



### Essay

#### Picasso 1937

›Guernica‹  
und die Folgen

### Wiederherstellende Chirurgie

#### Kollege Computer, bitte zum OP!

Computersysteme übernehmen Navigationsfunktionen  
in der Chirurgie

### Molecular Modeling

#### Arzneistoffe aus dem Computer

Modellierung molekularer Schlüssel für  
biologische Schlosser

### Evolutionsbiologie

#### Anarchie oder Despotismus

Was beeinflusst  
die Struktur von Tiergruppen?

### Blickpunkt

#### Das Rad

Über die erstaunliche Motorik  
rotierender Bakteriengeißeln

### Hadronenphysik

#### Buntes Treiben im Inneren des Protons

Quarks, Gluonen  
und ihre Wechselwirkung

### Transatlantische Beziehungen

#### Allein gelassen in der Alten Welt?

Europa fürchtet  
eine Abkehr der USA

### Tourismusforschung

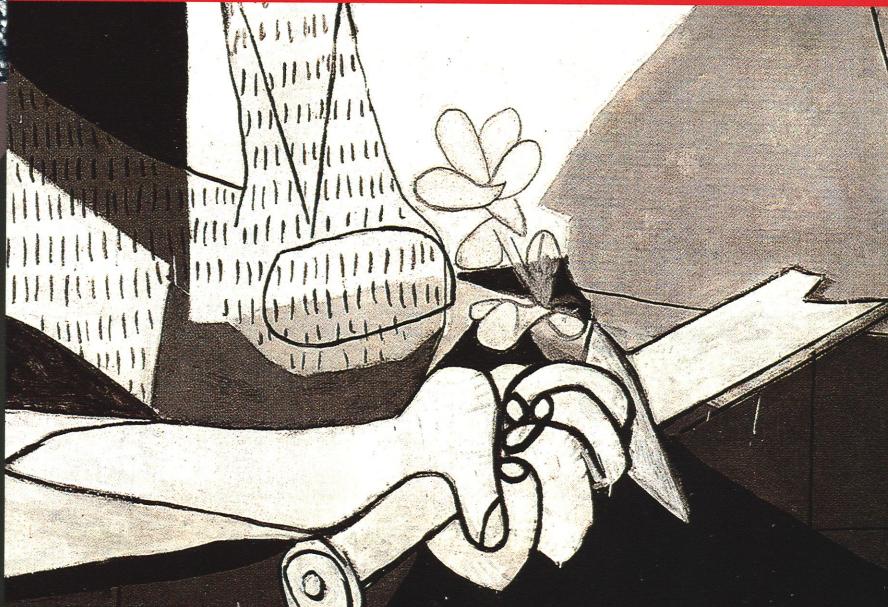
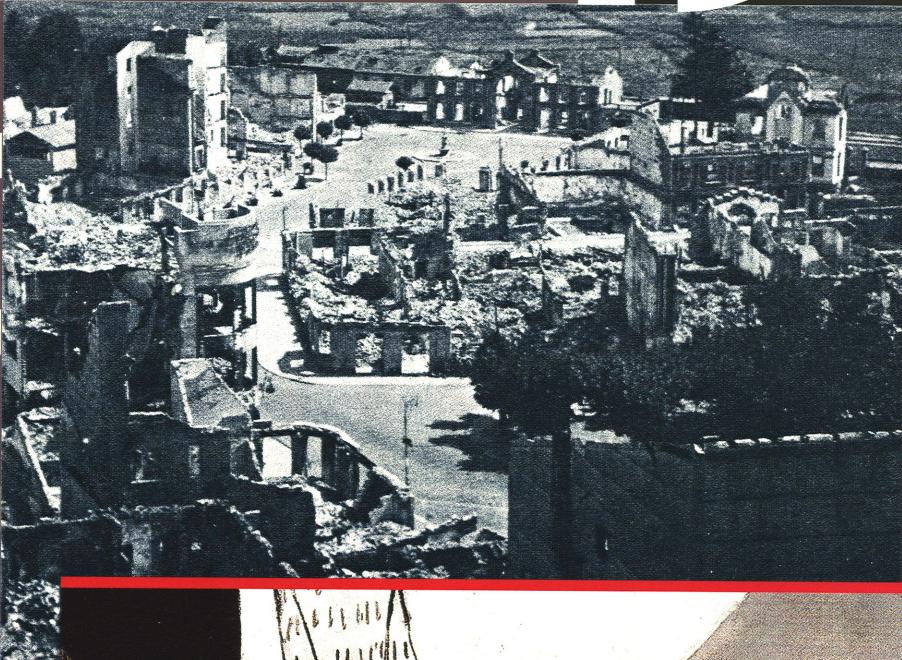
#### Inszenierung oder Realität?

Zur Thematisierung touristischer Produkte  
– das Beispiel der Via Danubia

### Märchen und Legenden

#### Wie wirklich ist die Wirklichkeit?

Legende und Märchen  
im Mittelalter und in der Romantik



**Guernica 1937**  
oben die Ruinen der Stadt,  
unten ein Ausschnitt aus  
Picassos Gemälde ›Guernica‹,  
dem berühmtesten  
Antikriegsbild unserer Epoche

# 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](http://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 13/10. Jahrgang

**Herausgeber**Prof. Dr. phil. Alf C. Zimmer  
Rektor der Universität Regensburg**Redaktionsbeirat**Prof. Dr. rer. nat. Helmut Altnner  
PD Dr. rer. nat. Susanne Alban  
Prof. Dr. rer. nat. Henri Brunner  
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. jur. Dieter Schwab  
Prof. Dr. phil. Jörg TraegerUniversität 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) 207-433  
Telefax (0941) 207-199  
E-Mail: kfraeber@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**Herstellung**

DONAU DRUCK Regensburg GmbH

**Druckvorstufe**

Layoutsatz 2000, München

**Gestaltung**

Irmgard Voigt, München

Papier MD Bavaria matt

Auflage 5 000

Erscheint jährlich Mitte November.

**Einzelpreis DM 12  
ab 1.1.2002: € 6,50****Jahresabonnement**DM 10/ermäßigt 7 DM  
ab 1.1.2002:

€ 5,00/erm. € 3,50

für Schüler, Studenten und  
Akademiker im Vorbereitungsdienst  
(inkl. 7% MwSt) zzgl. Versand;  
Bestellungen beim VerlagFür 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**Titelbilder****oben:**Guernica nach der  
Bombardierung vom 26.4.1937.**unten:**Pablo Picasso:  
Guernica. 1937  
(Museo Nacional Centro  
de Arte Reina Sofia, Madrid).  
Bildnachweise: Seite 64*Im Januar 1937 erhielt Pablo Picasso ohne irgendwelche Vorgaben zu Thema und Ausführung den Auftrag der spanischen Volksfrontregierung, ein Wandbild für den spanischen Pavillon auf der Pariser Weltausstellung zu malen. Am 26. April 1937 legten deutsche Bomber für General Franco die baskische Stadt Guernica in Schutt und Asche – der erste Bombenangriff überhaupt, der ausschließlich die Terrorisierung der Zivilbevölkerung zum Ziel hatte.**Nur wenige Tage nach der Bombardierung begann Picasso mit der Arbeit an seinem monumentalen Gemälde für die Weltausstellung. In kompromissloser künstlerischer Freiheit fing der Maler mit monströsen Chiffren und verschlüsselten Symbolen so bildmächtig das Grauen ein, dass ›Guernica‹ heute als das Antikriegsbild schlechthin und als eines der Schlüsselwerke der modernen Kunst gilt.***Editorial****Alf C.  
Zimmer****Kritisches Urteilen oder eUniversity?** Die Aufgabe von Universitäten wird weltweit mit einer doppelten Zielsetzung definiert: Bewahrung und Weitergabe von Wissen und Erweiterung des Wissens. Will man Kritikern folgen, so haben die technische Entwicklung und der Erfolg der Universitäten unter diesen Zielen die Institution scheinbar überflüssig gemacht oder werden sie in absehbarer Zeit überflüssig machen.Dafür wird einerseits die Entwicklung des Internets zu einem weltweiten Wissensnetz angeführt, das den Umfang lokaler Bibliotheken und vor allem die Kompetenz eines jeden einzelnen Wissenschaftlers um viele Größenordnungen übertrifft, und andererseits die z.B. von Paul Horgan, dem Herausgeber der Zeitschrift *Scientific American*, vertretene skeptische Einschätzung, wonach alles Wissenswerte eigentlich schon erforscht sei.

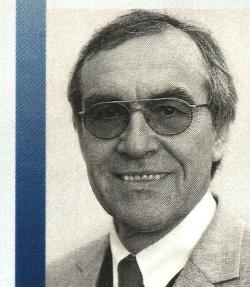
Konsequenterweise hat daher der Präsident der Hochschulrektorenkonferenz vor kurzem postuliert, dass die neue Aufgabe der Universität darin bestehe, den organisatorischen Rahmen für das Selbstlernen bereitzustellen.

Wenn sich die Rolle der Universität tatsächlich auf die Bereitstellung eines organisatorischen Rahmens für das e-Lernen reduzieren ließe, dann könnte man ein gedrucktes Forschungsmagazin nur noch als Instrument des Hochschulmarketings neben anderen Hochglanzbroschüren rechtfertigen.

Wie steht es aber wirklich darum? Schon ein flüchtiger Blick in jeden der folgenden Artikel zeigt, dass hier nicht von Marketingspezialisten, sondern von Wissenschaftlern argumentiert wird, daher scheuen die Autorinnen und Autoren sich nicht, dem Leser zuzumuten, sich ohne Furcht vor Neuem und vor Komplexität aktuellen Problemen und Ergebnissen des jeweiligen Fachgebiets zu stellen und damit die Faszination, aber ebenso die Subtilität oder Akribie des wissenschaftlichen Handelns nachzuvollziehen.

