonderheiten sind bis heute nicht geklärt.

Das fast 100 Jahre alte Gewebe ist für die Wissenschaft von großem Interesse, selbst wenn genetische Analysen an diesem historischen Material nur bedingt möglich sind. Selbst mit modernen molekularbiologischen Techniken ist die Sequenzierung langerer DNA-Abschnitte wegen der Formalinfixierung der Gewebeschnitte und der dadurch erfolgten Fragmentierung der Erbsubstanz kaum durchzuführen. Wollte man nämlich eine komplette Sequenzierung erstellen und sich mit dieser Sequenzierung an die Suche nach den drei bekannten Genen machen, müssten zu diesem Zweck zunächst einmal fast alle historischen Glasplättchen zerstört werden, um überhaupt an die mikrometerdicken Gewebeschnitte zu gelangen. Denn nur wenn der Gendefekt und seine Lokalisation bekannt sind, reichen auch kleinste Mengen eines Präparates zur Durchführung molekularbiologischer Untersuchungen. Deswegen muss ein ande-

rer Weg gewählt werden, um das spannende Rätsel der »plaque-only«-Alzheimerkrankheit zu lösen. Handelt es sich bei dieser reinen Plaque-Form vielleicht um eine Variante der Krankheit, die erblich ist und schon relativ früh zum Ausbruch kommt? Dies wollen die Regensburger Mediziner klären. Dazu müssen in einem ersten Schritt genealogische Nachforschungen angestellt werden, die dann als Grundlage für humangenetische Analysen dienen.

Pfarrmatrikeln als Forschungsobjekt

Sind der Name und einige persönliche Daten einer Person bekannt, können die Nachforschungen über Vor- und Nachfahren beginnen. Im Fall des Johann F. führte die Suche zum Diözesanarchiv in Passau. Hier befindet sich eines der größten deutschen Kirchenarchive, das unter anderem alle historischen Kirchenbücher der gesamten Diözese Passau verwaltet, die seit 1981 im Diözesanarchiv zentralisiert werden. Pfarrmatrikeln sind seit dem ausgehenden 16. Jahrhundert überliefert. Eine Anordnung des Konzils von Trient verpflichtete damals jede katholische Pfarrei dazu, eigene Tauf-, Trauungs- und Beerdigungsbücher zu führen. Im 19. Jahrhundert wurden die Matrikeln dann als staatliche Personenstandsbücher genutzt. Sie sind von besonderer medizinischer Aussagekraft, da 1803 im Rahmen der Säkularisation auch im ehemaligen Fürstbistum Passau die bayerischen Gesetze eingeführt wurden. In Bayern mussten nämlich schon ab 1792 »die Toten durch einen bewährten Arzt oder einen geschickten Wundarzt« angeschaut werden. Somit war der Kirche im Zeitraum von

1803 bis 1876 offiziell die Dokumentation der ärztlichen Leichenschau als Aufgabe übertragen worden.

In der Zeit des Kaiserreichs wurde in Bayern die Registrierung des Personenstandes 1876 in die Hände der weltlichen Gemeinden übergeben. Seit dieser Zeit existieren kirchliche und staatliche Dokumentation nebeneinander. Die Pfarrmatrikeln blieben unter Verwaltung der Kirche.

Historische Bevölkerungsdaten

Im Südosten Bayerns, wozu die Diözese Passau gehört, gab es bis Mitte des 20. Jahrhunderts überwiegend bäuerliche Bevölkerung und damit kaum Zuwanderung. Aus diesem Grund ist die genealogische und konfessionelle Situation vom 16. Jahrhundert bis ca. 1945 nahezu unverändert geblieben. Mit Ausnahme der überwiegend evangelischen Grafschaft Ortenburg, westlich von Passau gelegen, finden sich somit sämtliche erfassten Angaben zur historischen Bevölkerung der Diözese in den katholischen Pfarrmatrikeln. Verfolgt man die Lebensgeschichte des Johann F., so geht daraus hervor, dass er aus dem südlichen Landkreis Passau stammte [6].

Bisher war es mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden, Kirchenbücher und andere Bevölkerungsquellen umfassend auszuwerten, denn Zeit- und Arbeitsaufwand standen oft in keinem Verhältnis zum historisch-wissenschaftlichen Ertrag. Im Bistum Passau liegt jedoch eine sehr günstige Überlieferungs- und Erschließungssituation der Kirchenbücher vor; vor allem deshalb entschlossen sich die Archivare dort zur Einrichtung einer Datenbank. Das anfänglich vom Kulturfonds Bayern



6
Die Familie F. (► Stammbaum [3]), lässt sich über Jahrhunderte in den heutigen Landkreisen Passau und Rottal-Inn nachweisen. Bereits in der Renaissance beginnt um 1580 die Matrikelführung der Kirchengemeinden der Diözese Passau. Ausschnitt aus der ersten Bayerischen Landkarte von Philipp Apian (kolorierter Holzschnitt, Ingolstadt 1568).

Ausschnitt aus einer Beerdigungs-matrikel (1854). Diese Pfarr-matrikeln bilden die Quellen der digital abrufbaren Daten der »Historisch-demographischen Bevölkerungsdatenbank 1580 bis 1900« der Diözese Passau.

geförderte Projekt wurde 1997 in Kooperation mit dem Institut FORWISS (Bayerisches Forschungs-institut für wissensbasierte Systeme) an der Fakultät für Informatik und Mathematik der Universität Passau begonnen. Ziel war es, die Einträge der Tauf-, Trauungs- und Sterbematrikeln aller Pfarreien des Bistums vom Beginn der Überlieferung im späten 16. Jahrhundert bis zum Jahre 1900 in eine Datenbank einzugeben. Für das Vorhaben wurde die Eingabe von circa sechs Millionen Datensätzen veranschlagt. Register erschließen die Matrikeln, indem sie daraus einen üblicherweise nach dem Alphabet der Familiennamen sortierten Index erstellen, wodurch die Archivare über relativ knappe und leicht lesbare Grunddaten zu allen Matrikeln verfügen. Um die korrekte Erfassung der Daten zu gewährleisten, werden hohe Ansprüche an die Kenntnis alter Schriften gestellt.

Falsche Fährten

Immer wieder wurde in der Fachliteratur, speziell aber in den dreißiger, fünfziger und sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts, über Fälle familiärer Häufung der Alzheimerkrankheit in Bayern berichtet. Gab es möglicherweise verwandtschaftliche Beziehungen zwischen den in der Fachliteratur beschriebenen Fällen und dem Patienten Johann F.? Eine genauere Untersuchung dieser frühen medizinischen Beschreibungen ergab eine Spur, die in die Oberpfalz führte.

Bei 1800 von insgesamt 22 000 Patienten, die zwischen 1852 und 1952 in die Regensburger Heil- und Pflegeanstalt aufgenommen wurden, ist in den Krankenakten die Diagnose »Demenz« vermerkt. Bei sieben jungen Patienten war der Befund »Morbus Alzheimer« durch Autopsie bestätigt worden. In den Unterlagen und ebenso im Jahresbericht der Klinik von 1928 fanden sich zudem explizite

Hinweise auf eine familiäre Häufung präseniler Demenzen. Genealogische Nachforschungen in verschiedenen Pfarreien und im Regensburger Bistumsarchiv erbrachten, dass alle diese in jungen Jahren Erkrankten ohne Ausnahme aus Ortschaften in der nördlichen Oberpfalz stammten. Interessanterweise liegen diese Oberpfälzer Dörfer innerhalb eines eng eingrenzbaren Gebiets mit einem Radius von nur 15 Kilometern. Sämtliche erfassten Patienten zeigten eine deutliche Sprachstörung und sowohl Plaques als auch Neurofibrillen. Deutlich war zudem ein prägnanter Befall des linken Schläfenlappens, dem Sitz des Sprachzentrums. Erste Symptome wiesen die Patienten im Durchschnitt bereits mit 47 Jahren auf, die Extreme des Erkrankungsalters lagen zwischen 31 und 60 Jahren. Der erste nachweislich von dieser Demenz Betroffene war ein 1771 geborener Lehrer, dessen Krankheitsverlauf der Pfarrer über eine Spanne von vier Jahren, bis zum Tode des Patienten im Alter von 54 Jahren, minutiös als »debilitas nervorum« beschrieb.

Ein weiterer Zufallsfund war die Akte des Leonhard S. Bei diesem 63-jährigen Patienten handelt es sich um den Fall IV der insgesamt fünf Fälle, die Alzheimer und seine Mitarbeiter zwischen 1906 und 1911 veröffentlichten, einen typischen Fall mit Plaques und Neurofibrillen. Hier führte die genealogische Aufarbeitung nach Schwaben, wo sich die Familie seit etwa 1600 nachweisen ließ. Eine Beziehung zu der bei Johann F. beobachteten *Plaque-only*-Form der Erkrankung ließ sich jedoch bei den hier verfolgten Fährten nicht herstellen.

Genetisch-genealogische Untersuchungen

Für Mediziner sind in den Matrikeln neben den biographischen Daten vor allem die Eintragungen zu Krankheitsverlauf und Todesursache interessant.

Eine mögliche Fehlerquelle kann dabei allerdings eine falsche Vaterschaft darstellen. Die biologische Mutter ist fast immer bekannt, der biologische Vater jedoch kann anhand der Kirchenbucheinträge nicht verlässlich bestimmt werden. Das von uns befürchtete Problem der falschen Vaterschaft ist jedoch nicht relevant; gesunde »falsche« Väter hätten auch gesunde Nachfahren. Die von der Krankheit nicht betroffenen Seitenlinien der Familie fallen deshalb aus der Analyse heraus. Zudem gibt es genetische Marker, mittels derer diese Fehlerquelle bei heute lebenden Mitgliedern solcher Großfamilien auszuschließen ist. Ein weiteres Problem ist, dass Einzeleinträge aus Kirchenbüchern nicht immer ganz eindeutig sind. Sie gewinnen aber an Aussagekraft, wenn in einem Zweig der Familie über Generationen hinweg immer wieder verdächtige Einträge auffallen. Dies gilt besonders dann, wenn bei großen Kinderzahlen mehrere Geschwister auffällig sind, während sich in anderen Zweigen der Großfamilie über Generationen hinweg keine einschlägigen Todesursachen dokumentieren lassen.

Die Mitarbeiter des Passauer Archivs konzentrierten sich zunächst darauf, die Vorfahren und die Nachkommen des Johann F. vom 20. bis zurück ins 18. Jahrhundert zu ermitteln [6], einer der Autoren (H. Klünemann) forschte zudem in den historischen Archiven der Bezirkskrankenhäuser Mainkofen und Regensburg nach. Gleichzeitig erstellen seit 2002 die ärztlichen Mitarbeiter der Arbeitsgruppe von allen Alzheimerpatienten mit Beginn der Erkrankung vor dem 65. Lebensjahr eine Anamnese der Familiengeschichte, sofern die Vorfahren aus Niederbayern stammen. Voraussetzung ist, dass die Betroffenen der Anamnese zustimmen und auch die nichterkrankten Familienmitglieder damit einverstanden sind. Die Anzahl zur Zeit lebender jüngerer Alzheimerkranker liegt bei etwa 20 bis 50 pro 100 000 Einwohner. Bei einer nieder-

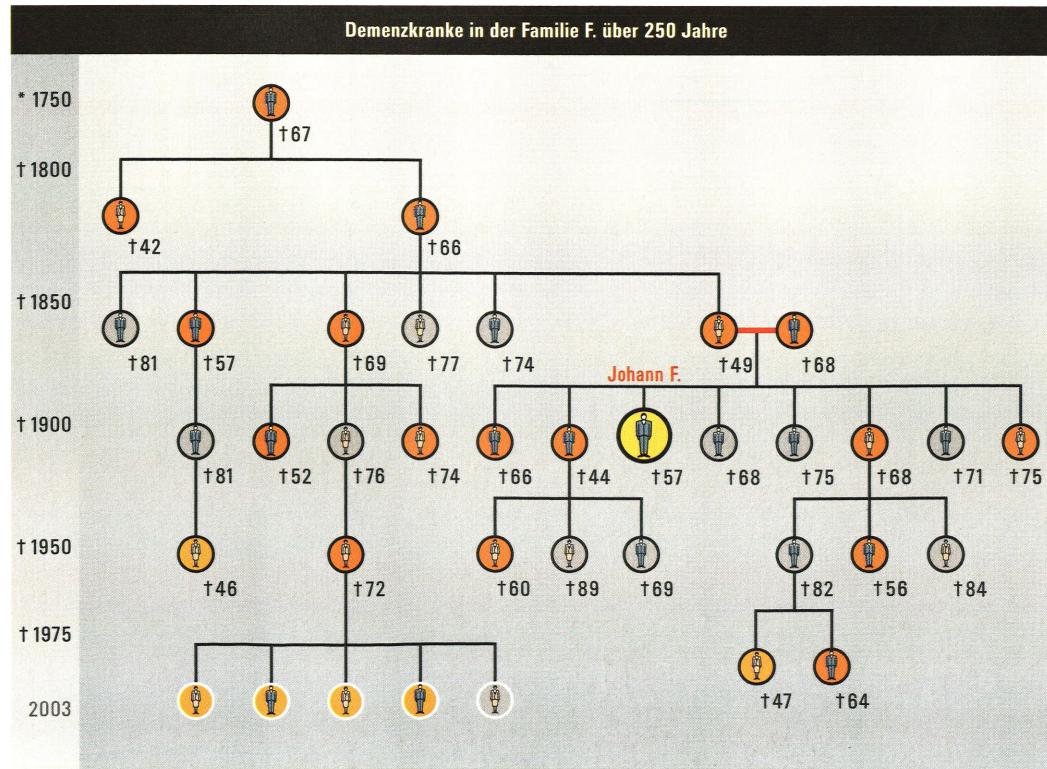
bayerischen Bevölkerung von insgesamt 1,2 Millionen Einwohnern ist demzufolge von ungefähr 240 bis 600 manifest erkrankten Personen auszugehen.

Im Fall des Johann F. sind in den Kirchenbüchern bis Januar 2003 genau 1247 Familienangehörige ermittelt worden, wovon 983 in einer biologischen Verwandtschaft zu ihm stehen. Dabei sind in einer Linie mit etwa 350 Abkömmlingen keinerlei Anzeichen für das Vorkommen einer Gehirnerkrankung festzustellen. In anderen Linien hingegen wurden bisher insgesamt 53 Personen ermittelt, bei denen davon auszugehen ist, dass eine »Geisteskrankheit« zum Tode führte. Ab 1750 belegen die Kirchenbucheinträge, dass etliche der Ahnen des Johann F. an Beschwerden litten, die auf eine Alzheimerkrankheit hindeuten. 1910 wird die Krankheitsbezeichnung »Alzheimersche Krankheit« zum ersten Mal, und zwar bei Johann F., als Todesursache im Sektionsbuch eingetragen. Vor 1910 bezeichneten demnach die behandelnden Ärzte die Alzheimerkrankheit stets unter anderen Diagnosen, sprich eben nach der Zuschreibung, mit der sie sich den Krankheitsprozess am besten erklären konnten [7].

Eine erste heiße Spur

Der erste vermutlich ebenfalls an Morbus Alzheimer erkrankte Vorfahre des Patienten Johann F. war dessen Urgroßvater. Dieser 1764 geborene Mann verstarb mit 68 Jahren an »Gehirnwassersucht« [8]. Ob auch dessen Geschwister oder Eltern diesbezüglich belastet waren, ist noch unklar; Aufschluss darüber wird wohl erst die Durchsicht weiterer Quellen erbringen. Der Großvater von Johann F. wurde 67 Jahre alt, als Todesursache liest man »Gehirnerweichung«. Eine Tochter des Urgroßvaters, also eine Großtante von Johann F., litt an »Wahn- sinn« und wurde bereits mit 42 Jahren zu Grabe getragen. Die Nachkommen dieser Frau waren

- [8]**
Stammbaum des Johann F. seit 1750. Anhand von Totenbucheinträgen wie »Gehirnwassersucht« oder »Gehirnerweichung« kann eine Alzheimerkrankheit nur vermutet werden. Auf Grund von Gedächtnistests, Blutuntersuchungen und Bildern des Gehirns (► [3]) kann eine Alzheimerdemenz mit 85% Wahrscheinlichkeit diagnostiziert werden. Ganz sicher ist die Diagnose »Alzheimer« erst nach einer Autopsie. Nur in dieser Familie, nicht aber in anderen Familien, fand sich eine auffällige Häufung verdächtiger Diagnosen.
● Alzheimer-Krankheit durch Autopsie bestätigt
● Alzheimer-Krankheit durch Tests diagnostiziert
● Alzheimer-Krankheit auf Grund der Totenbucheinträge vermutet
○ verstorben, mit Sterbealter vermerkt
+/- verstorben, mit Sterbealter vermerkt
— Verwandtenehe



Alzheimer-Spur führt nach Passau

Regensburger Neurologe forscht mit Hilfe des Diözesan-Archivs nach einem Alzheimer-Gen

Von Julia Weigl

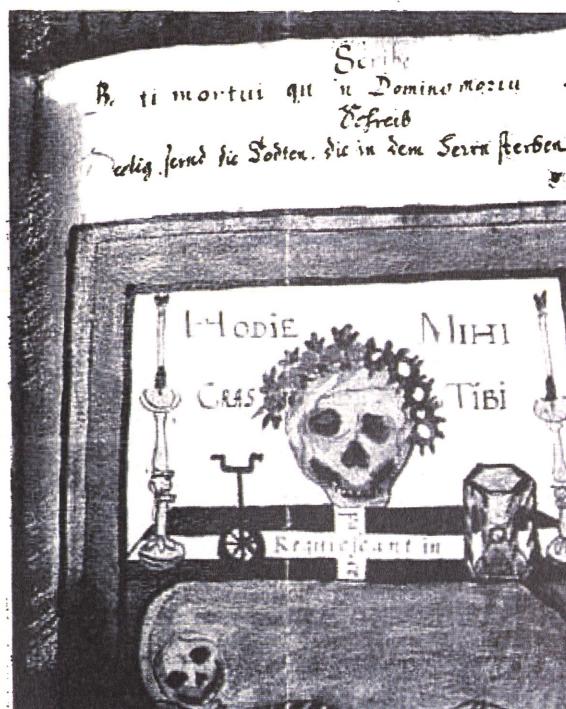
Passau, Alzheimer wird offenbar durch Gene beeinflusst. In Deutschland leiden mehr als eine Million Menschen unter der tödlichen Gehirnerkrankung. Drei Alzheimer-Gene konnten Wissenschaftler bereits identifizieren. Am Regensburger Bezirksklinikum ist der Neurologe Hans Klünenmann jetzt einem vierten Gen auf der Spur, die in die Umgebung von Passau führt. Damit könnte die Grundlage für eine Therapie der Krankheit gebildet werden. Bei der Suche bedient sich der Wissenschaftler neben den gängigen Methoden auch der historischen Bevölkerungsforschung. Zusammen mit dem Historiker Herbert Wurster, Direktor des Archivs des Bistums Passau, fahndet der Arzt nach Alzheimer-Erkrankungen in Familienstammbäumen. Wurster hatte vor knapp fünf Jahren mit dem Aufbau einer Bevölkerungsdatenbank begonnen, die inzwischen über eine Million Daten aus der Zeit von 1750 bis 1900 umfasst.



Hans Klünenmann

Historischer Befund:
„Zuletzt ohne Geist“

Die Befunde der heute in der Diözese Passau erkrankten Alzheimer-Patienten vergleicht der Neurologe mit den Beschreibungen der Todesfälle in den Sterbebüchern. Da heißt es zum Beispiel „gefangen im Geist“ oder „zuletzt ohne Geist“. Das Phänomen benannte Emil Kraepelin, der Verfasser des Standardwerks „Psychiatrie – ein Lehrbuch für Studierende und Ärzte“ von 1910, nach seinem Schüler Alois Alzheimer.



Eine Seite aus dem Sterbebuch aus dem Archiv des Bistums Passau aus der Zeit von 1800. Auf der Suche nach einer möglichen Therapie für die Alzheimer-Krankheit, bedient sich der Wissenschaftler Hans Klünenmann der historischen Bevölkerungsforschung. (Foto: Bistum Passau)

Johann F., Alzheimers erster Fall, wies im Vergleich zu späteren umfassend untersuchten Fällen eine Besonderheit auf, die Klünenmann auf eine hoffnungsvolle Spur brachte. Die meisten histologisch untersuchten Hirngewebeschnitte von Alzheimer-Patienten zeigen neben den charakteristischen Ablagerungen (Plaques) auch Knäuel, so genannte Neurofibrillen. Diese treten auch bei einer Reihe anderer neurologischer Krankheiten auf, wegegen kein einziger Alzheimer-Fall ohne Plaques bekannt ist.

Der historische Fall Johann F. hat die Krankheit also in seiner reinen Form ausgebildet und zwar schon relativ früh, im Alter von 54 Jahren. In den meisten Fällen tritt Alzheimer erst nach dem 60. Lebensjahr auf. Johann F. stammte aus dem südlichen Landkreis Passau. Nachdem seine Krankheit ausgebrochen war, litt sein Bruder nach München in die Klinik gebracht. Die histologischen Schnitte des Patienten zeigten wiederum laut Gehirnpathologe Alzheimer nur Plaques, aber keine Fibrillen auf.

Mit Hilfe der Bevölkerungsdatenbank der Diözese Passau ermittelte Wurster die Vorfahrer des Johann F. zurück bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts. Die Stammbäume verbreitern sich im 20. und 21. Jahrhundert und heute gehören mehrere tausend Menschen zu den Nachfahren des Johann F. Sie alle sind potenzielle Träger des dringend gesuchten Gens. Weil die reine Plaquesform der Krankheit dafür verantwortlich zu sein scheint, dass die Patienten bereits vor dem 60. Lebensjahr erkranken, suchen die Wissenschaftler nach Menschen, die zu diesem Stammbaum zählen und relativ jung an Alzheimer erkranken.

Angehörige einer Patientin spenden Blut

Als eine niederbayerische Gemeinde den Todesfall einer 40-Jährigen nach der Diagnose Schizophrenie meldete, legte Klünenmann Verdacht. Er kontaktierte die Familie und fand heraus, dass es sich um einen Fall früher Alzheimer-Erkrankung handelte. Er bat die Familie, Blut zu spenden, um sein Projekt zu unterstützen. Bisher haben insgesamt 20 Angehörige von Alzheimer-Patienten Blutproben für Forschungszwecke zur Verfügung gestellt.

Die Verantwortlichen des bayrischen Kulturfonds, aus dem die Passauer Bevölkerungsdatenbank finanziert wurde, und Archivar Wurster hatten zunächst nur die Förderung der Geschichtswissenschaft zum Ziel. Sie hatten nicht damit gerechnet, dass von den Daten jetzt die medizinische Forschung profitieren würde. Auch Klünenmann hatte nie zuvor Berührungspunkte mit der Geschichtswissenschaft. „Doch die Chancen stehen gut, dass sie die Nadel im medizinischen Heuhaufen finden hilft“, sagt er.

9

Zeitungsausschnitt vom 12. Oktober 2002, Passauer Neue Presse, Ausgabe A: Erfolgreiche Aufklärung der Bevölkerung durch die regionale Presse.

10

Gene des Cholesterinstoffwechsels sind Kandidaten-Gene bei Demenz-Erkrankungen.

Die hier vorgestellte Methodik führte schon einmal zum Erfolg

Cholesterin und Demenz

Seit 2001 untersucht das Bezirksklinikum Regensburg den Fall zweier 43-jähriger Schwestern aus der Alzheimer-Ambulanz der Universität Vermont. Das Mittelgebirge an der kanadischen Grenze ist stark durch französische Siedler geprägt, wie schon der Name des US-Bundesstaates vermuten lässt. Denn die Bezeichnung „Les Verts Monts“, die grünen Berge, geht auf die französischen Pioniere zurück, die dort erstmals 1605 eine Festung errichteten. Da etwa 70 Prozent aller Franko-Kanadier von einem der ersten Siedler (Jean Guyon, geboren 1585) abstammen, gibt es wegen dieser Blutsverwandtschaft ungewöhnlich häufig genetische Erkrankungen.

Bei einer der beiden von Regensburger Forschern untersuchten Frauen stellte sich *post mortem* heraus, dass sie nicht an einem Morbus Alzheimer, sondern an einer seltenen Demenzerkrankung mit dem Namen Morbus Niemann-Pick gelitten hatte. Die Erkrankung war in dieser Form bisher noch nie beschrieben worden. Bei der Aufarbeitung des Falles

fanden wir in Zusammenarbeit mit Dr. Wolfgang Kaminski und Prof. Gerd Schmitz aus dem Institut für klinische Chemie der Universität Regensburg eine bisher unbekannte Mutation auf dem cholesterin-bindenden Protein HE1, die zu Cholesterin-Stoffwechselveränderungen führt. Für die Forschung ist die seltene Niemann-Pick-Erkrankung interessant, weil eine Version des Cholesterintransportproteins ApoE einen Risikofaktor für das Auftreten der Alzheimerkrankheit bildet.

Genetik und Genealogie

Die Erforschung der Familie der Patientinnen mit Hilfe der historisch-demographischen Datenbank der Universität Montreal führte zu einer interessanten Entdeckung: Beide Eltern der betroffenen Frauen stammten von französischen Einwanderern ab, deren Stammbaum sich bis ins 16. Jahrhundert zum eingangs erwähnten Jean Guyon zurückverfolgen ließ. Im Fall dieser franko-kanadischen Familie bestätigte der molekulargenetische Befund die historische Überlieferung: Die Eltern der beiden Patientinnen waren miteinander verwandt und Träger derselben Mutation.

wiederum von Nervenkrankheiten betroffen. Des Weiteren existieren zu drei bereits verstorbenen Familienmitgliedern des 20. Jahrhunderts Aufzeichnungen, die typische Symptome der Alzheimerkrankheit beschreiben. Ein histologischer Befund liegt aber nur bei Johann F. vor.

Die Betrachtung des Stammbaums von Johann F. erlaubt die Feststellung, dass die Alzheimersche Erkrankung hier familiär gehäuft auftritt, wobei das erste Auftreten der Krankheit zwischen dem 36. und 65. Lebensjahr lag. Das Vorhandensein der möglicherweise dafür verantwortlichen Genmutation in den Erbanlagen führt aber nicht zwingend zum Ausbruch der Krankheit. Der Humangenetiker spricht deshalb von variabler Penetranz.

Die Ergebnisse der Familienforschung zeigen noch einen weiteren bemerkenswerten historischen Befund: Die Ursprünge der Familien, die vermutlich eine erbliche Belastung für diese Erkrankung aufweisen, liegen in der einstmaligen Enklave des Hochstifts Passau. Seit etwa dem Jahr 1000 war dieses Gebiet bis zum Reichsdeputationshauptschluss des Jahres 1803 durchgängig von seinen Nachbarräumen herrschaftlich getrennt. Hochzeiten über die »Staatsgrenzen« hinweg waren deshalb eher selten, man musste seinen Ehepartner innerhalb der Enklave suchen. Dies hatte zur Folge, dass sich öfters Brautpaare fanden, die mehr oder minder eng miteinander verwandt waren. Und wirklich: In den Linien der Großfamilie, in denen die Krankheit auftritt, haben dokumentarisch belegte Heiraten innerhalb der Familie stattgefunden, während sich in der Linie ohne Befund keine Verwandtenehen nachweisen lassen. Diese Verwandtenehen komplizieren die Analyse, weil sie zur Verringerung der genetischen Variabilität führen und in solchermaßen isolierten Populationen harmlose genetische Defekte zu Verursachern von erblichen Krankheiten werden. Man spricht dann vom autosomal-rezessiven Erbgang.

Man stelle sich hierzu eine Person, den hypothetischen Gründer der Familie, aus dem Jahr 1580 vor. Diese Person ist Träger eines genetischen Defekts, aber gesund, weil jedes Gen in zwei Kopien vorkommt und die gesunde Kopie die Funktion voll erfüllen kann. Hat diese Person viele Kinder, so erbt etwa die Hälfte davon eine defekte Kopie, bleibt aber ebenfalls gesund. Wenn hingegen Nachkommen des Gründers *miteinander* Kinder zeugen, dann ist die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass diese Nachfahren zwei defekte Kopien erhalten. Die Funktion des Gens wird nicht mehr erfüllt, wenn beide Kopien defekt sind – der betroffene Mensch erkrankt.

Beim autosomal-dominanten Erbgang hingegen reicht bereits eine defekte Kopie aus, damit die Krankheit ausbricht. Wegen dieser komplizierten Situation bei vielfach miteinander verwandten Mitgliedern von Gründerpopulationen gehört auch ein genetischer Epidemiologe mit Kenntnissen statistischer Methoden zu unserem Team. Unter verschiedenen Annahmen für genetische Modelle, z. B. dem autosomal-dominanten Erbgang, werden dann die Ergebnisse der molekulargenetischen Analyse auf ihre Plausibilität hin geprüft. Der endgültige Beweis für einen Gendefekt ist nämlich erst dann erbracht, wenn sich anhand der molekularen

genetischen Analyse die beobachtete Symptomatik vorhersagen lässt. Für die interne Kontrolle muss deshalb immer eine Reserve aus nicht getesteten Blutproben gebildet werden.

Der Schritt an die Öffentlichkeit

Die Schlussfolgerung aus den bisher gewonnenen Daten führte zu folgender Arbeitshypothese: Es muss in Niederbayern eine familiär gehäuft auftretende Form der Alzheimerschen Erkrankung geben, die vor dem 65. Lebensjahr ausbricht, sich histologisch als reine *Plaque*-Form darstellt und eine vermutlich noch unbekannte Mutation in dem noch ausfindig zu machenden Gen aufweist. Ob die variable Penetranz eventuell noch durch weitere Gene beeinflusst wird, ist derzeit unklar.

Um diese Zusammenhänge weiter aufzuklären, sucht die Arbeitsgruppe des Bezirksklinikums Regensburg nach Personen mit Vorfahren aus der Diözese Passau, die vergleichsweise jung – konkret gesprochen: vor dem 65. Lebensjahr – an Morbus Alzheimer erkrankten **9**. Nach eingehender Aufklärung und schriftlicher Einwilligung in genealogische Recherchen wird bei allen Probanden geprüft, ob sie zu den Verwandten des Johann F. gehören. Ist dies der Fall, wird das Blut der Betroffenen und ihrer Familien einer genetischen Untersuchung unterzogen. Bei allen lebenden Probanden muss dabei ein bis in die Mitte des 18. Jahrhunderts zurückreichender Stammbaum erstellt werden. Da sich die Ahnentafeln im Laufe der Zeit verbreitern, gehören heute mehrere hundert Menschen zu den biologischen Verwandten des Johann F. Sie alle sind potenzielle Träger des gesuchten Gens.

Um diese Personengruppe überhaupt erst einmal zu erreichen, muss das Forschungsvorhaben bei Ärzten, Fachpersonal und in der Öffentlichkeit bekannt gemacht werden. Dies geschieht durch Presse, TV-Berichte, Fachvorträge und Öffentlichkeitsarbeit. Nur dann werden betroffene Familien sich näher informieren und bereit sein, an den Untersuchungen mitzuwirken.