Die hier deutlich werdende Diskrepanz zwischen Lernen als ›data mining‹ im Internet und Bildung als aktiver Teilhabe am Prozess der Wissenschaft zeigt, dass beim Übergang von der durch persönlichen Kontakt geprägten klassischen Universität zur eUniversity, wie sie z.B. in Großbritannien gefordert und gefördert wird, ein entscheidendes Charakteristikum der Universität verloren gehen kann – in der Massenuniversität vielleicht auch schon verloren gegangen ist: *die Vermittlung der Kompetenz, neues Wissen zu generieren und damit die Fähigkeit, das anscheinend so wohlfel und umfassend angebotene Wissen im Internet und darüber hinaus kritisch zu beurteilen.*

In der so genannten Wissengesellschaft – von den Auguren mit der Phrase von den immer kürzer werdenden Halbwertszeiten des Wissens charakterisiert – ist diese Urteilsfähigkeit wohl das Wichtigste, das die Universität vermitteln kann, sonst droht als Alternative ›getting lost in cyberspace‹.

Damit lässt sich die oben gestellte Frage nach der Berechtigung eines Forschungsmagazins beantworten: Weil hier konkret Einblick in das Wie der Forschung gegeben wird, hat jeder Leser die Chance, beim Blick über die Schulter der Forscherin oder des Forschers den Prozess der Generierung neuen Wissens und der kritischen Prüfung vorhandenen Wissens zu beobachten – so kann jeder Leser das kritische Urteil nachvollziehen. Anders als über die an Fakten und Zahlen orientierten Forschungs- und Rechenschaftsberichte wird hier deutlich, in welchem Umfang unsere Universität noch davon geprägt ist, was ein englischer Kollege so formulierte: *It boils down to the question if academic judgment is still regarded as the core criterion of our work.*Mit seinem Amt wird der neue Rektor Herausgeber von *Blick in die Wissenschaft*, bleibt dieses Heft dennoch – wie die gesamte Konzeption des Forschungsmagazins – von Prof. Dr. Helmut Altners Handschrift geprägt. Dieses Profil zu bewahren wird nur unter seiner Mitwirkung möglich sein.Prof. Dr. Alf C. Zimmer  
Rektor  
der Universität Regensburg  
Herausgeber

# Blick in die Wissenschaft

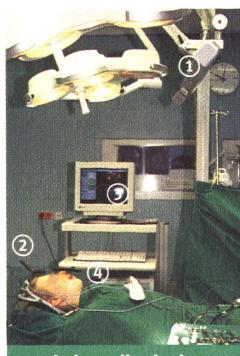
Forschungsmagazin der Universität Regensburg  
10. Jahrgang

13

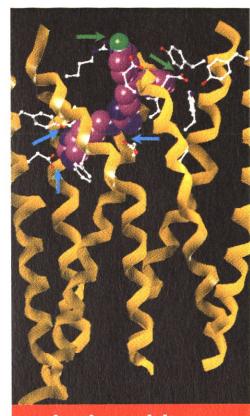
2001



Essay



Wiederherstellende Chirurgie



Molecular Modeling



Evolutionsbiologie



Universität Regensburg  
im Internet:  
[www.uni-regensburg.de](http://www.uni-regensburg.de)

**Picasso 1937**

›Guernica‹ und die Folgen

Seite 4

Das berühmteste Antikriegsbild des 20. Jahrhunderts ist eine Ikone der Demokratie, Werk eines radikalen Streiters für die Freiheit von Kunst und Individuum, Picassos Hommage an die bedrohte Spanische Republik.

**Kollege Computer, bitte zum OP!**

Computersysteme übernehmen Navigationsfunktionen in der Chirurgie

Seite 14

An der Seite des Chirurgen erweist sich ›Kollege Computer‹ als äußerst hilfreich, wenn angeborene Deformierungen oder durch Unfall entstandene Knochenverletzungen im Gesichtsbereich zu korrigieren sind.

**Rüdiger Marmulla**

Privatdozent

Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

*ruediger\_marmulla*

*@ med.uni-heidelberg.de*

**Arzneistoffe aus dem Computer**  
Modellierung molekularer Schlüssel für biologische Schlosser

Seite 22

Der Weg zu neuen Arzneimitteln ist immens teuer, lang und mit vielen ›Nieten‹ gepflastert. Computer sparen Zeit, Geld und erhöhen die Zahl der Treffer. Seit kurzem sind sogar erste Medikamente verfügbar, die mit Computer-Aided Drug Design (CADD) quasi maßgeschneidert wurden.

**Anarchie oder Despotismus**  
Was beeinflusst die Struktur von Tiergruppen?

Seite 28

Wie kommt es bei an sich egoistischen Einzeltieren zu Staatenbildung und Kooperation? Was bringt Ameisen dazu, dass sie sich unter Verzicht auf eigene Nachkommen um die Aufzucht von Nichten und Neffen und Schwestern kümmern?



Foto: Marion Marmulla

**Thomas Hirschmann**

Physiker

*thomas.hirschmann*

*@ freenet.de*

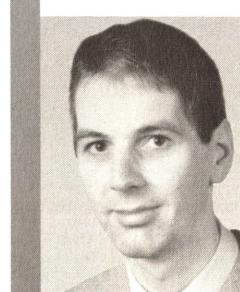
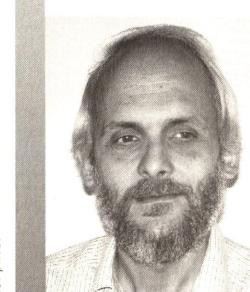
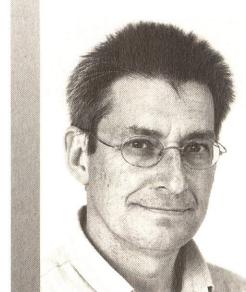


Foto: privat

**Stefan Dove**  
apl. Professor für  
Pharmazeutische Chemie  
*stefan.dove*  
*@ chemie.uni-regensburg.de*



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



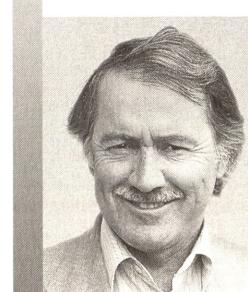
E-Mail:

Rektorat  
der Universität Regensburg  
*rektor*  
*@ uni-regensburg.de*

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

**Jörg Traeger**  
Professor für  
Kunstgeschichte

*joerg.traeger*  
*@ psk.uni-regensburg.de*





## Blickpunkt

### Das Rad

Über die erstaunliche Motorik rotierender Bakteriengeißeln

Seite 34

Schnell wie ein Rennboot, 95 % Wirkungsgrad, umweltfreundlicher Antrieb: Beim Blick auf den Nano-motor der Mikroorganismen erblasst jeder Techniker vor Neid – eine geniale »Erfundung«, noch dazu drei Milliarden Jahre alt.

### Rüdiger Schmitt

Professor für Genetik

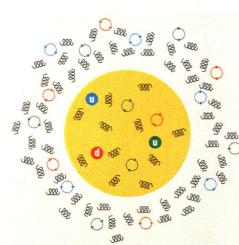
*rudy.schmitt  
@ biologie.uni-regensburg.de*



### Birgit Scharf

Wiss. Assistentin Genetik

*birgit.scharf  
@ biologie.uni-regensburg.de*



## Hadronenphysik

### Buntes Treiben im Inneren des Protons

Quarks, Gluonen und ihre Wechselwirkung

Seite 38

Je genauer der Blick der Physiker in den Atomkern, desto verzwickter der Befund: Im HERMES-Projekt des DESY untersuchen Teilchen-theoretiker und Experimental-physiker den Spin polarisierter Teilchen und stoßen einmal mehr auf buntes Treiben ...



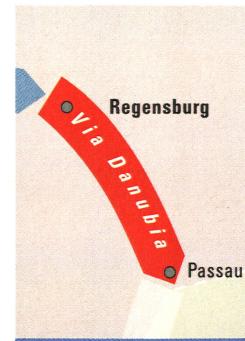
## Transatlantische Beziehungen

### Allein gelassen in der Alten Welt?

Europa fürchtet eine Abkehr der USA

Seite 44

Neue Rekorde im amerikanisch-asiatischen Handel, rapider Wandel in der ethnischen Zusammensetzung der USA – keine große Gefahr für die transatlantische Partnerschaft, so die Analyse des Autors.



## Tourismusforschung

### Inszenierung oder Realität?

Zur Thematisierung touristischer Produkte – das Beispiel der Via Danubia

Seite 48

Fahrradtourismus ist hierzulande seit Jahren sehr beliebt, speziell Radwanderwege sind echte »Rennner«. Entlang der Donau werden derzeit neue Akzente gesetzt – »Radeln auf den Spuren der Römer« heißt die Devise.



## Märchen und Legenden

### Wie wirklich ist die Wirklichkeit?

Legende und Märchen im Mittelalter und in der Romantik

Seite 56

Lässt sich das Thema Wirklichkeit groß diskutieren? Ist die Wirklichkeit, was sie nun mal ist – oder ist sie nur ein Konstrukt, kulturspezifische Konvention? Der Blick auf zwei literarische Gattungen erhellt auch aktuelle Fragen.