Ausblick

Ein Gen, das beispielsweise für die reine *Plaque*-Variante der Alzheimerkrankheit verantwortlich wäre, kann unter der Annahme eines autosomal dominanten Erbganges mittels so genannter Koppungsanalyse bestimmt werden, wenn man Blutproben von mehreren Kranken und gesunden, älteren Probanden aus der gleichen Familie vergleicht. Genealogische Daten und die mit genetischen Markern untersuchten Blutproben helfen, den ungefähren Ort auf einem Chromosom zu lokalisieren, an dem das für die Erkrankung ursächliche Gen zu finden sein muss. Weitere Forschungen ermöglichen die Auffindung der Mutation mittels Sequenzierung aller »verdächtigen« Gene auf diesem Chromosomenabschnitt. Dazu gehören beispielsweise Gene des Cholesterinstoffwechsels. **10**. Solche molekulärbiologischen Ergebnisse wie die Entdeckung eines krankheitsauslösenden Gens bilden dann die Basis für eine mögliche neue Therapie, mit der sich das Ausbrechen der Krankheit auf Jahre oder gar Jahrzehnte hinauszögern ließe. Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 67

Dr. med.

Hans-Hermann Klünemann

geb. 1964 in Oldenburg. Studium der Medizin in Freiburg und New York 1986 bis 1993, Stipendiat der Studienstiftung des Deutschen Volkes und des Biomedical Sciences Exchange Programme, 1993 Promotion in Freiburg. 1993–1995 Assistant am Institut für Klinische Pathologie des Universitätsspitals Zürich. 1995–2000 Facharztausbildung zum Neurologen an den US-Universitäten von Connecticut und Vermont. Fellowship in Klinischer Neurophysiologie. 2000 Facharztplüfung des American Board of Psychiatry and Neurology. Seit 2002 Arbeitsgruppenleiter an der Regensburger Universitätsklinik für Psychiatrie und Psychotherapie.

Forschungsschwerpunkte:

Klinische Genetik, insbesondere Alzheimerkrankheit und Cholesterinstoffwechselstörungen des Gehirns.

Dr. phil.

Herbert W. Wurster

geb. 1950 in Plattling. 1972–1978 Studium Anglistik und Geschichte an den Universitäten Regensburg und Canterbury/England. 1980 Promotion an der Universität Regensburg mit einer Arbeit zur bayerischen Landesgeschichte. Nach der Ausbildung zum wissenschaftlichen Archivar am Institut für Archiwissenschaft Marburg seit 1980 Archivdirektor der Diözese Passau.

Prof. Dr. med.

Helmfried E. Klein

geb. 1945 in Bachmering. Medizin-Studium in München. 1970 Promotion und amerikanisches Staatsexamen. 1971–1975 Weiterbildung an der Psychiatrischen Klinik der LMU München. 1975–1976 Research Assistant Professor of Psychiatry am New York Medical Center. 1977–1979 Neurologische Ausbildung. 1979 Facharzt für Neurologie und Psychiatrie. 1980 Oberarzt an der Psychiatrischen Klinik der LMU München. Seit 1984 Ärztlicher Direktor des Bezirksklinikums Regensburg. 1996 Lehrstuhl für Psychiatrie und Psychotherapie der Universität Regensburg am Bezirksklinikum Regensburg.
Forschungsschwerpunkte:
Psychopharmakologie, Chronomedizin, Ätiopathogenese der Psychosen.

Kulturtransfer im Mittelalter

Stilistische Einflüsse rund um die Regensburger Schottenkirche

Blickpunkt

»In Regensburg an einem zugemauerten Thor der alten Jakobs Kirche sind so wunderbare hieroglyphische Arabesken, daß wenn man ihre Abbildung einer Akademie vorlegen würde, die in der Stadt selbst sässe, sie Erklärungen aus Egypten dazu herholen würde ...« Seit dieser Niederschrift des romantischen Dichters Clemens Brentano von 1810 dauert die Faszination durch das Fremde und Eigentümliche an den Skulpturen der romanischen Regensburger Schottenkirche ungebrochen an.

1 Lediglich dank einer Dokumentation von 1848 weiß man überhaupt vom Aussehen des romanischen Schottenkreuzgangs. Damals wurden die vermauerten Arkaturen der Hofwände freigelegt. In seiner Pracht und Vielfalt muss der Kreuzgang zu den Spitzenleistungen des 12. Jahrhunderts gerechnet werden.

Anfangen hat alles um das Jahr 1074. Damals hatte der selige Marian aus Nordirland die Absicht, die heilige Stadt Rom aufzusuchen. Unterwegs wollte er jedoch seinem Landsmann Merchertach, der in Regensburg als Inkluse lebte, seine Aufwartung machen. Dieser Besuch bedeutete gleichermaßen das Ende von Marians Pilgerschaft als auch den Beginn einer erfolg- wie folgenreichen klösterlichen Neugründung. Als Marian nämlich die Weiterreise antreten wollte, wurde ihm eingegeben, dass er bei Sonnenaufgang einhalten und an Ort und Stelle ein Kloster errichten solle. Weit kam der fromme Wanderer nicht, denn das Tageslicht holte ihn kurz vor den südlichen Mauern der Stadt Regensburg ein. Das dortige Peterskirchlein wurde ihm für seine Klostergründung zugesagt. Da sich die Kunde von Wundertätigkeiten Marians ausbreitete, kam es zu einem regen Zuzug irischer Mönche, so dass das Klösterlein schnell zu eng wurde und die Brüder nach adäquaterem Gelände Ausschau hielten. Dieses fand man vor der westlichen Stadtmauer: Es ist der Platz der heutigen Schottenkirche.

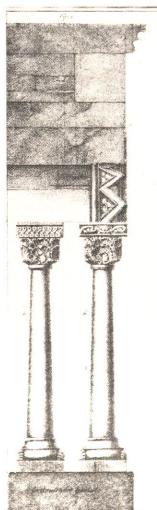
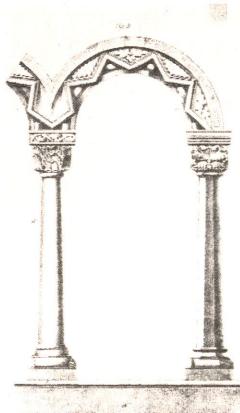
Schnell wurden Kloster und Kirche hochgezogen (Weihedaten 1111/1120). Schnell, eifertig und aus Bruchsteinmauerwerk, wie die einschlägige Quelle aus dem späten 12. Jahrhundert, die Lebensbeschreibung Marians, berichtet. Dermaßen eifertig sogar, dass man die Gebäude, so wird beteuert, schon etwa dreissig Jahre nach ihrer Vollendung wegen Baufälligkeit wieder abreißen musste. Der Orden florierte weiterhin. Vom Regensburger Mutterkloster aus wurden mehrere Filialen gegründet, man hatte Besitzungen erlangt und stand sowohl unter päpstlicher als auch kaiserlicher schützender Hand. Die nun in Regensburg ›heimischen‹ Irenmönche wollten ihrer gesicherten Position offenbar durch einen ambitionierten und repräsentativen Kirchenneubau sinnfälligen Ausdruck geben. Dieser sollte in Architektur und Ausschmückung den aktuellsten Errungenschaften und Stilmoden der Bau- und Bildhauerkunst genügen und zugleich die besondere Stellung des Klosters reflektieren.

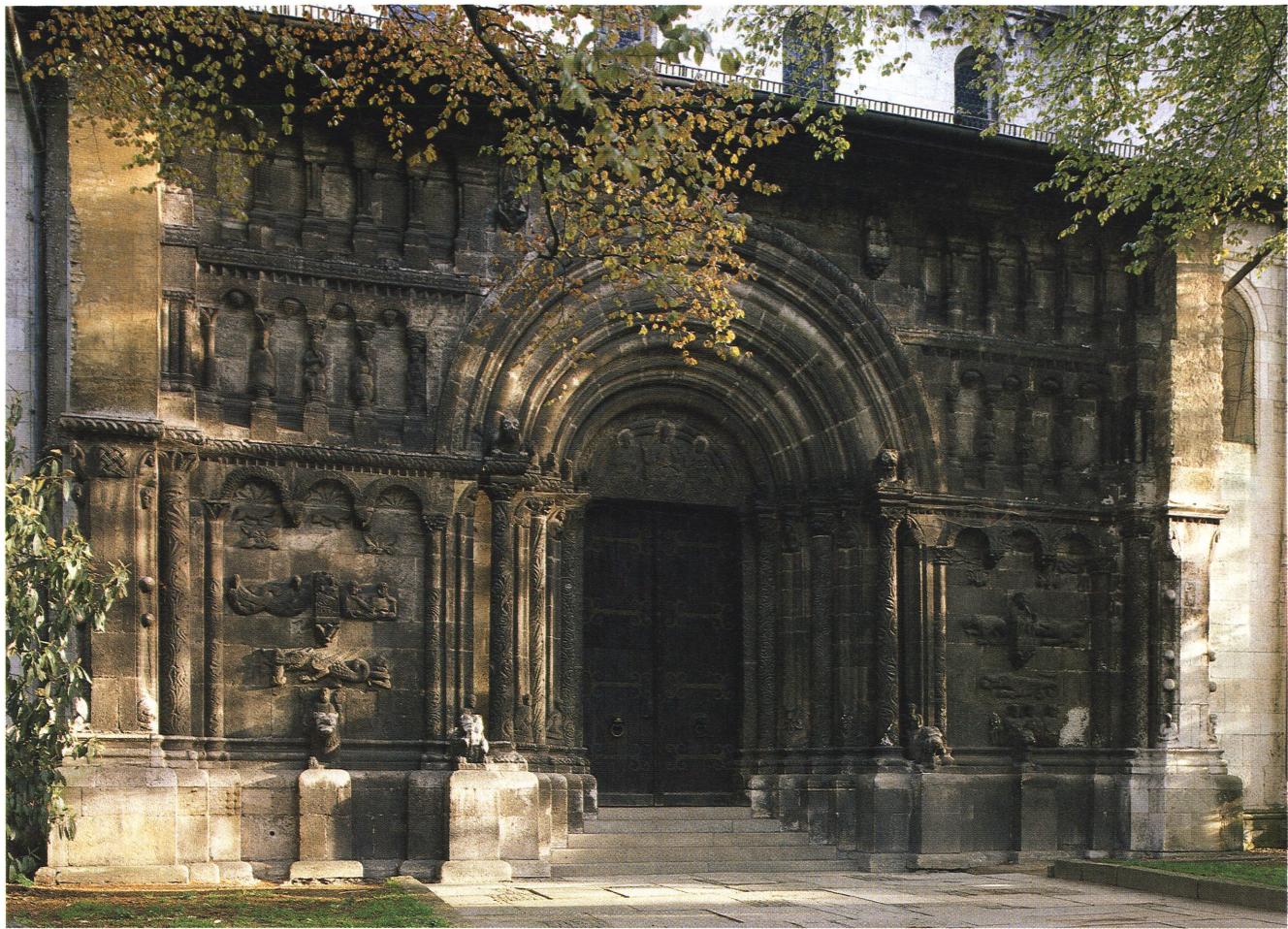
Hierfür kamen den Iren die Kenntnisse zugute, die sie auf ihren weiten Pilgermärschen gesammelt hatten. Ihre Kirche hatten sie beredterweise Pilgerpatronen unterstellt: St. Jakob und St. Gertrud. In der Tat wurden nur irische Mönche in die so genannten Schottenklöster (abgeleitet vom lateinischen Begriff *Scotia* für Irland) aufgenommen. Diese hatten einen erheblichen Fußweg hinter sich, wenn sie in Regensburg ankamen.

Eine Kirche aus großen, sorgfältig zugehauenen und geglätteten Kalksteinquadern war damals ein Novum in der Gegend. Was jedoch die architektonische Anlage der Basilika betrifft (die zunächst, wie sich jüngst zeigte, eine Hallenkirche werden sollte), so fügt sie sich problemlos in die Baugepflogenheiten der Stadt und der Region ein (vgl. z. B. St. Emmeram). Den Eindruck des ›Fremden‹ löst erst der Blick auf den bauplastischen Schmuck des Klosters aus: der nämlich fiel im Vergleich zum damals in dieser Umgebung Üblichen außergewöhnlich reich aus. Er erstreckt sich sowohl außen und innen über die Kirche mit ihren Kapitellen, Figurenreliefs, Konsolen etc. als auch über den sich im Süden anschließenden Kreuzgang.

Speziell der Kreuzgang – heute nurmehr ein rudimentäres Carré (der bauplastische Schmuck ist lose und verstreut erhalten) – stellte zur Zeit seiner Vollendung eine sensationelle Preziosität dar. Heute zeugt davon nur noch eine Baudokumentation aus der Mitte des 19. Jahrhunderts 1. Ein zierlicher Sockel trug doppelt hintereinander gestellte Säulchen mit Kapitellen, über denen sich raffiniert gemusterte Bogen erhoben. Insgesamt muss sich in der Mischung aus wohlproportioniertem Gleichtmaß und kalkulierter Vielfalt im schmückenden Detail ein einzigartiger Anblick geboten haben. Woher hatten die Iren die Anregungen zu diesem Meisterwerk der romanischen Bauplastik erhalten?

Dass es u. a. ihre irische Heimat war, mag wenig überraschen. Dort gab es in den Kirchenanlagen verwandte Konzeptionen von Bogen und Mustern. Beispielsweise in der Cormac's Chapel in Cashel, die nachweislich von den Äbten von St. Jakob aufgesucht wurde. Der Ort, auch St. Patrick's Rock genannt, ist von großer Bedeutung für die Geschichte Irlands. Weitere Inspirationen konnten die Mönche bei ihrer Durchreise im Rheinland aufgreifen, das auf der für gewöhnlich benutzten Marschroute nach Süden lag; das Rheinland war damals federführend in der Ausbildung ornamentaler Bauskulptur. Die 1151 geweihte Doppelkirche von Schwarzerndorf bei Bonn studierten sie offenbar ganz genau. Errichtet wurde dieser Initialbau





von Arnold von Wied, als Kanzler König Konrads III. ein bedeutender Mann des Reichs. Die Iren ließen sich demnach von epochalen Bauwerken mit hohem künstlerischem und ideellem Anspruch leiten, als sie deren Schmuck ihrem Neubau fern der Heimat anverwandten.

Um eine modifizierende Anverwandlung handelt es sich in der Tat. Denn dass Handwerker im Rheinland abgeworben worden wären, ist aufgrund der unterschiedlichen Formensprache und technischen Umsetzung hier und dort unwahrscheinlich. Eher hat man von der Vermittlung durch so genannte Musterbücher auszugehen: skizzenhaft festgehaltene Gedächtnissstützen zur Wiederholung und Weiterreichung von Motiven. Die Transformation vom Drei- ins Zweidimensionale und zurück mag die Abweichungen bei gleicher Grundhaltung erklären. Durch die Ortsverschiebung und die neue Umsetzung entstand in Regensburg letztlich etwas ganz Einzigartiges.

Wollte man glauben, ein derart innovativer Bau wie die Regensburger Schottenkirche mit ihrem gelungenen Konglomerat aus Einheimischem und Fremdem hätte für Furore und breite Nachahmung sorgen müssen, so weit gefehlt. Dennoch finden sich einzelne Reflexe. So trifft man in der Doppelkapelle der Nürnberger Kaiserburg eine Fülle von figürlichen Skulpturen an, die in Stil und Machart unverkennbar den Regensburger Ausprägungen gleichen. Eine geographisch wie stilistisch entferntere Spur lässt sich schließlich am Karnerportal im niederösterreichischen Bad Deutsch Altenburg ausmachen, einer Station auf dem von Osten

kommenden Jakobspilgerweg nach Santiago de Compostela. Dort bietet sich einem der Anblick einer Musterkarte von weitgehend identisch kopierten Kapitellchen, wie sie im Regensburger Kreuzgang – dort rheinisch motiviert – auftraten. Nochmals weitergereicht haben sie gegenüber dem Ursprungsort erneut stilistische Abwandlungen erfahren.

Das Irenkloster St. Jakob in Regensburg war somit im späten 12. und frühen 13. Jahrhundert ein wichtiger Ort moderner Kunst- und Kulturvermittlung. Bemerkenswerterweise sperren sich allerdings die berühmten Skulpturen des Schottenportals 2 gegen einen stilistischen Vergleich. So wenig sie sich bis heute inhaltlich schlüssig deuten lassen, so wenig ist ihre Entstehung und Machart aus der übrigen europäischen Steinbildhauerei der Romanik zu erklären. Am ehesten mag der fremdartige, aus dem Ornament entwickelte Skulpturenschmuck verwurzelt sein in der charakteristischen Tradition der irischen Kleinkunst: der Goldschmiedekunst und der Buchmalerei. Vielleicht hat man sich im Kloster St. Jakob zu Regensburg inspirieren lassen von solchen älteren Schöpfungen, wie man sie von zu Hause kannte und vielleicht auch in Bibliothek oder Sakristei beherbergte. Ein hausgemachter Kulturtransfer – sozusagen.

Irgendwie hat es aber auch etwas Beruhigendes, dass selbst der Spaziergänger von heute noch in dem schon von Brentano artikulierten Staunen vor dem Portal verweilen kann.

2

Bis heute stellt die einzigartige Skulpturenwand des Nordportals der Regensburger Schottenkirche ein Faszinosum dar. Welches inhaltliche Programm hinter ihr steht, ist aus heutiger Sicht nicht zu klären. Die eigenwillige, dem Ornamentalen verpflichtete Formensprache hingegen dürften die Mönche irischen Kunstauberungen entlehnt haben. Seit kurzem besitzt das Portal eine gläserne Vorhalle, die dem durch Schadstoffe und Witterung ausgelösten Verfall der Skulpturen Einhalt gebieten soll.

Dr. phil.

Mona Stocker

geb. 1971 in München. Studium der Kunstgeschichte, Germanistik und Volkskunde an den Universitäten Passau, Bonn und Regensburg.

2001 Promotion an der Universität Regensburg bei Jochen Zink über die Skulptur der Schottenkirche St. Jakob in Regensburg und ihr stilistisches Umfeld.

Derzeit Kulturveranstalterin an der Staatsgalerie Stuttgart.

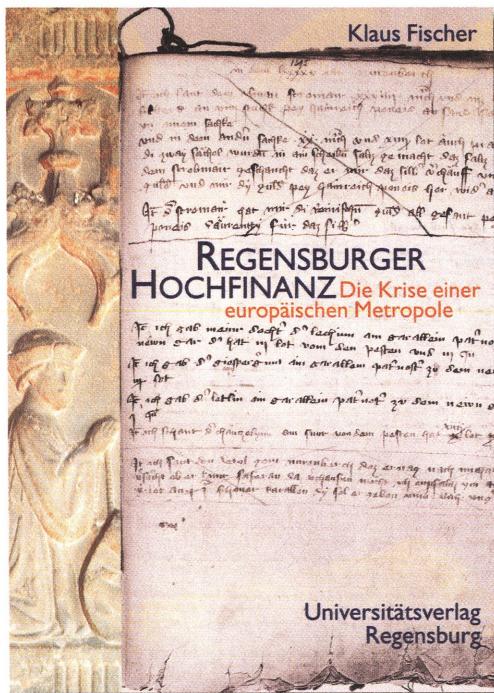
Euro 59

343 Seiten
mit Abbildungen

Regensburger
Studien & Quellen
zur Kulturgeschichte
Band 14

ISBN 3-930480-01-8

Überall im Buchhandel



Universitätsverlag
Regensburg

Die Millionäre des Mittelalters

Vom kaufmännischen Wagemut, Organisationstalent und politischem Geschick der Regensburger Geldaristokratie im Spätmittelalter und zu Beginn der Neuzeit.

Ursachen, Hintergründe und Folgen des wirtschaftlichen, politischen und sozialen Niedergangs der Freien Reichsstadt Regensburg im Spiegel der europäischen Wirtschaftsgeschichte.

Euro 14,90

112 Seiten
mit 53 ganzseitigen
Abbildungen

ISBN 3-930480-77-8

Überall im Buchhandel



Universitätsverlag
Regensburg

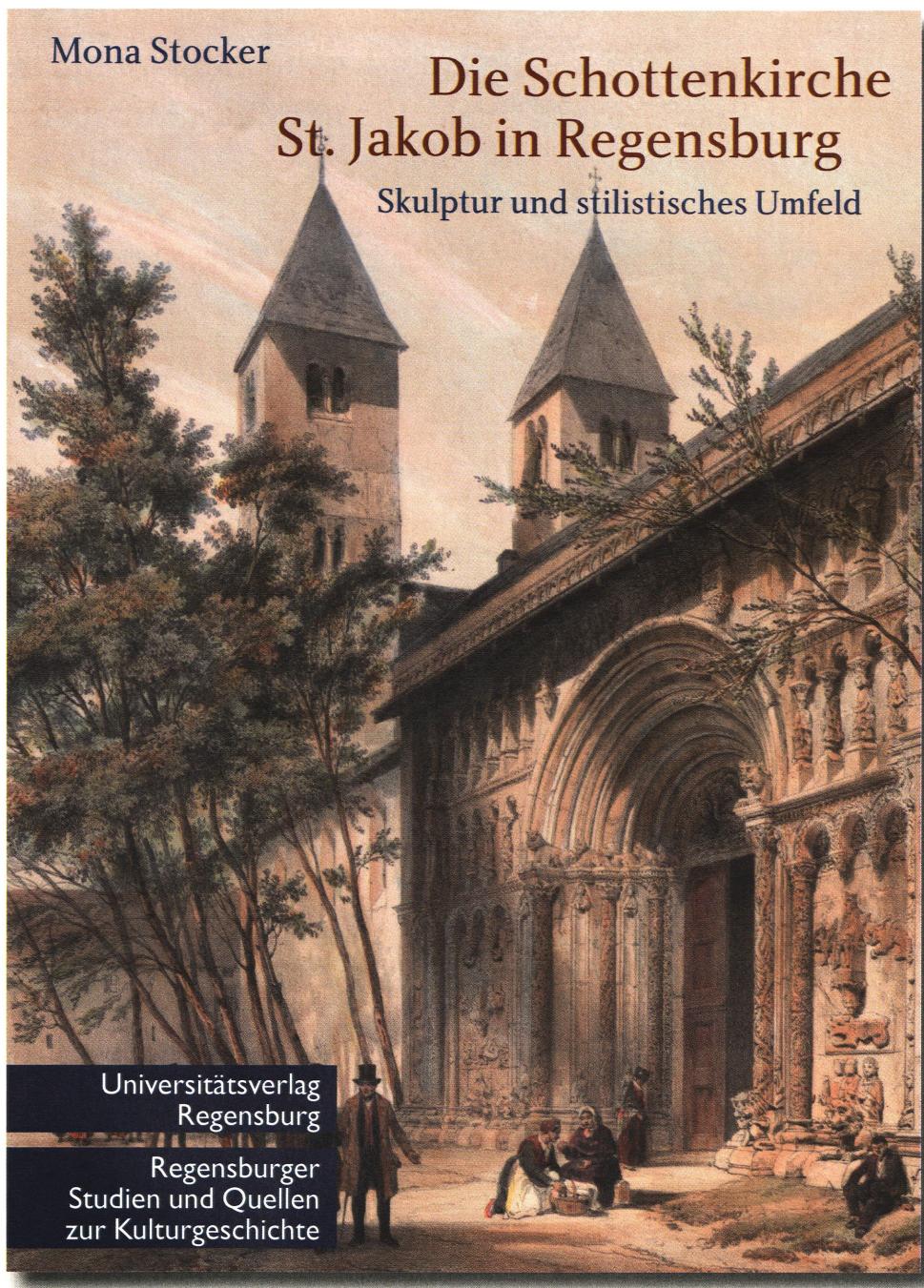
Der Fachverlag für Kultur-,
Geistes- und Sozialwissenschaften

Die größte Naturkatastrophe in der jüngeren Erdgeschichte Europas prägte nicht nur die Meteoritenkrater Nördlinger Ries und Steinheimer Becken, auch in der östlichen Nachbarschaft hinterließ sie zahlreiche Dokumente: Krater, neue Gesteine, Verkieselungen, Eisen, Lehme, Bentonit, Kaolin und eigenartige Landschaftsformen.

Sie wurden vor 30 Jahren entdeckt und seitdem gründlich erforscht. Die meisten Dokumente sind leicht zu erkunden und finden sich vorwiegend in stillen, naturnahen Gebieten. Wir zeigen die Wege.

Der Fachverlag für Kultur-,
Geistes- und Sozialwissenschaften

„... so wunderbare hieroglyphische Arabesken...“



Durch den gleichwertigen und gleichgewichtigen Zugriff von Methoden der Quellenkritik, Bauforschung und Stilanalyse gelang es der Autorin, Herkunft, Ausstrahlung, Bedeutung und Zeitstellung der Bauplastik der Schottenkirche St. Jakob in Regensburg und ihres Kreuzgangs neu einzustufen. Irische Mönche hatten hier eine herausragende Anlage staufischer Bau- und Dekorationskunst geschaffen.

Regensburger Studien und Quellen zur Kulturgeschichte 12

Herausgegeben von den Museen und dem Archiv der Stadt Regensburg

384 Seiten, mit über 500 Abbildungen

Überall im Buchhandel

Remigration des Wissens

Anfänge der molekularen Biologie in Regensburg

Wissenschaftsgeschichte

Molekularbiologische Fragestellungen und Techniken stehen heute im Mittelpunkt vieler Naturwissenschaften. In Deutschland verzögerte sich, verglichen mit der Entwicklung in den USA oder Großbritannien, die Etablierung des Faches. Flucht und Vertreibung zahlreicher Forscher aus Nazideutschland sowie die Folgen des Zweiten Weltkriegs hinterließen ein in vielen Bereichen verwaistes Land. Beim Wiederaufbau spielte die »wissenschaftliche Entwicklungshilfe«, die von den ins Ausland emigrierten Forschern geleistet wurde, eine wichtige Rolle. Rainer Jaenicke, von 1970 bis 1999 Professor für Biochemie an der Universität Regensburg, berichtete im Rahmen eines Interviews von den Anfängen der molekularen Biologie in Deutschland und in Regensburg.

Die Entstehung der Molekularbiologie lässt sich nicht auf ein einziges Ereignis zurückführen, vielmehr stellt ihre Geschichte eine Vernetzung verschiedener Ansätze und Einflüsse dar. Als methodologische Fortentwicklung der klassischen Biologie, basierend auf chemischen und physikalischen Erkenntnissen und Anwendungen, hat sie sich seit der Mitte des 20. Jahrhunderts vielen biologischen Disziplinen als Teildisziplin eingegliedert. Ob Genetik, Biochemie, Mikrobiologie oder Biotechnologie, die Molekularbiologie durchzieht die biologischen Wissenschaften als experimentelles und theoretisches Paradigma.

Die Anfänge einer neuen Disziplin sind immer mit Schwierigkeiten verbunden. Es gilt die neuen Ideen gegen traditionelle Denk- und Arbeitsweisen durchzusetzen und sich im Kampf um knappe Ressourcen zu behaupten. Im Falle der molekularen Biologie kam noch ein weiteres Problem hinzu: Die Anwendung physikalischer und chemischer Instrumente und Methoden auf biologische Fragestellungen machte ein interdisziplinäres Arbeiten unerlässlich. Nur durch das Miteinander, durch den Austausch von Wissen war es möglich, Antworten zu finden. In Deutschland gestaltete sich die Entwicklung der Molekularbiologie als eigenständige Disziplin schwierig. Nationalsozialismus und Zweiter Weltkrieg wirkten sich massiv auf Wissenschaft und Forschung aus und führten im Vergleich zu den USA oder Großbritannien, wo seit den vierziger Jahren die Begründer des Faches am Werk waren, zu einer verzögerten Etablierung.

Mit der Machterobernahme durch die Nationalsozialisten begann 1933 im ganzen Land ein Prozess der »intellektuellen Migration«. Das »Gesetz zur

Wiederherstellung des Berufsbeamtentums« vom 7. April 1933 bildete die Grundlage für die Entlassung jüdischer und »nichtarischer« Hochschullehrer sowie politisch unerwünschter Personen aus dem öffentlichen Dienst. Das Gesetz wurde auch auf die Angestellten der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, der Vorgängerinstitution der heutigen Max-Planck-Gesellschaft, angewandt. Auf diese Weise verloren beispielsweise mehr als 25 Prozent aller in staatlich finanzierten Einrichtungen beschäftigten Chemiker ihre Arbeit und wurden so zur Emigration gezwungen. Bei den Biologen waren es immerhin noch 13 Prozent. Dabei beziehen sich diese Zahlen lediglich auf bereits renommierter Wissenschaftler. Nimmt man die zahlreichen jungen, noch unbekannten Nachwuchsforscher dazu, lässt sich ermessen, welches Ausmaß diese Massenemigration tatsächlich hatte und wie viele brillante Denker und hervorragende Wissenschaftler Deutschland damals verlor. Die Fachgebiete, die sich zur Molekularbiologie entwickelten, waren davon besonders stark betroffen. Denn diese neuen Gebiete, die eine forschungsbezogene Alternative zur Medizin darstellten, hatten in großer Zahl Nachwuchswissenschaftler angezogen, die aus jüdischen Familien stammten. Eine rein quantitative Betrachtung wird den damaligen Ereignissen natürlich keinesfalls gerecht; die viel bedeutenderen qualitativen Aspekte jedoch sind nur schwer greifbar, waren aber fraglos sehr weitreichend. Denn das Wissen und Können, das die aus dem Land vertriebenen Forscher ins Exil mitnahmen, ging den Zurückbleibenden verloren.

»Die Situation war ja die, dass die Leute, die das Fach ›Physiologische Chemie‹ – wie die Biochemie ursprünglich genannt wurde – vorangestellt haben, zu einem großen Teil 1933, sofern sie an Universitäten beschäftigt waren, als Juden ihre Stellung verloren hatten. Einige von ihnen wurden dank einer raschen Initiative des Direktors der London School of Economics, Sir William Beveridge, in einer sehr flinken Aktion der Engländer gerettet. Es wurde ihnen nämlich die Möglichkeit gegeben, nach England und von dort in andere Länder zu emigrieren. Dass sich in der Biochemie so viele Juden getummelt haben, lag daran, dass viele von ihnen nach ihrer Emancipation Mediziner wurden. Diejenigen, die wissenschaftliche Interessen hatten und nicht primär Patienten versorgen wollten, engagierten sich automatisch auf Gebieten der medizinisch angewandten Chemie, das heißt der physiologischen Chemie oder Biochemie. Viele von ihnen wurden von den Nazis umgebracht; die-



Rainer Jaenicke, geb. 1930, konnte als Student und junger Professor die Anfänge der molekularen Biologie in Deutschland auch im eigenen Fach, der Biochemie, mitgestalten.

jenigen, die das Glück hatten, ein Affidavit, also die Bürgschaft eines Einwohners des Ziellandes zu bekommen, emigrierten und gingen so der Wissenschaft in ihrem Heimatland verloren. Es waren damals großenteils junge, noch kaum bekannte Leute. Zum Beispiel Hans Adolf Krebs, der Entdecker des Zitronensäurezyklus; er ging nach Cambridge, dann nach Sheffield und später nach Oxford. Dann Wilhelm Feldberg, der an Acetylcholin forschte; Hermann Blaschko, der sich mit Adrenalin beschäftigte; Max Perutz, aus Österreich emigriert und 1936 in Cambridge sesshaft geworden, Strukturaufklärung von Hämoglobin; Hermann Lehmann, Hämoglobin-Heterogenität; Ernst Boris Chain, Penicillin; Bernhard Katz, Neurophysiologie; Ludwig Guttmann, Neurochirurgie; Edith Bülbring, Muskelphysiologie. All diese Leute sind herausgeworfen worden. Und die Posten dieser meist jungen Forscher wurden natürlich dann zum Teil von zweitklassigen Leuten besetzt, die sich freuten, dass sie Karriere machten. Als Parteigenossen waren sie nicht unbedingt prädestiniert, gute Wissenschaftler zu sein.«

Während des Kriegs kam die Forschung in vielen Bereichen fast völlig zum Erliegen. Wissenschaftler und Studenten waren zum Militär eingezogen worden, ein Großteil der Gebäude und Laboratorien wurde zerbombt, und finanzielle Unterstützung gab es nur für kriegsrelevante Forschungsgebiete. Der Kapitulation Deutschlands im Mai 1945 folgte eine zweite Emigrationswelle. Diesmal waren es Wissenschaftler, die ihre ›besten Jahre‹ nicht dem Wiederaufbau opfern wollten und angesichts der schlechten materiellen Situation hierzulande keine Zukunft für ihre Forschung sahen.