# Picasso 1937

## ›Guernica‹ und die Freiheit

*Hommage à Helmut Altner*

### Essay

Mit dem 20. Jahrhundert sind in Europa auch die Zeiten des Totalitarismus zu Ende gegangen. Die Demokratie konnte sich behaupten. Den Kampf der Systeme hat die moderne Kunst auf ihre Weise reflektiert. Ihren bedeutendsten Ausdruck fand diese Reflexion in Pablo Picassos ›Guernica‹ <sup>1</sup>. Avantgarde und Demokratie gingen hier auf eindrucksvolle Weise ein Bündnis ein.

#### Politisierung eines Unpolitischen

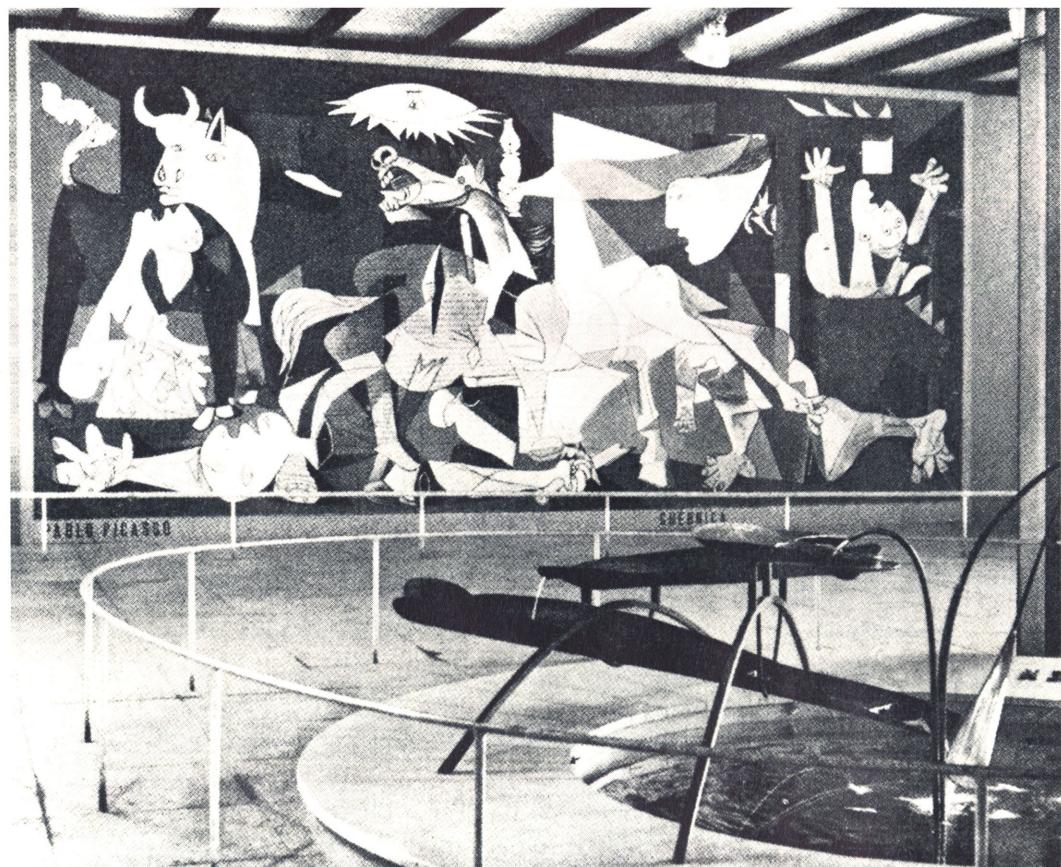
Eine entscheidende Voraussetzung für dieses Bündnis lag im politischen Typus des Künstlers. Er fügt sich einem liberalen Grundmuster ein, wie es, unter den historischen Bedingungen seiner Zeit, bereits um 1800 zukunftsweisend Picassos Landsmann Francisco Goya in Leben und Werk entworfen hatte. Einige Eigenschaften, die idealtypisch für den Liberalen in Anspruch genommen werden können, kehren bei Picasso gleichsam

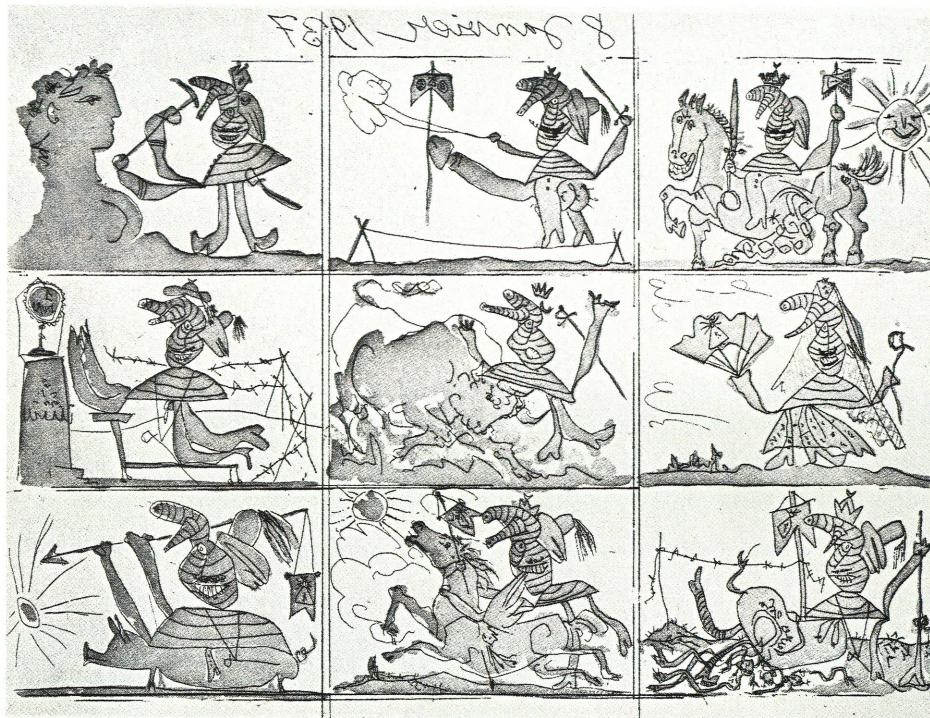
lupenrein wieder: die freiheitliche Gesinnung als Gegensatz zu politischem Fanatismus und doktrinärer Blickverengung, intellektuelle Selbstständigkeit und Offenheit sowie, als Gegenteil alles dogmatisch Erstarrten, ein Höchstmaß an schöpferischer Beweglichkeit, dies alles vor dem ursprünglichen Hintergrund von weltanschaulicher Neutralität und politischer Zurückhaltung. Dabei setzte der innere Abstand zur Politik im selben Maß geistige Unabhängigkeit voraus, wie er diese umgekehrt bewahren half. Das ging beim frühen Picasso bis zur Indifferenz gegenüber den Systemen, solange diese nur die Grundsätze von Recht und Menschlichkeit beachteten.

Seine schöpferische Unabhängigkeit verteidigte Picasso konsequent aber auch nach seinem Eintritt in die Kommunistische Partei Frankreichs, den die Parteizeitung ›L'Humanité‹ am 5. Oktober 1944 stolz meldete. Der extreme Individualist in der totalitären Partei stellte freilich einen Widerspruch in sich dar. Dies meinte Jean-Paul Sartre, als er 1950 von den Verdauungsbeschwerden und Würganfällen der kommunistischen Boa sprach, die

**1**

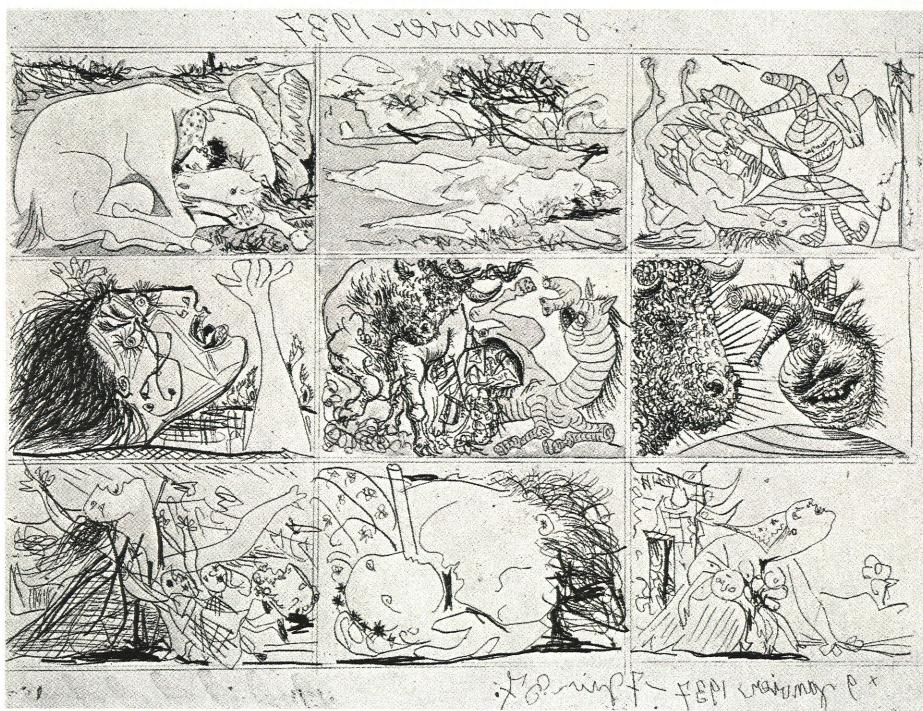
›Guernica‹ in der Eingangshalle des spanischen Pavillons auf der Weltausstellung in Paris 1937.





2

Pablo Picasso:  
Traum und Lüge Francos,  
Szenen 1–9. 1937.  
Radierung.