Nach Kriegsende begannen die in Deutschland gebliebenen Wissenschaftler, Lehre und Forschung unter den schwierigen Verhältnissen fortzusetzen oder neu aufzubauen. Die finanziellen Probleme waren dabei verhältnismäßig schnell wieder in den Griff zu bekommen, da beispielsweise die USA den Wiederaufbau Westdeutschlands förderten. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft wurde bereits 1949 wieder aktiv und unterstützte Forschung in den verschiedensten Disziplinen. Auch die Max-Planck-Gesellschaft war bald in einer relativ guten finanziellen Lage. An die Durchführung teurer Großprojekte war jedoch noch nicht zu denken.

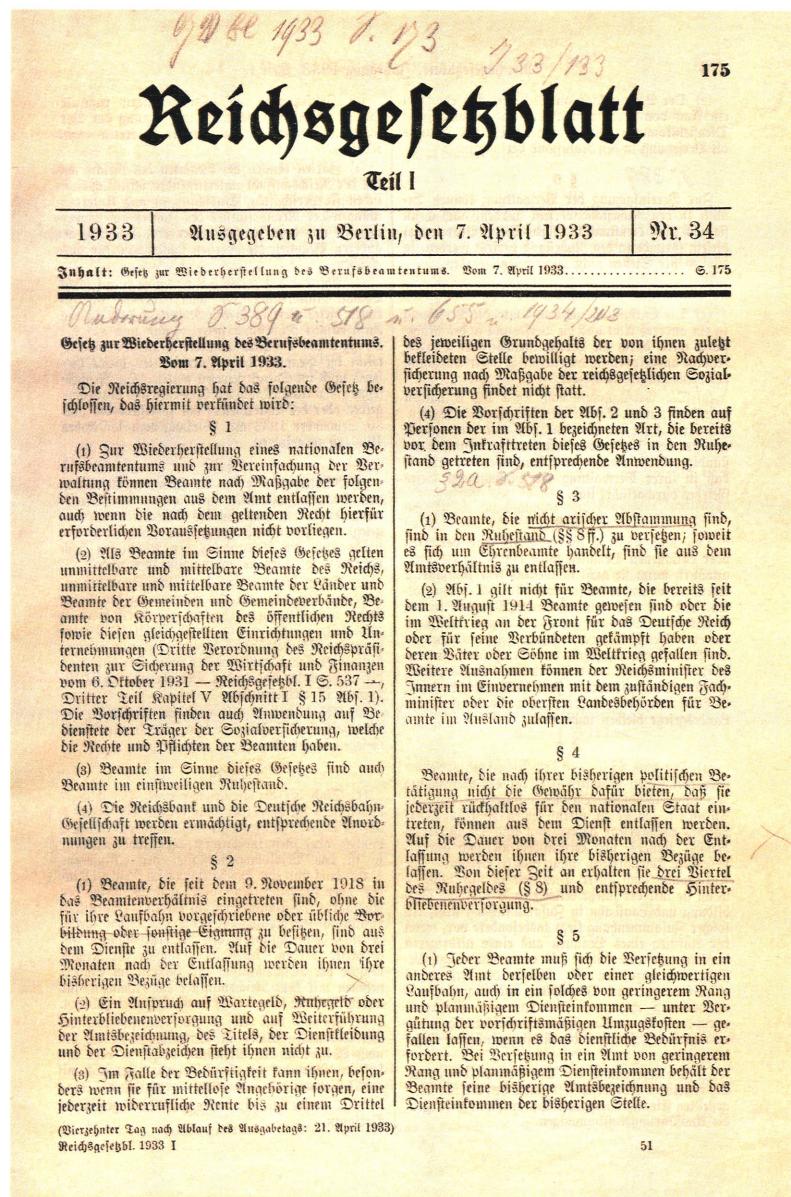
»Die Finanzierung durch die Länder und die Deutsche Forschungsgemeinschaft ging mit nur kurzer Zäsur praktisch kontinuierlich weiter – alles natürlich auf kleiner Flamme. Ähnlich wie es heute in Entwicklungsländern ist, konnte man keine großen Projekte schmieden und konzentrierte sich auf das, was man mit wenig Geld machen konnte: Der Faraday-Käfig, den ich für dielektrische Messungen bei meiner Diplomarbeit 1953 brauchte, bestand immer noch aus einem alten Teerfass. So etwas kann heilsam sein, weil es erfinderisch macht, und es gibt genug Beispiele, die zeigen, dass man relevante Forschung mit geringen Mitteln betreiben kann. Die Biochemie war dabei in einer relativ glücklichen Lage. Denken Sie an Namen wie Feodor Lynen, Theodor Wieland und viele andere, die sich vor allem mit der Isolierung und Charakterisierung von Naturstoffen, wie Peptiden, Vita-

minen oder Proteinen, sowie dem Fettsäurestoffwechsel beschäftigt haben. Einige dieser Gebiete sind heute, in der Zeit der Großgeräte und der Mega-Euro-Forschung, fast eingeschlafen, obwohl da noch sehr viel zu tun wäre. Insofern war das karge Umfeld nicht notwendigerweise ein inhibitorischer Faktor. Es lag mehr an der Frage, wie gut ist die Ausbildung, wie bringt man Studenten dazu, kritische Wissenschaftler mit weitem Horizont zu werden? Das war das große Problem, wenn man bei mittelmäßigen Professoren studierte oder wenn bei den wachsenden Studentenzahlen zu wenig Dozenten da waren. Als ich studierte, hatte mein Doktorvater an die 100 Studenten, Diplomanden und Doktoranden; es gab eben nur einen Physiko-chemiker. Woher sollte man mehr nehmen, nach dem Aderlass? Das waren damals die Hauptprobleme neben dem Nachholbedarf an wissenschaftlicher Information nach der Isolierung während des Dutzendjährigen Reiches.«

Noch weitaus problematischer war es, die intellektuellen Lücken zu füllen, die die Flucht der Wissenschaftler hinterlassen hatte. Dabei waren klassische Disziplinen wie die anorganische und organische Chemie oder auch verschiedene biologische Fächer betroffen.

1

Auszug aus dem am 7. April 1933 von den Nationalsozialisten erlassenen Gesetz zur Wiederherstellung des Berufsbeamtenstums, auf dessen Grundlage zahlreiche Wissenschaftler aus den Hochschulen und den Instituten der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft ihre Arbeit verloren. Mehr als ein Viertel aller in vom Staat finanzierten Einrichtungen beschäftigten Chemiker sowie 13 Prozent der Biologen wurden entlassen und so zur Emigration gezwungen.



gische und medizinische Forschungsbereiche (Populationsbiologie, Hygiene- und Gesundheitswissenschaften) von der Emigrationswelle lange nicht so stark betroffen wie die Biochemie und deren Grenzgebiete, in denen es einen kompletten Neuanfang zu bewältigen galt. Denn hier war ein intensiver wissenschaftlicher Austausch besonders wichtig, Deutschland aber war von diesen länderübergreifenden ›Wissensnetzen‹ weitgehend ausgeschlossen. In den ersten Jahren nach dem Krieg wurde den Deutschen die Teilnahme an internationalen Kongressen nur in sehr beschränktem Maß gestattet, zudem wollten viele der Emigranten auch nicht nach Deutschland kommen. Ein Grund hierfür war, dass trotz der ›Entnazifizierungsaktionen‹ viele ehemalige NSDAP-Mitglieder ihre Stellen an den Universitäten behielten, was bei den Vertriebenen auf völliges Unverständnis und teilweise auch Verbitterung stieß. Auf Grundlage des Artikels 131 des Grundgesetzes war sogar eine Regelung der Rechtsverhältnisse all jener, die im Zuge der politischen Säuberung nach 1945 aus ihren Ämtern entlassen worden waren, durch Bundesgesetz vorgesehen. Das hieß also, dass Personen, denen nationalsozialistische Aktivitäten sogar nachgewiesen werden konnten, trotzdem noch offiziellen ›Schutz‹ genossen.

›Unter den Folgen hat Deutschland ganz extrem gelitten. Die Leute saßen aufgrund ihres Beamtenstatus bald wieder auf ihren Lehrstühlen – eine neuerliche Form der ›Wiederherstellung des Beamtentums‹. Damit wurde über lange Frist etwas zementiert, das natürlich auch das gesamte Umfeld stark bestimmt hat. Da saßen nun Leute, die natürlich kein Interesse daran hatten, ins Ausland gegangene Konkurrenten, die vielleicht gerne zurückgekommen wären, wieder zurückzuholen. Es gab wohl Dringenderes zu tun, so dass das Wichtige unterblieb. Man war, ähnlich wie nach dem Ersten Weltkrieg, vorrangig daran interessiert, die Ruhe im Land zu erhalten und die vorhandenen Schwierigkeiten nicht dadurch zu vermehren, dass man Leute auf die Straße setzt und mit der Ungewissheit lebt, ob die Leute, die man zur Rückkehr zu bewegen versucht, überhaupt kommen. Die

Arbeitsbedingungen waren ja mehr als klaglich; man konnte nicht voraussetzen, dass jemand, der sich als Immigrant mit großer Mühe in Amerika etabliert hatte, ein Interesse daran hatte, in sein Heimatland zurückzukehren, wo Forschung, die ja teuer ist und teurer und teurer wird, nicht sicher finanzierbar war. All diese Überlegungen mögen mit einer Rolle gespielt haben. Man darf das also jetzt nicht so sehen, dass da diese mediokren Wissenschaftler waren, die nicht wollten, dass die Emigranten zurückkommen.«

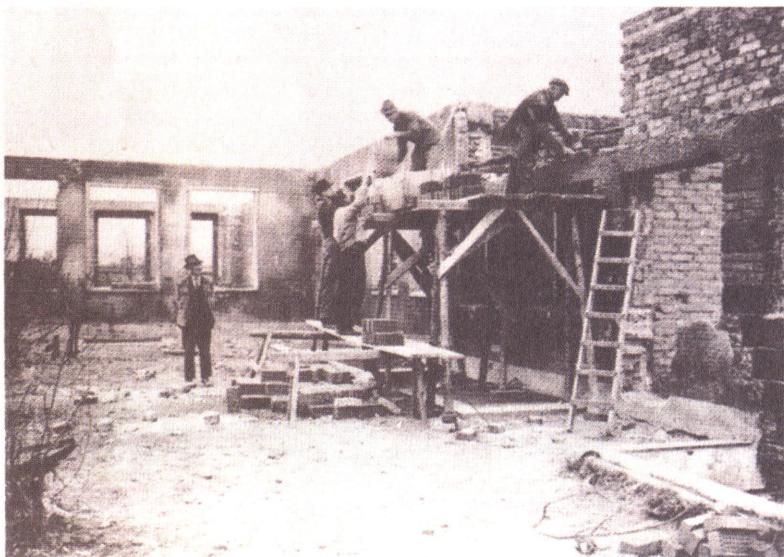
Nur etwa vier Prozent der emigrierten Akademiker kehrten als aktive Hochschullehrer nach Deutschland zurück. Eine offizielle Rückberufung der Flüchtlinge wurde nicht einmal in Erwägung gezogen. Natürlich gab es aber auch unter denen, die in Deutschland geblieben waren, hervorragende Leute, längst nicht alle von ihnen waren wissenschaftliches Mittelmaß.

Die Wissenschaftler, die nicht zur Emigration gezwungen waren, entschlossen sich meist sehr bewusst dazu, in Deutschland zu bleiben. Viele von ihnen hätten durchaus die Möglichkeit gehabt, ins Ausland zu gehen und dort an renommierten Universitäten und Instituten, fern von Krieg und Zerstörung, ihre Forschung fortzuführen. Adolf Butenandt beispielsweise, damals Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Biochemie in Tübingen, erhielt 1947 einen Ruf an die Universität Basel. Doch die finanzielle Unterstützung der deutschen chemischen Industrie sowie eine Geldspende seiner Tübinger Kollegen bewogen ihn, zu bleiben. Butenandt selbst begründete seine Entscheidung damit, dass er sich der Jugend, der deutschen Wissenschaft und den Universitäten verpflichtet fühlte. Ähnlich wie er sahen viele weitere, oft international renommierte Forscher ihre Aufgabe darin, die wissenschaftlichen Standards in Deutschland aufrechtzuerhalten und ihre jüngeren Kollegen zu unterstützen. So lehnte der Biochemiker Feodor Lynen einen Ruf an die Harvard University ab und wurde 1953 Professor in München.

›Ein extrem wichtiger Punkt in der Notlage nach dem Krieg war zunächst der mühsame Wiederaufbau samt dem Versuch, so rasch wie möglich junge Leute auszubilden, besonders zu guten Lehrern. Es war natürlich extrem wichtig, dass wenigstens die nächste Generation wieder zum Zuge kommt. Damit kam auch die Forschung wieder in Gang, sowohl an den Universitäten als auch an den Max-Planck-Instituten. Diese haben im Laufe der Jahre dann den Universitäten mehr und mehr den Rang abgelaufen, an denen ja Lehre und Forschung eng verknüpft sind und Forschung primär Teil der Graduiertenbildung ist. Aus diesem Grund begann zugleich mit dem Wiederaufbau der Hochschulen auch die Forschung wieder in allen Bereichen, einschließlich Biochemie, Biophysik und Physiologische Chemie, und zwar sobald die Universitäten wieder geöffnet wurden. Es gab kein lang andauerndes Vakuum, sondern man machte sich mit der Finanzierung der Länder sofort wieder an die Arbeit, wohlgemerkt nicht ohne Eigenhilfe: Ich habe meinen Physik-Hörsaal noch eigenhändig von Trümmern geräumt, das war eine Auflage. Man bekam keinen Studienplatz ohne diese Mit-

2

Wie hier in den Ruinen der Regensburger Messerschmittwerke, in denen nach dem Krieg die ersten Institute der Theologisch-Philosophischen Hochschule entstanden, mussten Studenten vielerorts am Aufbau der Universitäten selbst mithelfen.



hilfe. Das heißt, man musste selbst für die Möglichkeiten sorgen, zunächst einmal irgendwo sitzen zu können **2**. Lehrbücher waren eine große Rarität. Doch der Wille, Kultur wieder auf die Beine zu bringen, war unglaublich stark. Ich habe mit Leuten zusammen Abitur gemacht und studiert, die gerade aus dem Krieg kamen. Die haben in einem Maße Freude ausgestrahlt, dass sie endlich sinnvoll arbeiten und etwas lernen durften, das war unbeschreiblich und ansteckend.«

Natürlich gab es unter den Emigranten auch Forscher, die die Verbindung zu ihrer früheren Heimat nicht völlig abbrachen und sogar aktiv die Wissenschaft in Deutschland unterstützten. Hans Krebs, der 1933 nach Großbritannien ausgewandert war, half dem jungen Biochemiker Theodor Bücher, Publikationen in Zeitschriften unterzubringen, ferner schrieb er Feodor Lynen ein Empfehlungsschreiben für die Übernahme einer Professur an der Harvard University. Ernst Boris Chain, ebenfalls 1933 nach England, später nach Rom emigriert, kam regelmäßig nach Deutschland zurück, um frühere Kollegen zu besuchen und mit der deutschen chemischen Industrie zusammenzuarbeiten. Fritz Lipmann, der über Kopenhagen in die USA ausgewandert war, lud viele deutsche Postdoktoranden zu sich an die Rockefeller University in New York ein und ermöglichte diesen so eine Ausbildung auf einem Niveau, das ihnen in Deutschland kaum zugänglich gewesen wäre. All diesen Aktionen war eines gemeinsam: Aus Deutschland vertriebene Forscher gaben ihr Wissen und Können an junge deutsche Nachwuchswissenschaftler weiter und trugen so maßgeblich zur Etablierung der im Entstehen begriffenen Molekularbiologie an deutschen Hochschulen und Forschungsinstituten bei.