3

Pablo Picasso:  
Traum und Lüge Francos,  
Szenen 10–18. 1937.  
Radierung.

ebenso unfähig sei, den Giganten Picasso bei sich zu behalten wie ihn auszuspucken.

Der Ausbruch des Spanischen Bürgerkriegs (1936–1939) scheint den im Paris der Dritten Republik lebenden Künstler zunächst kaum berührt zu haben. Seine innere Distanz fand jedoch da ihr Ende, wo die Barbarei triumphierte. Picasso, von der Spanischen Republik Ende 1936 zum Ehrendirektor des Prado ernannt, nahm Partei für die Sache der Humanität. In der ersten Hälfte des Jahres 1937 radierte er die Serie 'Traum und Lüge Francos'. Franco wird wie in einem Comicstrip als Monstrum vorgeführt, klerikalfaschistisch unter dem Marienbanner, großspurig, mörderisch. Da

Franco mit Hitler paktierte, der schon 1933 mit der öffentlichen Bücherverbrennung und 1934 mit seiner Kampfansage an die moderne Kunst die Barbarei zum Staatsprinzip erhoben hatte, traf Picasso mit 'Traum und Lüge Francos' indirekt auch die Entwicklung im nationalsozialistischen Deutschland. Die erste Szene der Radierungsserie zeigt die 'Zerstörung der Kunst' durch das faschistische Monstrum, die achte dessen 'Ritt auf dem durchbohrten Pegasus' und die zwölfte 'Franco neben dem sterbenden Pegasus' 2, 3. Den Erlös aus dem Verkauf dieser Arbeit stellte Picasso dem Hilfsfonds für das republikanische Spanien zur Verfügung.

4

Ansicht der Stadt Guernica nach der Bombardierung am 26. April 1937.



Im Mai 1937 gab der Künstler eine Erklärung ab: »Der spanische Krieg ist der Kampf der Reaktion gegen die Freiheit. Mein ganzes Leben als Künstler war nichts anderes als ein fortwährender Kampf gegen Reaktion und den Tod der Kunst. Wie konnte man jemals auch nur einen Augenblick lang denken, dass ich in Übereinstimmung sein könnte mit Reaktion und Tod, gegen das Volk, gegen die Freiheit?« Der Unpolitische war zum Antifaschisten geworden, der Friedfertige zum Kämpfer für Demokratie und Freiheit.

Die Gründe für den Wandel im politischen Verhalten Picassos lassen sich am besten mit den Worten des ursprünglich gleichfalls unpolitischen Thomas Mann charakterisieren. Was sich in Spanien abspielte, schrieb der deutsche Dichter 1937,

gehöre »zum Schändlichsten und Skandalösesten, was die Geschichte aufzuweisen hat«. Und, ganz konkret im Hinblick auf die Zerstörung der baskischen Kleinstadt Guernica durch deutsche Bomben: »Von den Bombenflugzeugen des Auslandes werden seine [Spaniens] Städte demoliert, seine Frauen und Kinder niedergemetzelt – und alles dies heißt ‚national‘, all diese himmelschreiende Schurkerei heißt Gott, Ordnung und Schönheit.«

4. Die Empörung Thomas Manns war auch die Empörung Picassos. Aus diesem Sinneswandel ging »Guernica« hervor.

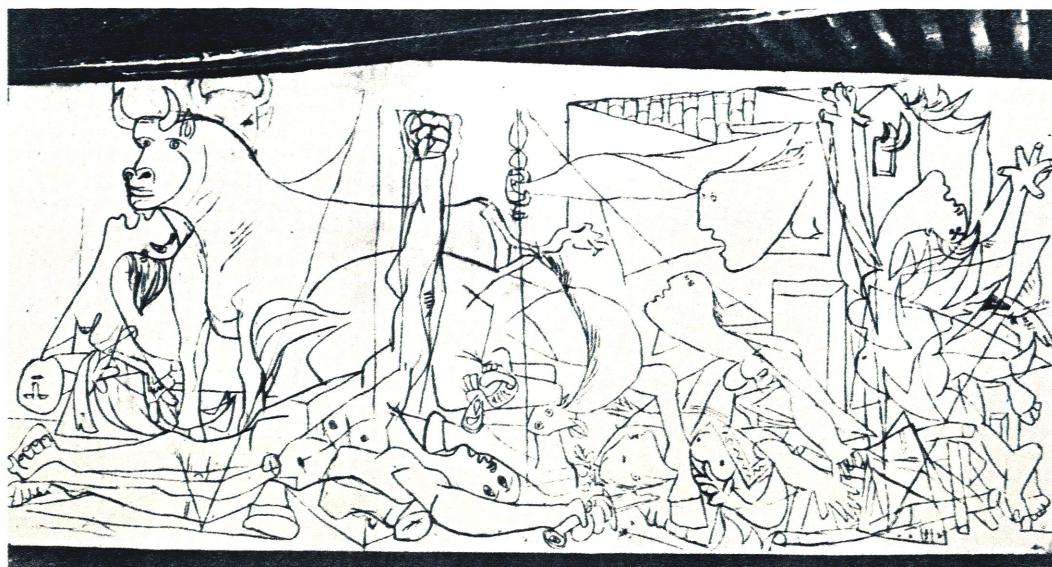
Der Weg, der zu diesem Schlüsselwerk des 20. Jahrhunderts führte, war zunächst – und bezeichnenderweise – von Zurückhaltung und Zögern geprägt. Anfang Januar 1937 war Picasso durch eine Delegation der spanischen Botschaft in Paris eingeladen worden, zur bevorstehenden Weltausstellung ein großes Wandgemälde für den Pavillon der Spanischen Republik zu schaffen. Die Themenwahl war ihm völlig freigestellt. Doch der Maler, abgeneigt allem Offiziellen oder gar politischer Propaganda, konnte sich für den Staatsauftrag nicht recht erwärmen. Erst seine Erschütterung über die Bombardierung von Guernica am 26. April 1937 4, die von der Franco-Propaganda den baskischen Milizen in die Schuhe geschoben wurde, setzte einen atemberaubenden schöpferischen Prozess in Gang. Die ersten Ideenskizzen 5 datieren vom 1. Mai. Innerhalb von wenigen Wochen, bereits Anfang Juni, war das Riesengemälde (3,51 x 7,82 m) fertig gestellt.

Der Künstler weigerte sich, ein Honorar für sein Werk anzunehmen, weil er es als Geschenk für das spanische Volk geschaffen wissen wollte. Der symbolische Preis von 150 000 französischen Francs, den Picasso gegenüber der Botschaft quittierte, sollte hauptsächlich die Materialkosten decken. Er machte die Spanische Republik juristisch zugleich zum Eigentümer des Gemäldes.

5

Pablo Picasso:  
Kompositionstudie zu »Guernica«.  
1. Mai 1937  
(Madrid, Museo Nacional Centro de  
Arte Reina Sofía).





6

Erster Zustand von »Guernica« (11. Mai 1937) in Picassos Atelier in Paris, fotografiert von Dora Maar.



7

Zweiter Zustand von »Guernica«, fotografiert von Dora Maar.

### Der souveräne Künstler

Bei der Präsentation des Gemäldes im spanischen Pavillon der Weltausstellung waren auf der unteren Rahmenleiste zwei Inschriften in Großbuchstaben angebracht, links »PABLO PICASSO« sowie rechts von der Mitte »GUERNICA« [6]. Jedem Besucher mussten mit dem Namen der zerstörten Stadt im Baskenland unwillkürlich die aktuelle Berichterstattung in Presse und Rundfunk und die Fotos von den vielen Toten, den Ruinen und vom Elend der überlebenden Bewohner in den Sinn kommen [7]. Doch ließen die Bilder im Gedächtnis des Betrachters sich mit Picassos Darstellung in keiner Weise zur Deckung bringen. Die Dissonanz zwischen Bildtitel und Bildinhalt, d. h. zwischen dem Wort »GUERNICA« auf dem Rahmen und dem, was der Besucher im Rahmen sah, verwies auf ein Grundproblem der modernen Kunst. Der Name »PABLO PICASSO« auf demselben Rahmen brachte es auf den Punkt. Einerseits ruhmreiches Aushängeschild der Republik, war dieser Name andererseits Synonym für einen eigenmächtigen, freien, ja selbsttherrlichen Umgang mit der Realität und damit Symbol für den disanzierten Standpunkt des schöpferischen Subjekts

gegenüber den Entzweiungen der Zeit und den politischen Kräften, die dahinter standen.

Der scheinbare Widerspruch spiegelte genau die Auftragslage. Indem die Republik Picasso keinerlei thematische oder stilistische Vorschriften machte, hat sie ihn de facto mit der Verwirklichung völliger künstlerischer Freiheit beauftragt. Etwas anderes war ohnehin nicht zu erwarten von einem Maler, demzufolge ein Bild – so Picasso 1935 – nicht im Voraus gedacht und festgelegt werde, sondern das, während es gemacht wird, der Beweglichkeit des Gedankens folge. Die Stadien der Verwirklichung von »Guernica« – mindestens sieben mit zum Teil tief greifenden Änderungen – wurden von Picassos Lebensgefährtin Dora Maar fotografisch festgehalten [6, 7].

Der freiheitliche Bildauftrag durch eine Demokratie, die sich ihrerseits in einer Kampfsituation befand, war in gewisser Weise selbst bereits avantgardistisch. Damit wurde Neuland in der Geschichte staatlicher Repräsentation durch Kunst betreten. Dabei hatte »Guernica« mit der schöpferischen Selbstdarstellung des Künstlers weniger Anteil an der erklärten Kunstpolitik als an der Grundidee der Republik. Durch die Unumschränktheit von

Picassos autonomer Kunst ließ sich die eigentliche Aufgabe des spanischen Pavillons zweifellos am überzeugendsten darstellen. Sie bestand darin – mit den Worten von Luis Araquistáin, des spanischen Botschafters in Paris, anlässlich der Grundsteinlegung am 27. Februar 1937 –, dem Publikum die »Unabhängigkeit und Souveränität des spanischen Volkes« vor Augen zu führen, welche die Republik wiederherstellen wolle. Zeitgenössische angelsächsisch-amerikanische Kritiker rühmten 1937 an ›Guernica‹ denn auch das Einverständnis zwischen dem Künstler und der demokratischen Regierung seines Landes bzw. Picassos Funktion nicht nur als Sohn Spaniens, sondern auch als »eines Bürgers der demokratischen Welt.«

Man kann noch einen Schritt weitergehen. In der Souveränität des Vorkämpfers und Hauptakteurs einer freien Kunst stellte sich die Freiheit der Kunst und damit die Freiheit des demokratischen Souveräns dar. Die Wurzeln hierfür reichen zurück ins 19. Jahrhundert. Bereits Gustave Courbet hatte während des Zweiten Kaiserreichs den Zusammenhang erkannt. 1855 pochte der große Realist auf die »Unabhängigkeit seiner eigenen Individualität«, und 1861 leitete er aus seiner Ablehnung des Ideals die volle »Selbstbefreiung des Individuums bis hin zur Verwirklichung der Demokratie« ab. In der Frühzeit der Dritten Republik wurde der Ruf nach »liberté de l'art« laut. Anarchistisches Ideengut spielte so dann im Kreise der Impressionisten und Neoimpressionisten eine Rolle, z. B. bei Camille Pissarro und Paul Signac, aber auch beim frühen Picasso.

Was die Entstehung von ›Guernica‹ von mehr oder minder radikalen Ansätzen dieser Art unterschied, war die Umkehrung der freiheitlichen Initiative. Sie ging ursächlich jetzt nicht vom Künstler, sondern vom Staat aus, d. h. vom demokratischen Selbstbewusstsein der Spanischen Republik, und sie zielte auf den Ruhm ebendieser Republik und ebendieses ihres demokratischen

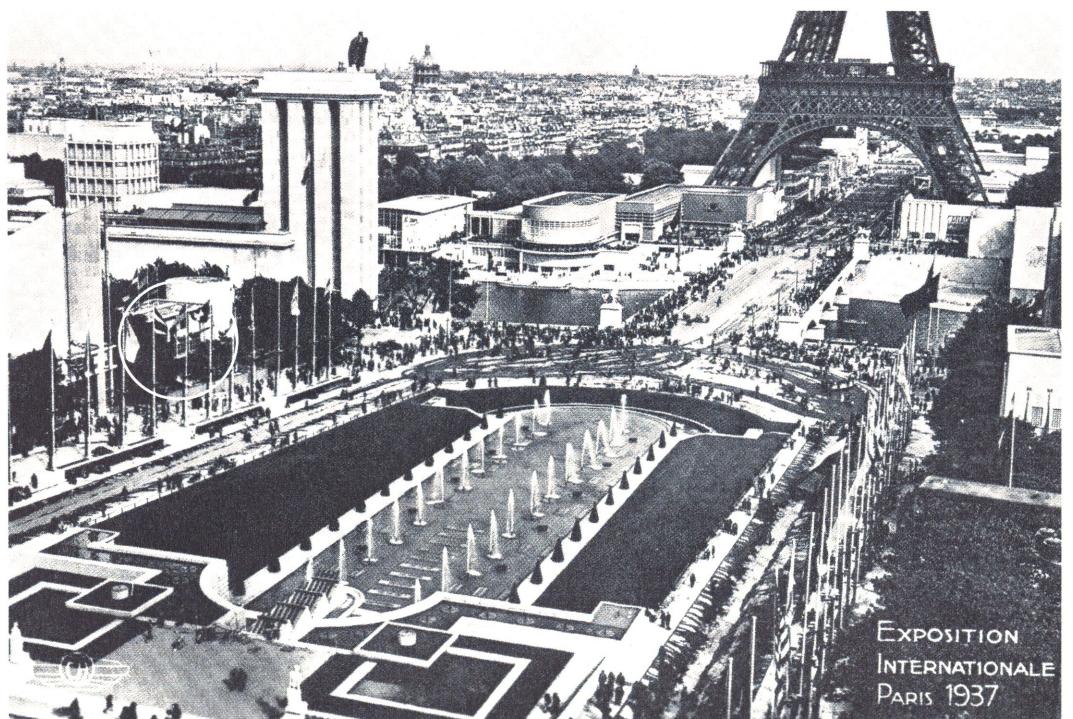
Selbstbewusstseins. Dass die Kunst des Malers im Staatsauftrag vor allem ihre eigene Unabhängigkeit unter Beweis stellte, ist dabei nur scheinbar ein Widerspruch. Tatsächlich wurde gerade damit das liberale System der Demokratie, sublimiert als Kunstereignis, auf seinen geistigen Ursprung zurückgeführt. Denn im Bündnis mit der Republik machte der Avantgardekünstler jene Form des Zusammenschlusses deutlich, durch die der Einzelne, indem er sich, ganz im Sinne von Jean-Jacques Rousseaus ›Contract social‹ (1762), mit allen vereinigt, »nur sich selbst gehorcht und ebenso frei bleibt wie er war.«

Die Demokratie kann auf eine eigene Ikonographie verzichten. Denn ihre Selbstdarstellung ereignet sich bereits im Vollzug einer freien Kunst. Das unterscheidet sie vom Bedarf an Macht- ausdruck in den so genannten Volksrepubliken des ehemaligen Ostblocks, von demjenigen des Faschismus ganz zu schweigen. Bei der Verknüpfung von moderner Kunst und Demokratie sah die marxistische Interpretation ein »ideologisch« widersprüchliches Ergebnis darin, dass zum ersten Mal in der Geschichte ein politisches System eine Kunst fördere, die sich nicht nur strikt weigere, politischen Systemen Bilder oder Symbole zu liefern, sondern die dazu auch noch das Prinzip der Demokratie von sich weise, eine Mehrheit müsse ihre Grundwerte rechtfertigen. Die Beobachtung des Sachverhalts trifft zweifellos zu. Doch sehen wir im Individualismus der Avantgarde keinen Widerspruch, sondern, im Gegenteil, die »ideologische«, genauer, die konstitutionelle Erfüllung der Demokratie. Der hohe kunstgeschichtliche Rang von ›Guernica‹ liegt nicht zuletzt in dem Umstand, dass dieser Zusammenhang sich hier auf monumentale Weise seiner selbst bewusst zu werden begann.

Ausschlaggebend ist dabei, wir wiederholen es, die Souveränität des Künstlers als solche. Sie bekräftigt die Macht, die vom Volk ausgeht. Der

## 8

Weltausstellung Paris 1937.  
Blick auf den deutschen und den spanischen (Kreismarkierung) Pavillon.





9

Sowjetischer Pavillon 1937,  
entworfen von Boris Iofan.  
Plastische Gruppe  
>Arbeiter und Kolchosbäuerin<  
von Vera Muchina.

10

Deutscher Pavillon 1937,  
entworfen von Albert Speer.

Avantgardekünstler braucht sich über seine konstitutionelle Rolle nicht im Klaren zu sein, und dem Volk mögen seine Werke nicht gefallen. In dem jedoch die Demokratie der Freiheit der Kunst – als einer Spielart der Meinungsfreiheit – selbst Verfassungsrang einräumt, waren und sind auch extreme künstlerische Äußerungen nicht nur von vornherein und grundsätzlich legitimiert. Sie erweisen darüber hinaus gerade auch da, wo sie sich betont eigenständig, individuell, avantgardistisch, provozierend und aggressiv gebärden, ihre staatstragende Bedeutung. Wo umgekehrt die freie schöpferische Entfaltung des Künstlers staatlicherseits eingeschränkt wird, ist nicht nur die Kunst, sondern die Demokratie selbst in Gefahr.

### Mangel an Propaganda

In der vom demokratischen Staat gewollten, vom Maler verwirklichten Freiheit der Kunst liegt die tiefere Ursache dafür, dass *Guernica* sich nicht auf gängige Denk- und Propagandamuster festlegen lässt.

Die deutschen Flugzeuge kommen im Gemälde nicht vor, auch keine Bomben und sonstige zeitgenössische Waffen, Soldaten und Embleme. Vielmehr bildete die Idee des Stierkampfs den Ausgangspunkt für die Metamorphosen der schöpferischen Konzeption 5. Mit dem Motiv der hochgereckten Faust, die in einem weiteren Schritt dann noch ein Ährenbündel vor strahlender Sonnenscheibe erhielt, fügte Picasso seiner Komposition, ganz im Einklang mit der Volksfront-propaganda, das Sinnbild des Sozialismus als vertikalen Akzent ein 6, 7. Dieses Motiv tilgte der Maler jedoch im weiteren Arbeitsverlauf wieder. Das Verschwinden lässt sich ziemlich genau datieren, und zwar zwischen den 11. und 20. Mai,

als die Regierung der Spanischen Republik unter dem Druck ihrer sowjetischen Berater wechselte und von nun an kommunistisch kontrolliert wurde. In Picassos Gemälde räumten Partei und Politik das Feld.