»Das setzte natürlich voraus, dass sie Geld hatten, um Postdoktoranden zu finanzieren. Dazu brauchten sie erst einmal eine unabhängige Position und Forschungsmittel, was beides nicht selbstverständlich war. Wenn sie erfolgreich waren, hatten sie meist in England oder den USA Schulen geschaffen und konnten zusätzliche Mitarbeiter aufnehmen. In England war um Hans Krebs ein ganzes Zentrum entstanden, ähnlich in Amerika um Fritz Lipmann. Diese Leute hatten eine einmalige Ausstrahlung. Viele von ihnen hatten den Nobelpreis bekommen und waren schon aus diesem Grunde als Karrierekatalysatoren von Postdoktoranden umschwärmmt. Wenn sie Stellen zu vergeben hatten oder wenn die Deutsche Forschungsgemeinschaft das Geld dazu gab, haben sie großzügig geholfen und damit so etwas wie ‚wissenschaftliche Entwicklungshilfe‘ geleistet. Dieser Wissenstransfer hat sich insofern gelohnt, als zum Beispiel das Arbeitsgebiet von Fritz Lipmann dann auch in Deutschland florierte. Lipmann beschäftigte sich mit der Aufklärung biochemischer Reaktionen und Mechanismen des intermediären Stoffwechsels, insbesondere mit der Energieübertragung und mit der Biosynthese von Oligopeptiden. Er saß am Ende seines Lebens inmitten eines ganzen Nests von hervorragenden Leuten, die er ausgebildet hatte, und die wieder eigene Teams gebildet hatten, in denen die nächste Generation lernte oder gar das Gelernte in Technologie umsetzte.«



3

Prof. Hansjochem Autrum, Zoologe aus München (links im Bild), war 1965 Vorsitzender des Strukturbeirats der Universität Regensburg und hat maßgeblich zur wissenschaftlichen Ausrichtung der Universität Regensburg beigetragen. Am 8. Mai 1987 erhielt er die Ehrendoktorwürde der Universität. Die Urkunde überreichte ihm Prof. Waldemar Moll, damals Dekan der Naturwissenschaftlichen Fakultät III – Biologie und Vorklinische Medizin. Prof. Autrum verstarb am 23. August 2003 im Alter von 96 Jahren.

Der Wissenstransfer durch im Ausland ausgebildete Postdoktoranden, die dann wieder nach Deutschland zurückkamen, um hier eigene Arbeitsgruppen aufzubauen, war von zentraler Bedeutung für die molekulare Biologie. Denn dort hatten sie neben dem Erwerb rein theoretischen Wissens zusätzlich die Gelegenheit bekommen, sich labortechnisches Know-how anzueignen. Außerdem erlernten sie im Ausland die nötigen ›social skills‹, insbesondere Teamfähigkeit. Mit ihrer Rückkehr brachten diese ›Wissenschaftler der Zweiten Generation‹ neue Methoden, Fragestellungen und Instrumente nach Deutschland mit, die sie dann an ihren jeweiligen Lehrstühlen einführten.

Einer dieser ›Wissenschaftler der Zweiten Generation‹ war Rainer Jaenicke, der von 1970 bis 1999 den Lehrstuhl für Biochemie II (Biophysik und Physikalische Biochemie) an der Universität Regensburg innehatte. Mit der 1962 als vierte bayrische Landesuniversität gegründeten Hochschule sollte der wachsende Bedarf an Studienplätzen gedeckt werden. Über alle Fachrichtungen und Fakultäten hinweg war es an den bayerischen Universitäten zu gravierenden Engpässen in der Ausbildung von Studenten gekommen. Auch die Medizin war davon betroffen, insbesondere im Grundstudium. Bereits für die erste Ausbaustufe der Universität Regensburg hatte man daher die Einrichtung eines vorklinischen Studienganges und der damit verbundenen naturwissenschaftlichen Fächer geplant. Die Biologie, damals schon als mögliches Schwerpunkt fach definiert, sollte in den weiteren Ausbaustufen auf zunächst vier, später dann sechs Lehrstühle erweitert werden.

»Nachdem der Landtag beschlossen hatte, Regensburg wird zur Universitätsstadt, setzte der damalige Kultusminister Ludwig Huber einen Strukturbeirat ein. Ministerialrat Kraft, ein außergewöhnlich agiler Mann, machte die Neugründung dann wirklich zu seiner Herzenssache. Dem Beirat gehörten auch sechs Professoren der Universität München an, darunter erstklassige Naturwissenschaftler: Hansjochem Autrum **3** war einer der führenden Neurophysiologen, der Biochemiker Feodor Lynen Nobelpreisträger, Heinz Maier-Leibnitz und später Wolfgang Wild, beide als hervorragende Physiker weithin bekannt. Diese haben – was völlig natürlich und absolut gerechtfertigt ist – nicht irgendwo in der Ferne nach Kandidaten Ausschau gehalten, sondern sich in ihrem eigenen Arbeitskreis umgesehen, so dass viele der

Schwerpunkt Naturwissenschaften

1948 der Regensburger Universitätsverein wird gegründet
 1962 Gründung der Universität Regensburg
 1964 die Universitätsbibliothek nimmt ihre Tätigkeit auf
 1965 Grundsteinlegung für das erste Universitätsgebäude
 1966 die ersten Berufungskommissionen nehmen ihre Tätigkeit auf

1967 Aufnahme des Studienbetriebs in zunächst zwei, später drei Fakultäten
 1968 die Naturwissenschaftliche Fakultät wird errichtet, ebenso der zu ihr gehörige Fachbereich Biologie
 1971 das Biologiegebäude wird fertiggestellt
 1974 Fertigstellung der ersten beiden Bauteile des Chemiegebäudes
 1978 Grundsteinlegung für das Klinikum

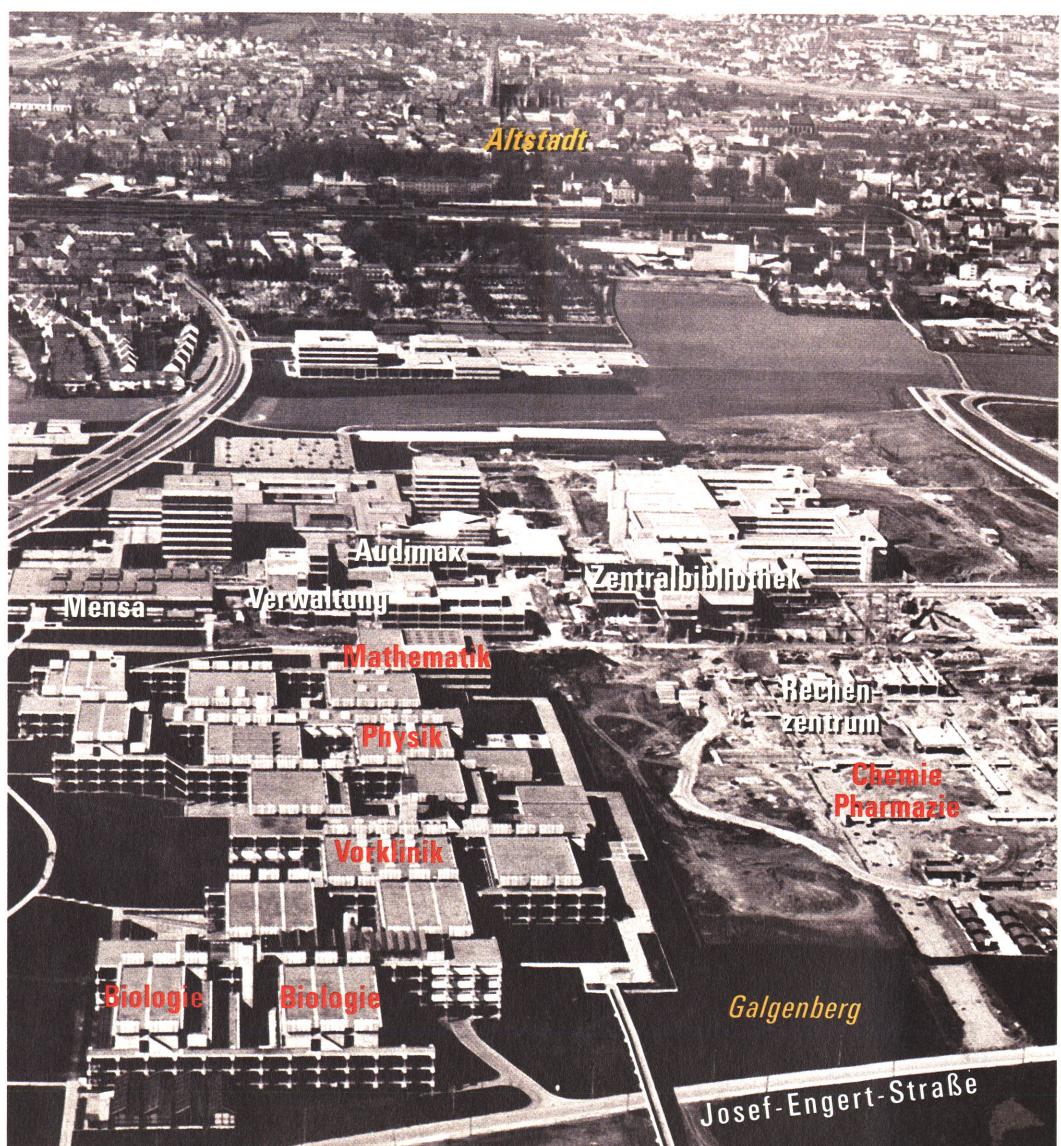
zuerst berufenen Biologen und Chemiker aus München kamen, Importe von Autrum und Lynen, später auch von Otto Kandler. Am Beispiel von Hansjochem Autrum, einem der ersten, der sich mit elektrophysiologischen Untersuchungen zur Empfindlichkeit von Sinneszellen beschäftigte, lässt sich der Vorteil demonstrieren: Von seinen Schülern oder Enkelschülern betrieb Helmut Altner elektronenmikroskopische Topographie, Jürgen Boeckh kümmerte sich um den Geruchssinn von Insekten, und Dietrich Burkhardt konzentrierte sich auf das Sehen. Autrum wusste, das sind hervorragende Wissenschaftler, die sich auch in der Lehre engagieren. Dazu kam: Die kenne ich, auf die kann man sich verlassen, das sind fleißige Leute, keine Primadonnen. Die lassen sich nicht

gleich wieder wegberufen und nehmen Regensburg nur als Sprungbrett. Obendrein bringen sie die unterschiedlichsten Forschungsmethoden mit. All das sind wichtige Punkte für einen Neuanfang. Autrum  hatte die richtige Nase: Alle drei haben hier angefangen und waren bis zu ihrer Emeritierung wichtige Eckpfeiler der Fakultät. In der Biologie, möchte ich behaupten, hatten alle meine Kollegen, die bei ihrer Berufung meist um 40 oder jünger waren, internationalen Rang. Im Laufe der Jahre wurde eine ganze Anzahl von ihnen als Mitglieder verschiedener Akademien und Editorial Boards internationaler wissenschaftlicher Zeitschriften gewählt.

Ich war an einigen der Berufungen beteiligt, und daher kann ich mit Bestimmtheit sagen, dass

4

Das Universitätsgelände aus der Luft auf einer Aufnahme vom April 1973. Neben den 1967 fertiggestellten Gebäuden des so genannten Stammgeländes im Norden der Anlage waren auch schon die Gebäude der Naturwissenschaftlichen Fakultät erbaut. In der Biologie hatten Forschung und Lehre bereits begonnen. Der gesamte Chemie- und Pharmazietrakt sowie das heutige Rechenzentrum und die Zentralbibliothek waren hingegen noch Baustelle. Die räumliche Nähe der einzelnen Institute auf dem Campus förderte die Kooperation der Arbeitsgruppen und vereinfachte die Durchführung interdisziplinärer Forschungsprojekte.



die ›Königsmacher‹ aber keinen Finger für ihre Prinzen gerührt haben. All diese Entscheidungen wurden und werden grundsätzlich autonom von den Universitäten getroffen. Ich habe meinen Vortrag, bevor ich den Ruf nach Regensburg bekam, in München gehalten. Da saß Herr Lynen in der ersten Reihe und hat Fragen gestellt. Außerdem war der erste Sprecher des Fachbereichs Biologie und Vorklinische Medizin der Regensburger Universität, der spätere Rektor Professor Altner, anwesend sowie der Dekan der Gesamtfakultät und der bereits berufene Biochemiker für den Vorklinischen Bereich, Professor Eggerer. Das waren die autonomen Vertreter der im Werden begriffenen Fakultät. Sie dürften bei der Entscheidung mitgewirkt haben.«

Auffallend war, dass es sich bei allen von der Berufungskommission ausgewählten Leuten um Wissenschaftler handelte, die sich bei Gastaufenthalten im Ausland mit dem neuesten Wissen ihres Fachgebiets sowie mit Forschungsorganisation und Teamarbeit vertraut gemacht hatten. Um so erstaunlicher ist es, dass es diese qualifizierten Forscher ausgerechnet nach Regensburg zog und dass sie Angebote renommierter Hochschulen ablehnten. Regensburg war ja Ende der sechziger Jahre noch völlig unbekannt in wissenschaftlichen Kreisen, war ein Campus, der eben erst vom Reißbrett auf die grüne Wiese transferiert worden war **4, 5**. Doch gerade die Möglichkeiten, die eine so junge Universität bot, bewog die Bewerber zu ihrem Entschluss.

›Eine große Rolle hat sicher gespielt, dass viele Bewerber es von ihrer im Ausland, insbesondere in den USA, gemachten Erfahrung her attraktiv fanden, dass hier keinerlei Zöpfe abzuschneiden waren. Es gab keine Roben, es gab nichts Überkommenes. Als ich ankam, da hatten die Juristen schon Roben angeschafft. Die haben wir einmal ausgeliehen, um Fasching zu feiern, sonst sind sie nie in Erscheinung getreten. Ein weiterer Aspekt war die Struktur der Fakultät. Die Lehrstühle in der Biologie wurden nicht auf Botanik, Zoologie oder Mikrobiologie festgelegt, sondern hießen einfach Biologie I, II, III, IV usw. Man wollte die Flexibilität erhalten und sicher gehen, dass man nicht eine Richtung etabliert, die unter Umständen nach 20 Jahren überholt ist. Man wollte Biologen haben, die vorne an in ihrem Thema waren und, wenn möglich, auch in ihrer Qualität. Ein dritter Punkt: Man konnte noch mitbestimmen, sowohl beim Bauen als auch bei der Auswahl der neu zu berufenden Kollegen und bei der Gestaltung der Lehre. Nachdem eine Anzahl von Wissenschaftlern schon da war, konnte man sich vorstellen, dass sich da Kooperationen anbieten, einfach von der Offenheit und dem Sachinteresse der Erstberufenen her. Tatsächlich haben wir uns nicht getäuscht. Ich bin wegen dieser hervorragenden Bedingungen in Regensburg geblieben – aber wohl auch, weil man bei einer Neugründung eine Art von Familiensinn entwickelt, den man zumindest vor der Globalisierung auch noch in alten Industriebetrieben finden konnte.«

Neben den rein wissenschaftlichen Aspekten spielte auch die Stadt eine große Rolle. Der Charme

der Altstadt bot eine Umgebung, in die man Fachkollegen gerne einlud. Die mittelalterliche Stadt an der Donau blieb Teilnehmern von Tagungen in guter Erinnerung und vereinfachte das Anwerben von Gastdozenten.