Als ahistorisch-übergeschichtliche Anklage gegen den Krieg sollte sich *Guernica* ganz allgemein als Parteinahme für das Leben darstellen. Damit sind politische Embleme und vordergründige Signale in der Tat überflüssig geworden. Das ist der Grund, warum Picasso derartige Sinnhülsen im Lauf der Entstehung des Gemäldes getilgt hat. Die Bildaussage wurde damit weitgehend neutralisiert. Am Ende hatte der liberale Künstler seinen Abstand zu den Kräften des Tagesgeschehens anschaulich wiederhergestellt. Insofern ist *Guernica* – beinahe – so unpolitisch, wie Picasso selbst es vor seiner Politisierung gewesen war.

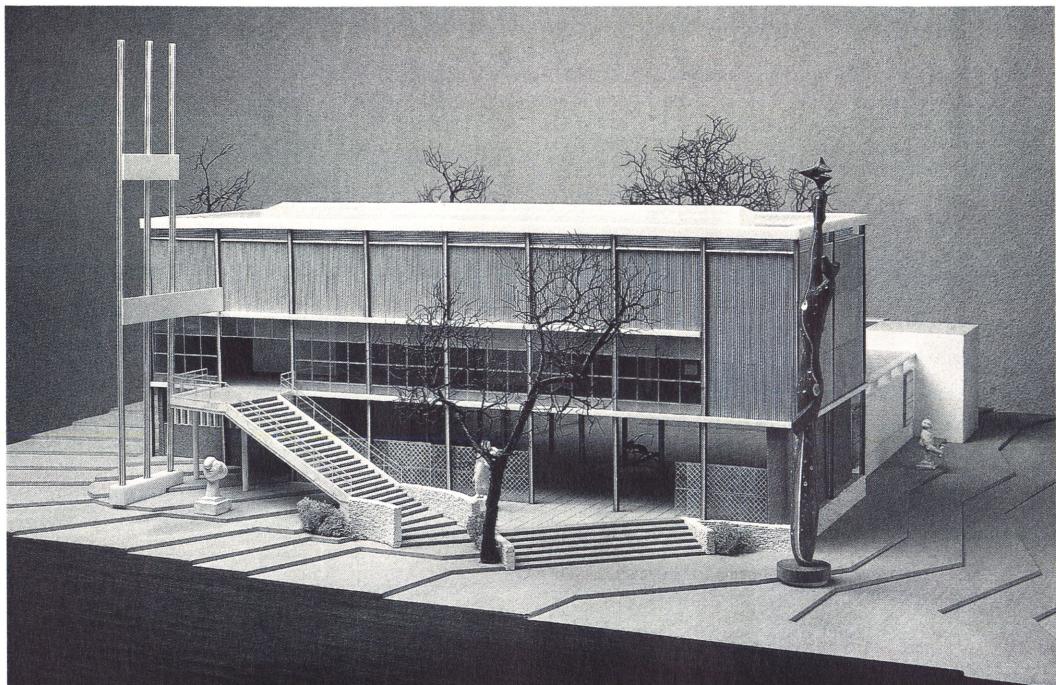
Anstelle von Parteilichkeit und Partikularität bot Picasso dem Publikum der Weltausstellung 8 eine universale menschliche Programmatik. Umso mehr konnte sein Werk unparteiische, internationale und überzeitliche Allgemeingültigkeit beanspruchen. Genau dies rief die Kritik der marxistischen Seite hervor. Im August 1937, nicht lange vor dem Beginn seiner Tätigkeit als Doppelagent für die Sowjets, kritisierte Anthony Blunt, der berühmte englische Kunsthistoriker, *Guernica* als Ausdruck einer privaten Grübelei, der durch nichts anzeigen, dass Picasso die politische Bedeutung von Guernica verstanden habe.

### Konfrontation mit der Diktatur

Im Bild der Anklage gegen den Krieg führte die bereits lebensgefährlich bedrohte Spanische Republik der Welt eine eindringliche Gebärde freiheitlichen Gewährenlassens vor Augen. Die zeitgeschichtliche Bedeutung der doppelten Demons-

11

Modell des spanischen Pavillons auf der Weltausstellung in Paris 1937, nach dem Projekt von Josep Lluis Sert und Juan Lacasa (nach Calvo Seraller).



tration ist kaum zu überschätzen. Vollends klar wird sie, wenn man das Kontrastprogramm betrachtet, das die Pavillons der totalitären Systeme vorstellten. Sie stammten von jenen Großmächten, die hinter den kämpfenden Parteien des Spanischen Bürgerkriegs standen, und bestätigten auf ihre Weise, nämlich in der Negation, den Zusammenhang von Avantgarde und Demokratie.

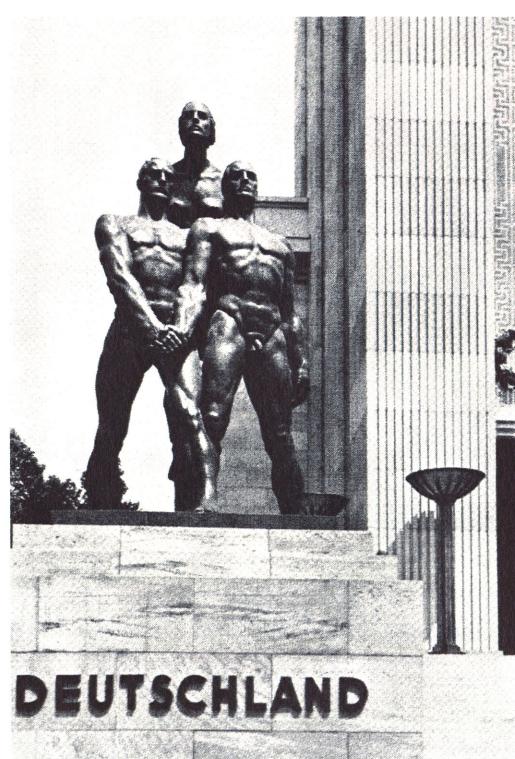
Die am 24. Mai 1937 eröffnete Weltausstellung fand auf dem Gelände des Trocadero-Parks statt, zu beiden Seiten der Promenade in der Achse zwischen Palais Chaillot und Eiffelturm 3. Die beiden größten Gebäude waren der von Albert Speer entworfene deutsche und der von Boris Iofan entworfene sowjetische Pavillon. Den kolossalisch-klassizistischen deutschen

Pavillon bekrönte der Hakenkreuz-Adler, den gleichfalls wuchtig-auftrumpfenden sowjetischen Pavillon die kolossale Figurengruppe ›Arbeiter und Kolchosbäuerin‹ von Vera Muchina 9, 10. Beide Pavillons standen einander gegenüber, getrennt durch die Promenade, der deutsche – vom Eiffelturm aus gesehen – auf der rechten, der sowjetische auf der linken Seite. Der kleine spanische Pavillon 11, entworfen von Juan Lacasa und Josep Lluis Sert und eröffnet erst am 12. Juli 1937, präsentierte sich dagegen transparent und elegant in der Formensprache einer modernen funktionalistischen Architektur im Sinne von Le Corbusier und Mies van der Rohe.

Eine bittere Ironie hatte den spanischen direkt neben den deutschen Pavillon platziert 8. Vor dem Eingang zu Speers Architektur verkörperten die sechs Meter hohen Figurengruppen von Josef Thorak – ›Kameradschaft‹ und ›Familie‹ 12 – in Bronze die Brutalität, die kurz zuvor die Stadt Guernica ausgelöscht hatte. Dabei verdeutlichte die räumliche Nähe zu Picassos ›Guernica‹ die Spaltung von faschistischer und moderner Kunst, und das heißt von totalitärer und demokratischer Kunst in Europa. Zeitgleich mit der Konstellation auf der Pariser Weltausstellung machte im Sommer 1937 in München das ›Haus der Deutschen Kunst‹ Front gegen die ›Entartete Kunst‹, die in einer Hetzausstellung in der nahe gelegenen Galeriestraße am Pranger stand. In seiner Eröffnungsrede am 18. Juli setzte Hitler ›das allgemeine gesunde Empfinden‹, ›normalen Menschenverstand und Instinkt‹ und die ›ewige deutsche Kunst‹ gegen Impressionismus, Kubismus, Futurismus und Dadaismus, gegen die ›verrücktesten Ausgeburten‹, ›kulturlosen Narreteien‹, ›gekünsteltes Gestamml‹ und ›eine Kunstproduktion, die die Höhe der Leistung von achtjährigen Kindern nicht überschreitet‹. Der Kunst der ›Verfallszeit‹, d. h. der Weimarer Republik und damit der Demokratie, kündigte der Diktator ›die Stunde der Beseitigung‹ und ›einen unerbittlichen Säuberungskrieg‹ an.

12

Josef Thorak: Kameradschaft. Deutscher Pavillon 1937.





13

Französischer Presseartikel über die Eröffnung des ›Hauses der Deutschen Kunst‹ in München (Excelsior, 20. Juli 1937). Aus dem Nachlass Picassos (nach Spies).

Der alte Streit zwischen konservativer Beharrung und moderner Avantgarde, wie ihn das 20. vom 19. Jahrhundert geerbt hatte, war staatlicherseits zum Vernichtungsfeldzug pervertiert. In Picassos Nachlass fanden sich zwei französische Presseartikel über die Eröffnung des ›Hauses der Deutschen Kunst‹ und Hitlers Kampfansage an die Moderne. Der Maler hatte sie offenbar selbst aus der Zeitung gerissen und aufgehoben, ein Zeichen dafür, wie sehr er sich von diesen Vorgängen betroffen fühlte 13. Die Konstellation, in welcher der spanische Pavillon sich auf der Pariser Weltausstellung präsentieren musste, war aber noch in anderer Hinsicht bedeutsam. Auf das Ambiente von ›Guernica‹ warf nicht nur der deutsche Pavillon 10 seinen totalitären Schatten. Vom Dach des sowjetischen Pavillons schräg gegenüber drohte, nicht minder megaloman, der Vormarsch von ›Arbeiter und Kolchosbäuerin‹ mit Hammer und Sichel in hochgereckter Faust 9. In pathetischer Pose pochten die Helden der kämpfenden Arbeiterklasse darauf, dass auch aus Stalins Staat, der die Volksfront in Spanien unterstützte, die Kunst der Avantgarde verbannt war.

Dass diese Gefahr tatsächlich im Vormarsch war, zeigen einige Verunglimpfungen von ›Guernica‹ auf Seiten der Volksfront. So wurde dem Bild ein Mangel an Heroismus vorgeworfen. Es sei »gesellschaftswidrig, lächerlich« und »dem gesunden Empfinden des Proletariats völlig fremd«. Vorübergehend war unter der Regierung des letzten Premierministers der Spanischen Republik, des Sozialisten Juan Negrín, sogar daran gedacht, ›Guernica‹ aus dem spanischen Pavillon zu entfernen. Allein der propagandistische Wert von Picassos Weltruhm und die Furcht vor dem internationalen Skandal verhinderten dies.

#### Exil und Heimkehr

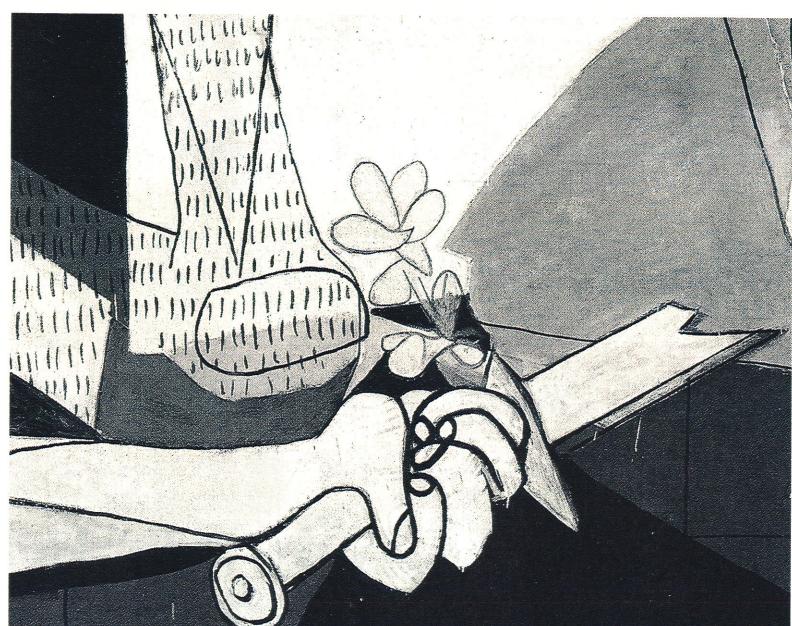
Der demokratische Charakter von ›Guernica‹ sollte sich schließlich im weiteren Schicksal des

Bildes bestätigen. Es war ein Emigrantenschicksal, bedingt durch die Franco-Diktatur, genauer, durch das Fehlen der staatspolitischen Rahmenbedingungen, die Picasso selbst bis an sein Lebensende zur Voraussetzung für eine Übergabe des Werks an das spanische Volk gemacht hat.

Am 1. November 1937 endete die Weltausstellung in Paris. Angesichts der wachsenden deutschen Bedrohung in Europa verzichtete die französische Regierung auf eine Wiedereröffnung im nächsten Sommer. Im Januar 1938 beschloss sie, alle Pavillons abreißen zu lassen. Picasso schickte sein Gemälde zunächst zu Ausstellungen nach Norwegen, Dänemark und Schweden, dann nach London und Manchester. Das Vaterland von ›Guernica‹ rückte in weite Ferne. Am 1. Mai 1939 traf das Bild per Schiff in New York ein, begleitet von Juan Negrín, dem letzten Premierminister der Spanischen Republik. Er war zwei Monate zuvor

14

Pablo Picasso: Guernica, Detail: Blühende Blume über Kriegerfaust mit zerbrochenem Schwert. (Madrid, Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofia).



Prof. Dr. phil.

**Jörg Traeger**

geb. 1942 in Rosenheim/Inn.

Studium der Kunstgeschichte,

Klassischen Archäologie, Philosophie

und Geschichtlichen Hilfswissen-

schaften an der Universität München.

Nach Habilitation 1973 Assistent

an der Biblioteca Hertziana

(Max-Planck-Institut) in Rom

und am Institut für Kunstgeschichte

der Universität München,

1971–1974 Forschungsstipendiat

an der Hamburger Kunsthalle.

Seit 1976 Lehrstuhl für Kunst-

geschichte an der Universität

Regensburg. 1986–1988 Vize-

präsident der Universität Regensburg.

1991 Albertus-Magnus-Medaille

der Stadt Regensburg. Seit 1997

ordentliches Mitglied der Bayerischen

Akademie der Wissenschaften.

1999 Visiting Member am Institute

for Advanced Study in Princeton.

**Forschungsschwerpunkte:**

Europäische Kunstgeschichte

in Mittelalter, Renaissance

und romantischer Epoche; Raphael,

Goya, Runge und Delacroix.

nach Frankreich geflohen. Picasso stellte sein Bild als Leihgabe für eine Ausstellung zur Verfügung, deren Ertrag der amerikanischen ›Spanish Refugee Relief Campaign‹ zugute kommen sollte, also den Flüchtlingen des Bürgerkriegs.

Doch auch im klassischen Land der Demokratie wurde die freiheitliche Gestaltungsweise seiner Kunst als Kampfansage verstanden **14**. Bei der Wanderausstellung 1939 durch mehrere große Städte der USA spaltete ›Guernica‹ das Publikum in Anhänger und Gegner. Fernab vom europäischen Brennpunkt des faschistischen Kulturreiches formierte sich auch in der amerikanischen Provinz die Phalanx der Pfahlbürger. Die Presse in Los Angeles proklamierte öffentlichen Widerstand gegen so genannte Kuckuckskunst, diffamierte die Malerei der Avantgarde als ›bunk‹ und ›ugly‹ und unterstützte den Kampf der ultrakonservativen, regionalistischen Sanity-in-Art-Bewegung gegen ›foreign influence‹. Die Gesundheit der Thorak'schen Kameraden **12** scheint ansteckend gewesen zu sein.

Im November 1939 hing ›Guernica‹ dann in der großen Picasso-Retrospektive des Museum of Modern Art in New York. Der Aufenthalt in Amerika, ursprünglich geplant für wenige Monate, sollte – in der Obhut des Museum of Modern Art – 42 Jahre dauern.

Die Gründe für dieses Exil hat Picasso selbst benannt. Sie lagen im Franco-Regime, das nicht enden wollte. 1939 betonte Picasso wiederholt gegenüber Luis Araquistáin, dem ehemaligen Botschafter in Paris, dass ›Guernica‹ erst dann dem künstlerischen Patrimonium Spaniens angehören solle, wenn die Republik wiederhergestellt sei. 1970 schrieb der fast neunzigjährige Künstler dem Museum of Modern Art, dass ›Guernica‹ einschließlich aller damit verbundenen Skizzen den ›qualifizierten Repräsentanten‹ der Spanischen Regierung zurückzugeben sei, ›wenn die bürgerlichen Freiheiten in Spanien wiederhergestellt sind‹.

Seine letzte Reise nach Spanien hatte Picasso 1934 unternommen. Indem er seinem Meisterwerk für die Dauer der Diktatur den Status des Exils verlieh, stellte er zugleich auch sein eigenes Verbleiben in der Wahlheimat Frankreich, wo er die Kunst der klassischen Moderne 1907 mit den ›Demoiselles d'Avignon‹ begründet hatte, unter das Vorzeichen der Emigration. Den Boden Spaniens sollte Picasso nicht mehr betreten. Der Diktator hat den Künstler überlebt. Picasso starb am 8. April 1973 im südfranzösischen Mougins, Franco am 20. November 1975 in Madrid.

Die Hoffnung, die Picassos Gemälde in das Symbol der blühenden Blume über der Kriegerfaust mit dem zerbrochenen Schwert gekleidet hatte **14**, konnte damit endlich in Erfüllung gehen. Im August 1977 trat das frei gewählte Parlament in Madrid zusammen. Als eine seiner ersten Maßnahmen beschloss es die förmliche Repatriierung der sterblichen Hülle Alfons' XIII., des letzten spanischen Königs, ferner der sterblichen Hülle von Manuel Azaña, der ihm als erster Präsident der Republik nachgefolgt war, sowie von ›Guernica‹. Alle Parteien in den Cortes stimmten

für die Heimkehr des Bildes, das die Presse als ›gibraltarisiert‹ und als ›Spaniens letzten Exilieren‹ bezeichnete. Der amerikanische Kongress in Washington unterstützte das Projekt, indem er der Ratifizierung eines Freundschaftspakts mit Spanien, beschlossen bereits zwei Monate nach Francos Tod, am 7. Oktober 1978 eine Resolution hinzufügte. Ihr zufolge sollte ›Guernica‹ in naher Zukunft und durch geeignete gesetzliche Schritte dem Volk und der Regierung eines demokratischen Spaniens übergeben werden.