›Entscheidend für die Anfänge der molekularen Biologie in Regensburg war sicher auch die Alexander von Humboldt-Stiftung, weil sie uns von Anfang an die Möglichkeit gegeben hat, Wissen-



schaftler aus den USA, Frankreich oder Russland für längere Aufenthalte als Gastprofessoren in unsere Arbeitskreise zu lotsen und so das Defizit an experimentellen Techniken wie auch an Informationen oder Verbindungen zu decken. Wir hatten im Laufe der Jahre viele auf ihrem jeweiligen Gebiet führende Wissenschaftler zu Besuch. So konnten wir Regensburg zusätzlich auf der Landkarte markieren und international bekannt machen. Andererseits haben die ›Awardees‹ unseren Studenten neue Techniken vermittelt, so dass dann das Know-how auf die ganze Gruppe überging. In unserem Institut war Hans Neurath der erste Gast. Er emigrierte in den dreißiger Jahren in die USA und wurde dort später Professor für Physikalische Biochemie an der University of Washington in Seattle. Als langjähriger Herausgeber von ›Biochemistry‹, einer der wichtigsten internationalen biochemischen Zeitschriften, war er einer der Granden der Biochemie. Er wohnte im ›Haus der Begegnung‹ der Universität, saß täglich viele Stunden im ›Emeritus-Zimmer‹, und alle Mitarbeiter waren eingeladen, reihum bei ihm vorzusprechen und bei Tee oder Kaffee ihre Erfolge und Misserfolge zu diskutieren. Es war einfach ein Vergnügen, ihn zu besuchen, er selber mit seinem immensen Wissen eine Fundgrube. Und Herr Neurath war glücklich, weil er hier europäische Kultur um sich hatte, und weil er hoch geschätzt wurde. Später kamen noch viele andere renommierte Wissenschaftler zu uns.«

Solche Gastprofessuren waren für die Etablierung der Molekulärbiologie in ganz Deutschland von großer Bedeutung. Wer auf diesem Gebiet, das eine Verschmelzung von Teilbereichen mehrerer Disziplinen darstellt, erfolgreich sein wollte, musste sich seine Arbeitsgruppe sorgfältig auswählen und dabei darauf achten, Personen mit möglichst

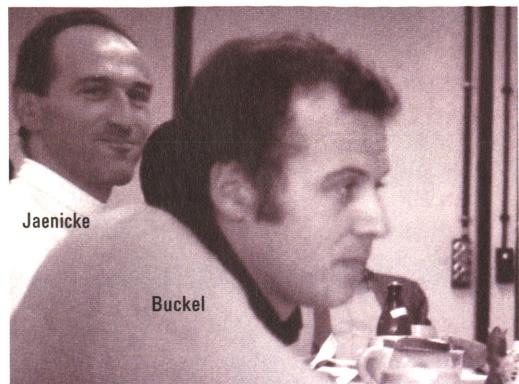
5

Zur Feier anlässlich der Grundsteinlegung der Universität Regensburg am 20. November 1965 waren zahlreiche Gäste aus ganz Bayern geladen. Das Bild zeigt den Vorsitzenden des Strukturbeirats, Prof. Autrum, im Gespräch mit Prof. Sauer, Präsident der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Freiherr von Pölnitz, Gründungsrektor der Universität Regensburg, Kultusminister Huber, Prof. Kotter, Rektor der Universität München sowie Prof. Arnold, Rektor der Universität Würzburg und Prof. Albers, Rektor der Technischen Hochschule München.



Rudolph

Jaenische



Jaenische

Buckel



Schmid

Hinz

Rudolph

6

Momentaufnahmen aus den frühen Jahren von Prof. Rainer Jaenickes Arbeitsgruppe. Viele seiner Studenten sind inzwischen selbst Lehrstuhlinhaber im In- und Ausland.

oben links:

Rainer Rudolph, im Gespräch mit Rainer Jaenische, ist Professor für Biotechnologie in Halle-Wittenberg.

oben rechts:

Rainer Jaenische mit Wolfgang Buckel, jetzt Professor für Mikrobiologie an der Universität Marburg.

unten:

Franz-Xaver Schmid hat an der Universität Bayreuth den Lehrstuhl für Biochemie inne, Hans-Jürgen Hinz ist in Münster Professor für Biophysikalische Chemie.

Dipl.-Biol.

Inken Rebentrost

geb. 1973 in Regensburg. Studium der Chemie und der Biologie in Regensburg. 2000 Erstes Staats-examen (Lehramt Gymnasium) und Biologie-Diplom. Seit 2001 Doktorandin am Lehrstuhl für Wissenschaftsgeschichte an der Universität Regensburg, Promotionsstipendiatin der Ernst-Schering-Forschungsgesellschaft.

Forschungsgebiete:

Wissensentstehung und Wissentransfer, Geschichte der Biotechnologie in Deutschland.

unterschiedlichen Fertigkeiten und Kenntnissen zusammenzubringen, um auf ein breites Spektrum an Wissen – methodischer und inhaltlicher Art – zurückgreifen zu können. Die Struktur der Regensburger Universität, die eine Gliederung in Fakultäten und damit die Aufteilung in verhältnismäßig große Einzelbereiche aufweist, bot in dieser Hinsicht gute Voraussetzungen für den Aufbau der molekularen Biologie. Zudem förderte der nötige organisatorische Zusammenhalt der einzelnen Institute innerhalb der Fakultäten die interdisziplinäre Zusammenarbeit. Gerade diese Teamarbeit und Kooperationsfähigkeit sind nach Rainer Jaenickes Erfahrung wesentlich für die Produktivität eines Instituts. Eine extrovertierte Kultur, wie er sie bei seinen Forschungsaufenthalten in Amerika kennen und schätzen gelernt hatte, prägte auch den Arbeitsstil an seinem Lehrstuhl 6.

»Bei einem Forschungsaufenthalt bei Hans Neurath in Seattle habe ich erfahren, wie wichtig die fachliche Heterogenität der Zusammensetzung eines Instituts ist. Mir kam das Know-how der ganzen Gruppe zugute, und ich konnte darauf in Deutschland aufbauen. In Regensburg arbeiteten in der Physikalischen Biochemie zu meiner Zeit immer fünf oder sechs gleichberechtigte Arbeitsgruppen, nur eine davon leitete ich selbst. Die Idee war, dass jeder spezielle Methoden der Thermodynamik, Kinetik, Spektroskopie, Massenbestimmung, Molekularbiologie und Enzymologie kannte, die er in die verschiedenen Projekte einbrachte. Im Grunde war es wie in einem kleinen Orchester. Im Seminar über laufende Arbeiten konnte man auf diese Art auf produktive Kritik hoffen und unter Umständen gemeinsame Experimente planen. Mit zunächst nur einer einzigen Naturwissenschaftlichen Fakultät bot sich von Anfang an die Möglichkeit, Fachbereichsseminare abzuhalten, was genau in die Richtung geht, die die molekulare Biologie favorisiert. Dort konnten sich die verschiedenen Gruppen vorstellen, und es

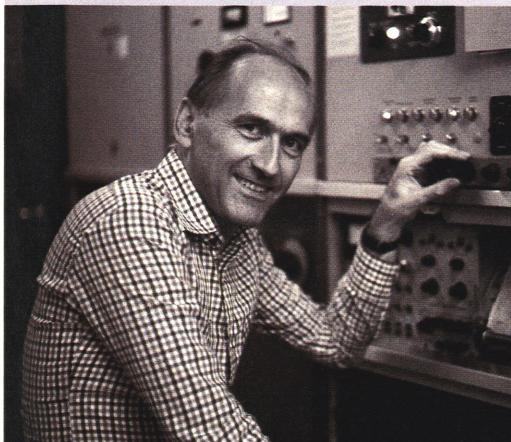
wurde schnell bekannt, was wir machten, und so kamen viele Kooperationen zustande. Bei unserer Kombination von Physik, Chemie und Biologie lag es nahe, dass man zu interessanten Fragestellungen Servicedienste leisten konnte, und über die Jahre hin gab es kaum eine Gruppe, mit der wir nicht zusammen experimentiert haben. Ungefähr 150 Arbeiten entstanden in Kooperation mit anderen Lehrstühlen. Konkurrenz habe ich dabei nie gespürt; ob die Verständigung gelang, hing von der Mühe ab, die man sich gab, erstens, sich verständlich zu machen, und zweitens, sich ernsthaft auf eine Diskussion einzulassen. Man muss eben versuchen, mit den Nachbarn ins Gespräch zu kommen. Dieses Engagement hängt natürlich von Sympathie, Horizont, Neugier und vielen anderen Imponderabilien ab. Als dann 1974 die Naturwissenschaftliche Gesamtfakultät zu Grabe getragen und per Gesetz die Naturwissenschaftlichen Fakultäten I bis IV separiert wurden, blieben die guten Voraussetzungen dennoch erhalten, denn wir saßen ja als Leute, die Mediziner, Biologen, Biochemiker und an Biochemie oder Biophysik interessiert Physiker und Chemiker ausbildeten, wie eh und je in problemlos erreichbarer Nähe auf dem Galgenberg.«

Die Bereitschaft, über den eigenen Tellerrand hinauszuschauen und sich konstruktiv in fachfremden Forschungsprojekten zu engagieren, war unter den Professoren der Regensburger Naturwissenschaften weit verbreitet. Sie bildete eine ideale Basis für erfolgreiche Forschung. Schwerpunkte waren beispielsweise »Struktur und Funktionsweise von Enzymen«, »Biochemie der Photosynthese« oder »Nachrichtenverarbeitung im Zentralnervensystem von Insekten«. Auch waren in Regensburg die Bereiche »Untersuchungen zur Quartärstruktur von Proteinen« und »Nukleinsäureforschung« vertreten, beides international wichtige Gebiete, die in Deutschland in jenen Jahren eher vernachlässigt wurden.

Die während ihrer Auslandsaufenthalte geknüpften Kontakte integrierten die Wissenschaftler

Rainer Jaenicke

1930	geboren in Frankfurt/Main
1948–1953	Studium der Chemie, Physik und Biologie an der Universität Frankfurt/Main
1957	Promotion im Fach Physikalische Chemie
1963	Habilitation für Physikalische Chemie
1967	apl. Professor an der Universität Frankfurt
1967	Research Fellow der European Molecular Biology Organization am Department of Biophysics, King's College, London
1967–1969	Fulbright Visiting Professor, Pittsburgh University, Pennsylvania, USA
1970–1999	Lehrstuhl für Biochemie an der Universität Regensburg



in das Wissensnetz der molekularen Biologen, eine Voraussetzung, um am weltweiten Informationsaustausch beteiligt zu sein und den Forschungsstandort Deutschland so in der neuen Disziplin zu etablieren. Umgekehrt trugen diese ausgedehnten Kommunikationsnetzwerke maßgeblich zur Institutionalisierung der Molekularbiologie in Deutschland bei. Insbesondere einzelne Max-Planck-Institute erbrachten Spitzenleistungen und waren, beispielsweise in den Bereichen Struktur und Funktion von Proteinen, molekulare Genetik, Zellforschung oder auch Neurophysiologie, international führend. Dabei kamen ihnen gleich zwei Vorteile gegenüber den Hochschulen zugute: Zum einen wurden sie finanziell besser gefördert, zum anderen mussten sie nicht mit der Doppelbelastung von Lehre und Forschung zureckkommen. An den Universitäten entstanden ab Ende der sechziger Jahre bundesweit neue Institute und Lehrstühle, die ebenfalls bald international beachtete Beiträge lieferten. Zudem wurden verschiedene Großforschungseinrichtungen geschaffen, so zum Beispiel das Deutsche Krebsforschungszentrum in Heidelberg, das Institut der Gesellschaft für Strahlenforschung in Neuherberg oder auch das Institut für Molekulare Biologie, Biochemie und Biophysik in Stöckheim bei Braunschweig. Es entstanden zahlreiche neue Arbeitsplätze in den Grenzgebieten der Molekularbiologie. Die Remigration des in den dreißiger und vierziger Jahren verloren gegangenen Wissens bedeutete dabei eine ganz spezielle Art von Entwicklungshilfe, eben ›wissenschaftliche Entwicklungshilfe‹.

Neu ApoTome Auf einmal sieht alles anders aus

- Der Kontrast
- Die Bildqualität
- Die optischen Schnitte
- Der Komfort im 3D-Imaging



Die Evolution in der Fluoreszenzmikroskopie

Carl Zeiss
Lichtmikroskopie
Postfach 4041
37030 Göttingen
Telefon: 0551 5060 660
Telefax: 0551 5060 464
E-Mail: mikro@zeiss.de
www.zeiss.de/apotome



Forum Mittelalter

Die Steinerne Brücke – Brücken bauen zwischen Einst und Jetzt für die Zukunft Regensburg

1. Vortragsabend

27. November 2003

Donnerstag

20:00 Uhr

Runnigersaal

Keplerstraße 1

Begrüßung
Einführung
Prof. Dr. Edith Feistner

Zum Bau der Brücke
Technische Leistung und
wirtschaftsorientierte
Motivation
PD Dr. Helmut Braun

Zur Geschichte der Brücke
im mittelalterlichen Regensburg
Prof. em. Dr. Wilhelm Volkert

Die Brücke heute
Denkmalpflege und historisches Gedächtnis
Prof. Dr. Wolfgang Schöller

Epensängerische Präsentation des Donauübergangs
aus dem „Nibelungenlied“
Dr. Eberhard Kummer, Wien

Eintritt frei

www.Forum-Mittelalter.org

ERHARDI DRUCK GmbH



Neukauf-Apotheke
Antonie Vent



REGIONAL PROJEKT GMBH
Ein Unternehmen der Lambert Unternehmensgruppe



Dr. Bernadette Schöller
Projekt- und Informationsmanagement
für Kultur und Wissenschaft

VOIGT
Gänsbauer Catering

Festvortrag

► Seite 4

Prof. Dr. phil. Dr. rer. nat.

Gerhard Roth

Quantenphysik

Prof. Dr. rer. nat.

Klaus Richter

Algebra

PD Dr. rer. nat.

Susanne Pumplün

Literatur zum Thema

Antonio R. Damasio,
Descartes' Irrtum: Fühlen,
Denken und das menschliche
Gehirn.
München: List, 1994.

Antonio R. Damasio,
Ich fühle, also bin ich.
München: List, 2000.

Joseph E. LeDoux,
Das Netz der Gefühle:
Wie Emotionen entstehen.
München-Wien: Hanser, 1998.

Gerhard Roth,
Das Gehirn und seine Wirklichkeit.
Frankfurt/Main: Suhrkamp,
1996; überarbeitete Aufl. 1998.

Gerhard Roth,
Fühlen, Denken, Handeln:
Wie das Gehirn unser Verhalten
steuert.

Frankfurt/Main: Suhrkamp
2001; überarbeitete Aufl. 2003.

Bildnachweis

1 2 3

Gerhard Roth,
Fühlen, Denken, Handeln:
Wie das Gehirn unser Verhalten
steuert.
Frankfurt/Main: Suhrkamp
2001; überarbeitete Aufl. 2003.
nach Nieuwenhuys et al., 1991

4

Gerhard Roth,
Fühlen, Denken, Handeln:
Wie das Gehirn unser Verhalten
steuert.
Frankfurt/Main: Suhrkamp
2001; überarbeitete Aufl. 2003.
nach Spektrum/Scientific
American, 1994; verändert

Literatur zum Thema

Dieter Weiss, Klaus Richter,
Antidot-Übergitter: Flippern mit
Elektronen.
Physikalische Blätter **51**
(1995), S. 171–176.

Matthias Brack,
Rajat K. Bhaduri,
Semiclassical Physics.

Reading: Addison-Wesley,
1997.

Hans-Jürgen Stöckmann,
Quantum Chaos: an introduction.

Cambridge: University Press,
1999.

Klaus Richter,

Jan-Michael Rost,
Komplexe Systeme,
Frankfurt/Main:
Fischer-Taschenbuchverlag,
2002.

Klaus Richter, Martin Sieber,
Semiclassical Theory of Chaotic
Quantum Transport.
Physical Review Letters **89**
(2002), 206801–206804.

Rafael Gutierrez, Giorgos
Fagas, Klaus Richter, Frank
Großmann, Rüdiger Schmidt,
Conductance of a molecular
junction mediated by unconventional
metal-induced gap states.
Europhysics Letters **62** (2003),
S. 90–96.

Bildnachweis

1 Franz Stadler,
Institut für Theoretische Physik,
Universität Regensburg

2 Ingeborg Zirkl,
Institut für Theoretische Physik,
Universität Regensburg

3 Arnd Bäcker,
Institut für Theoretische Physik,
Technische Universität Dresden

4 oben:
M. F. Crommie, C. P. Lutz,
D. M. Eigler,
Nature **363** (1993), S. 524
unten:
E. J. Heller, M. F. Crommie,
C. P. Lutz, D. M. Eigler,
Nature **369** (1994), S. 464

5 Autor und
a: Charles Marcus,
Harvard University
b: Rafael Gutierrez, Giorgos
Fagas, Klaus Richter, Frank
Großmann, Rüdiger
Schmidt,
Europhysics Letters **62**
(2003), S. 90–96
d: Elke Scheer,
Universität Konstanz

6 Arnd Bäcker,
Institut für Theoretische Physik,
Technische Universität Dresden

7 Kang-Hun Ahn,
Chungnam National University,
Südkorea,
und Autor

Infografik:
Stephan Riedlberger
für Atelier Irmgard Voigt,
München.

Literatur zum Thema

Hans-Dieter Ebbinghaus, Hans
Hermes, Friedrich Hirzebruch,
Max Koecher, Klaus Mainzer,
Jürgen Neukirch, Alexander
Prestel, Reinhold Remmert,
Numbers.
New York: Springer, 1990.

William Rowen Hamilton,
Letter from Sir W. R. Hamilton
to Rev. Archibald H. Hamilton,
August 5, 1865, Letters
describing the discovery of
quaternions

<[http://www.maths.tcd.ie/
pub/HistMath/People/Hamilton/
Letters/BroomeBridge.html](http://www.maths.tcd.ie/pub/HistMath/People/Hamilton/Letters/BroomeBridge.html)>.
Susanne Pumplün,
Quaternion algebras over elliptic
curves.
Communications in Algebra **26**
(12) (1998), S. 4357–4373.

Susanne Pumplün,
Curves of Genus One and
Arbitrary Index: Their Vector
Bundles,
Witt Rings and Quaternion
Algebras. Habilitationsschrift,
Universität Regensburg, 2001.

Bildnachweis

1 2
Autorin

3 William Rowen Hamilton,
Letter from Sir W. R. Hamilton
to Rev. Archibald H. Hamilton,
August 5, 1865, Letters
describing the discovery of
quaternions,
<[http://www.maths.tcd.ie/
pub/HistMath/People/Hamilton/
Letters/BroomeBridge.html](http://www.maths.tcd.ie/pub/HistMath/People/Hamilton/Letters/BroomeBridge.html)>

4 Dr. Thomas Unger,
Department of Mathematics,
University College, Dublin,
Irland

Prof. Dr. rer. nat.
Bernhard Dick

Dr. rer. nat.
Sylvia Cremer
Prof. Dr. rer. nat.
Jürgen Heinze

■ Literatur zum Thema

Ian R. Dunkin,
Matrix-Isolation Techniques.
Oxford: University Press, 1998.

Donald H. Levy,
The spectroscopy of very cold
gases. *Science* **214** (1981),
S. 263–269.

J. Peter Toennies, Andrej F.
Vilesov, K. Birgitta Whaley,
Superfluid helium droplets:
An ultracold nanolaboratory.
Physics Today **54** (2001),
S. 31–37.

Angela Keßler, Alkwin Slenczka,
Reinhold Seiler, Bernhard Dick:
The UV-photodissociation
of jet-cooled nitrosobenzene
studied by fluorescence
excitation spectroscopy of the
NO fragment.
*Physical Chemistry – Chemical
Physics* **3** (2001), S. 2819–2830.

Thorsten J. Oberhuber,
Uwe Kensy, Bernhard Dick,
Velocity-map ion-imaging
of the NO fragment from the
UV-photodissociation of
nitrosobenzene.
*Physical Chemistry – Chemical
Physics* **5** (2003), S. 2799–2806.

■ Bildnachweis

Seite 25:

Autor

Reproduktion digital:

Walter Ziegler, Fotograf,
Institut für Kunstgeschichte,
Universität Regensburg

1 2 3 4 5 6 7 8

Autor

Infografik:

Ludwig Otto
für Atelier Irmgard Voigt,
München

9

PD Dr. Alkwin Slenczka,
Institut für Physikalische und
Theoretische Chemie,
Universität Regensburg

■ Literatur zum Thema

Malte Andersson,
Sexual Selection.
Princeton, N. J.: University
Press, 1994

Jürgen Heinze,
Anarchie oder Despotismus.
Was beeinflusst die Struktur
von Tiergruppen?
Blick in die Wissenschaft **13**
(2001), S. 28–32

Jürgen Heinze, Bert Hölldobler,
Fighting for a harem of queens:
physiology and reproduction
in Cardiocondyla male ants.
*Proceedings of the National
Academy of Sciences USA* **90**
(1993), S. 8412–8414.

Sylvia Cremer, Jürgen Heinze,
Stress grows wings: environ-
mental induction of winged
dispersal males in Cardiocon-
dyla ants.
Current Biology **13** (2003),
S. 219–223.

■ Bildnachweis

■ Bildnachweis

1
Jürgen Heinze

2
Sylvia Cremer

3 4
Sylvia Cremer und
Stefan Buchhauser,
Fotolabor Biologie,
Universität Regensburg

5
Birgit Lautenschläger,
Lehrstuhl Prof. Heinze,
Universität Regensburg

Noch besser,

noch leistungsfähiger, noch flexibler!

Im Doppel jetzt nahezu unschlagbar



Von der Konzeption bis
zum fertigen Produkt –
alles aus einer Hand!

Leibnizstraße 11 • 93055 Regensburg • Tel: (09 41) 7 83 82-0 • Fax: (09 41) 7 83 82-81

Prof. Dr. phil.
Dorothee Gelhard

■ Literatur zum Thema

Gershon Shaked,
Die Macht der Identität. Essays
über jüdische Schriftsteller.
Frankfurt/Main: Jüdischer
Verlag, 1992.

Steven Asheim,
Brothers and Strangers:
The East European Jew in
German and German Jewish
Consciousness 1800–1923.
Wisconsin: University of
Wisconsin Press, 1982.

Dorothee Gelhard (Hrsg.),
Identität und Diaspora im
Ostjudentum.
Frankfurt/Main
(in Vorbereitung).

■ Bildnachweis

- 1** Eckart Kleßmann,
Die Mendelsohns. Bilder einer
deutschen Familie.
Düsseldorf, Zürich 1997
- 2** Klaus Wagenbach,
Franz Kafka. Bilder aus seinem
Leben.
Berlin 1989
- 3** Babylonischer Talmud,
Aboda Zara 16 a
- 4** Reproduktionen digital:
Walter Ziegler, Fotograf,
Institut für Kunstgeschichte,
Universität Regensburg

Dr. med.
Hans H. Klünemann
Dr. phil.
Herbert W. Wurster
Prof. Dr. med.
Helmfried E. Klein

■ Literatur zum Thema

- Alois Alzheimer,
Über eigenartige Krankheits-
fälle des späteren Alters.
Zeitschrift für die gesamte
Neurologie und Psychiatrie 4
(1911), S. 356–385.
- Hans H. Klünemann, Wolfgang
Fronhöfer, Herbert Wurster u.a.,
Alzheimer's case IV:
>Leonhard Sch.<
Neurology 58 (2002), (Suppl.)
S. 403–404.
- Hans H. Klünemann, Wolfgang
Fronhöfer, Wolfgang Fischer,
Herbert W. Wurster, Helmfried
E. Klein,
Alzheimer's second patient.
Annals of Neurology 52
(2002), S. 520–523.
- Hans H. Klünemann, Milan
Elleder, Wolfgang E. Kaminski,
Karen Snow, Janis M. Peyer,
John F. O'Brien, David Munoz,
Gerd Schmitz, Helmfried Klein,
William Pendlebury,
Frontal lobe atrophy associated
with a novel mutation in the
cholesterol binding protein
HE1/NPC2. Annals of Neuro-
logy 52 (2002), S. 743–749.
- Konrad und Ulrike Maurer,
Alzheimer: Das Leben eines
Arztes und die Karriere einer
Krankheit.
München: Piper, 1998.

■ Bildnachweis

- 1** aus: G. Perusini,
Über klinisch und histologisch
eigenartige psychische
Erkrankungen des späteren
Lebensalters.
In: Histologische und Histo-
pathologische Arbeiten über die
Großhirnrinde, hg. von F. Nissl
und A. Alzheimer.
Jena: Gustav Fischer-Verlag,
1910, Bd. 3, S. 297–357
- 2** Dr. Jörg Marienhagen,
Peter Männer,
Institut für Nuklearmedizin,
Klinikum der Universität
Regensburg
- 3** Prof. Konrad Maurer,
Frankfurt/Main
- 4** Klinik für Psychiatrie und
Psychotherapie, Ludwig-Maxi-
milians-Universität, München
<[http://psywifo.klinikum.
uni-muenchen.de](http://psywifo.klinikum.uni-muenchen.de)>
- 5** aus: Alois Alzheimer,
Über eigenartige Krankheits-
fälle des späteren Alters.
Zeitschrift für die gesamte
Neurologie und Psychiatrie 4
(1911), Tafel

80 Jahre **UMZÜGE GEBR. RÖHRL** AMÖ-Fachbetrieb Transport GmbH

Der Umzugsspezialist der Universität Regensburg

Vollservice aus einer Hand
mit eigenen Schreinern,
Elektrikern und Installateuren

- Umzüge im Stadt-, Nah-,
Fern-, Auslandsverkehr
- Lehrstuhl- sowie Laborumzüge
- Übersee- und Containerumzüge

THURMAYERSTRASSE 10a, 93049 REGensburg
TEL. (09 41) 2 17 71, FAX (09 41) 2 54 18



- Spezialtransporte von Klavier - Flügel - Kassen - Computer und Kunstgegenständen
- unverbindliche Umzugsberatung
- Geschultes Fachpersonal, Schreiner-Service
- Behutsame Umzüge für Senioren
- Beladungen in alle Richtungen
- Möbellagerung in sauberen Räumen
- Küchenkomplettmontagen - Möbelmontage
- Entrümpelung, Sperrmüll- und Altmöbelentsorgung

Bildnachweis**1**

Alois Kapeller,
Neu aufgefundene architektonische Fragmente der romanischen Bauperiode vom Schottenkloster St. Jakob in Regensburg.
In: Allgemeine Bauzeitung XIII, Wien 1848, Blatt 224 (Auschnitt)

2

altrofoto.de

Literatur zum Thema**Ute Deichmann,**

Biologen unter Hitler. Vertreibung, Karrieren, Forschung. Frankfurt/Main: Campus, 1992.

Ute Deichmann,

Flüchten, Mitmachen, Vergessen. Chemiker und Biochemiker in der NS-Zeit. Weinheim: Wiley-VCH, 2001.

Graeme Hunter,

Vital Forces. The Discovery of the Molecular Basis of Life. London: Academic Press, 2000.

Lois Magner,

A History of the Life Sciences. 2. Auflage. New York: Marcel Dekker Inc., 1994.

Jean Medawar, David Pyke,

Hitler's gift. Scientists who fled Nazi Germany. London: Piatkus, 2002.

Marie Luise Zarnitz,

Molekulare und physikalische Biologie. Bericht zur Situation eines interdisziplinären Forschungsgebietes in der Bundesrepublik Deutschland. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1968.

Bildnachweis**1**

Dr. Rudolf F. Dietze,
Pressestelle,
Universität Regensburg

2

Reichsgesetzblatt 1933, Teil 1,
Exemplar der Universitätsbibliothek Regensburg

3

Archiv der Pressestelle,
Universität Regensburg

4

Uwe Moosburger, Fotograf,
Regensburg

5

Lorenz Wolf Luftbild,
Regensburg/Zeitlarn,
Archiv des Universitätsbauamtes

6

Archiv der Mittelbayerischen Zeitung, Regensburg

7

oben links und unten:
Prof. Dr. Rainer Rudolph,
Universität Halle-Wittenberg

oben rechts:

Prof. Dr. Widmar Tanner,
Universität Regensburg

Seite 63:

Uwe Moosburger, Fotograf,
Regensburg

Vorschau 16**16****erscheint November 2004**

Prof. Dr. Wolfgang Horn
Braucht Musik Wissenschaft?

Prof. Dr. Sigurd Elz
Auf der Suche nach dem besseren Schlüssel:
>Werkzeuge< für die experimentelle Pharmakologie

Prof. Dr. Werner Wegscheider
Künstliche Halbleiter: Molekularstrahleptaxie

PD Dr. Matthias Fritsch
Naturrecht oder kleineres Übel: Protestantische und katholische Begründungen religiöser Toleranz im Zeitalter der deutschen Aufklärung

Prof. Dr. Jochen Mecke
Die Rolle der Lüge in der Kultur

Prof. Dr. Christoph Reusser
Auf der Suche nach dem etruskischen Haus

Prof. Dr. Gerrit Manssen
Grundrechte in der Informationsgesellschaft: Rundfunkfreiheit im Zeitalter der Digitalisierung und Medienkonvergenz

und:

Prof. Dr. Jerzy Maćkow
Osteuropa-Politik
Prof. Dr. Lutz Arnold
Finanzmarktheorie
Prof. Dr. Inga Neumann
Streß und Lernen



CompactCare.

Das Einstiegspaket für Aufsteiger.

Privater Vollschutz
zu günstigem Beitrag ...

Überzeugen Sie sich selbst
von dem herausragendes
Preis-Leistungsverhältnis:

- Heilpraktikerbehandlung und Psychotherapie
 - Beitragsrückvergütung von bis zu 6 maßgeblichen Monatsbeiträgen
- Unser Ausbildungstarif:**

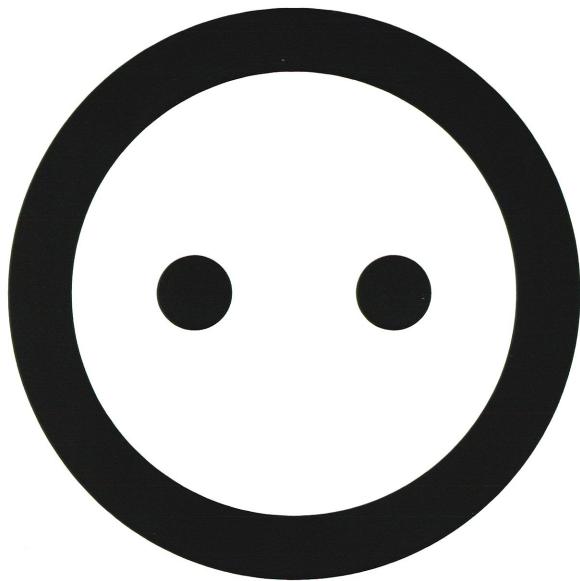
Mann, 25 Jahre,
monatlich nur **51,75 €**



Auf der sicheren Seite

Beratungsstelle
INTER Versicherungen
Bezirksdirektion Regensburg
Bienenheimweg 2
93055 Regensburg
Telefon (09 41) 7 95 93-0
Telefax (09 41) 7 95 93-50
bd.regensburg@inter.de
www.inter.de

Spannung ist bei uns der Regelfall, Hochspannungstechnik unser Metier. Mit unseren Produkten und Dienstleistungen tragen wir weltweit zur zuverlässigen Energieversorgung bei.



Strom aus der Dose.

Spannung aus Regensburg.



www.reinhausen.com