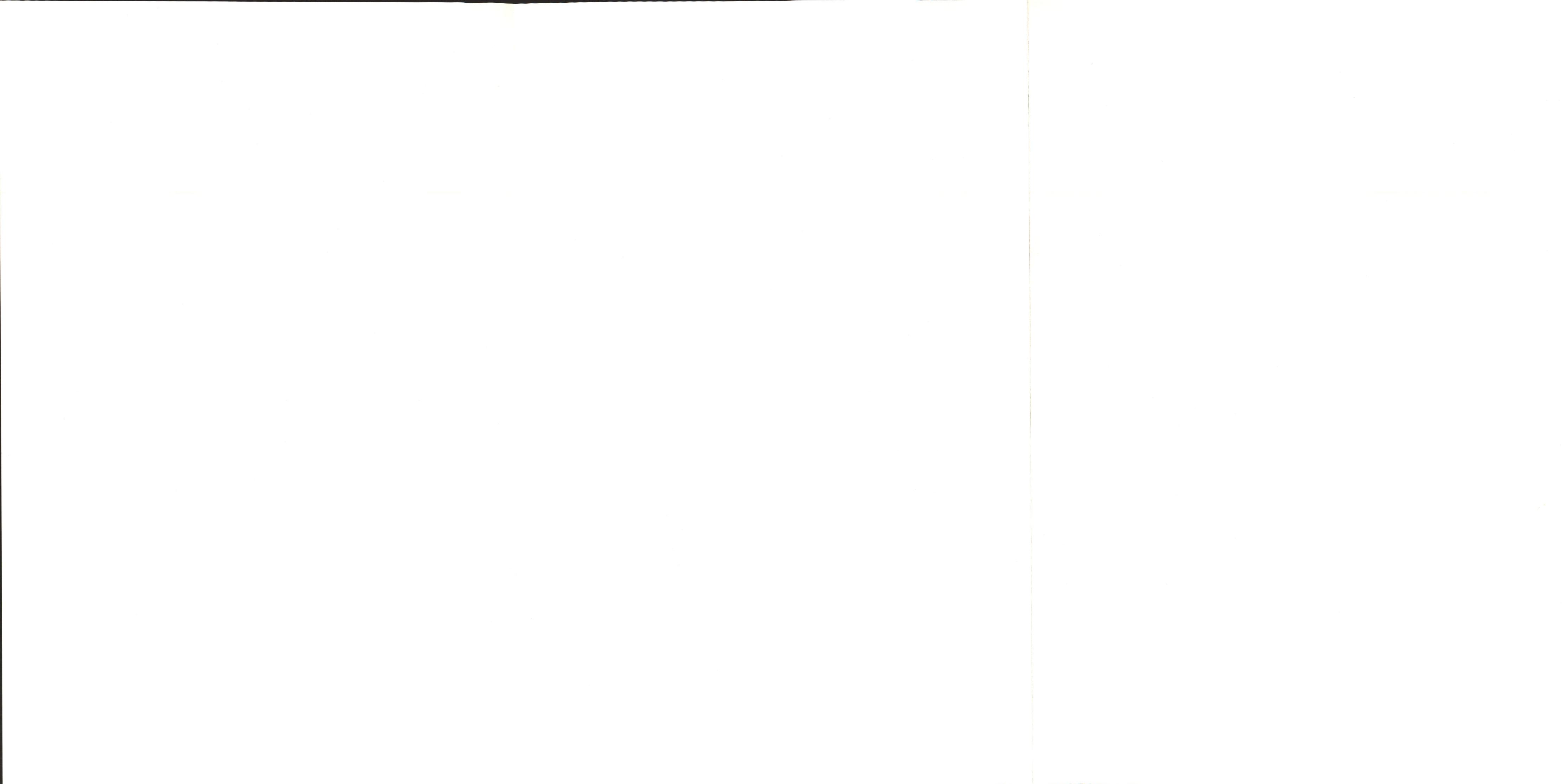
In einem nationalen Referendum wurde am 6. Dezember 1978 eine spanische Verfassung angenommen, die u. a. die Menschenrechte garantierte. Drei Wochen später wurde die Verfassung von König Juan Carlos unterzeichnet. Damit war der Weg zur Heimkehr von ›Guernica‹ endgültig frei. Am 9. September 1981 schlossen die spanische Regierung und das Museum of Modern Art einen Vertrag über die Rückerstattung. Einen Tag später traf ›Guernica‹ unter Polizeischutz auf dem Flughafen von Madrid ein, von der Presse begrüßt als ›letzter Flüchtling des Bürgerkriegs‹. Die Ankunft war geheim gehalten worden, weil man antidemokratische Demonstrationen sowohl der extremen Linken als auch der extremen Rechten befürchtete.

Am 23. und 24. Oktober 1981 fand die Inauguration im zum Prado gehörenden Casón del Buen Retiro statt. Der spanische Premierminister Adolfo Suárez meinte, in Anspielung wohl auf Goyas ›Desastres de la guerra‹, ein guter Titel für das Bild wäre ›Schrecken des Krieges‹. Die Offenheit der politischen Botschaft von Picassos Werk hat er damit angemessen benannt. Vor dem Gemälde konnte man Vertreter aus allen Lagern sehen, Liberale, Falangisten und Sozialisten, dazu so gegensätzliche Persönlichkeiten wie die Herzogin von Alba und Dolores Ibárruri (›La Pasionaria‹), die legendäre kommunistische Führerin während der Verteidigung von Madrid. Aus den Gegnern von einst war eine Gemeinde geworden, festlich und freiheitlich versammelt im Namen von ›Guernica‹.

Die Heimkehr von ›Guernica‹ ins museale Herz Spaniens war zunächst gewiss ein patriotisches Ereignis. Das aus einer erbitterten Entzweiung hervorgegangene, im Grunde aber unparteiische Kunstwerk hat zuletzt Frieden zwischen den Parteien gestiftet. Das Sinnbild des Bürgerkriegs, das vordergründige Propaganda vermied, erwies sich als Sinnbild nationaler Versöhnung. Die Heimkehr stellte aber auch ein konstitutionelles Ereignis dar. Dem liberalen Charakter von ›Guernica‹ konnten nunmehr endlich jene politischen Rezeptionsbedingungen antworten, die Picasso mit seinem Geschenk an das spanische Volk verwirklicht sehen wollte. Hier liegt der tiefere Sinn des historischen Vorgangs. Der Avantgardekünstler schlechthin war zum Klassiker geworden, die Souveränität seiner schöpferischen Phantasie und Wandlungsfähigkeit zum Inbegriff individueller und damit staatsbürglicher Freiheit und das berühmteste Antikriegsbild des 20. Jahrhunderts zugleich zu einer Ikone der Demokratie.



Pablo Picasso: Guernica. 1937. Öl auf Leinwand. 3,51 x 7,82 m (Madrid, Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía). © Succession Picasso/VG Bild-Kunst, Bonn 2001.





Pablo Picasso:  
Guernica. 1937.  
Öl auf Leinwand. 3,51x7,82 m  
(Madrid, Museo Nacional Centro de  
Arte Reina Sofía).

# Kollege Computer, bitte zum OP!

## Computersysteme übernehmen Navigationsfunktionen in der Chirurgie

### Wiederherstellende Chirurgie

**Wer möchte schon gerne von einem stählernen Roboterarm operiert werden? An der Seite des Chirurgen erweist sich »Kollege Computer« aber als äußerst hilfreich, wenn es darum geht, angeborene oder durch Unfall entstandene knöcherne Fehlstellungen zu beheben. Bereits bei der Operationsplanung spielen die Methoden der »Virtual Reality« und interaktive 3-D-Simulationen eine herausragende Rolle. Während des Eingriffs helfen Echtzeitalgorithmen und ein reaktionsschnelles Infrarotsensorsystem dem Chirurgen, Knochensegmente exakt in der geplanten Zielstellung zu positionieren.**

Fehlstellungen von Knochen im Gesichts- und Kieferbereich können angeboren sein; häufig sind sie aber auch Ergebnis schlecht verheilter Unfallverletzungen. Treten als Folge einer Fehlstellung noch Sehstörungen oder andere dauerhafte Beschwerden hinzu, dann ist ein chirurgischer Eingriff mehr als nur eine Frage der Kosmetik. Operationen im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich sind jedoch Millimeterarbeit. Sie verlangen dem Chirurgen ein Höchstmaß an Augenmaß – manchmal im eigentlichen Sinn des Wortes – und Konzentration ab. Das persönliche Geschick des Chirurgen ist jedoch ein höchst subjektives Kriterium bei der Behebung von knöchernen Fehlstellungen. Oft überdecken Schichten von Haut und Unterhautgewebe die fehlstehende Knochenstruktur und erschweren im Operationsgebiet die Beurteilung der korrekten Zielposition. Mit einem geeigneten Simulator können im Vorfeld der Operation alle Schritte des Eingriffs geplant und anschließend während der Operation am Patienten mit Hilfe des »Kollegen Computer« 1 reproduziert werden. Während der Operationsplanung kann dabei – im Gegensatz zum Eingriff am Patienten – der Blick auf den Knochen durch ein »Ablösen« von Haut und Unterhaut freigegeben werden, so dass der Chirurg viel exakter und schneller die korrekte Zielposition einer fehlstehenden Knochenstruktur finden kann.

#### LUCAS, der Simulator

Aus medizinischer Sicht stellte sich bei dem hier gewählten Beispiel die Aufgabe einer linksseitigen Umstellungosteotomie (Durchtrennen eines Knochens zur Neupositionierung) der Augenhöhlewand, indiziert durch einen Tiefstand und eine eingeschränkte Beweglichkeit des linken Augapfels in Verbindung mit starken Sehstörungen. Um Eingriffe dieser Art simulieren zu können,

wurde an der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universität Regensburg eine Laboreinheit zur computerunterstützten Chirurgie (Laboratory Unit for Computer Aided Surgery, LUCAS) entwickelt. Dieses Computerprogramm ist in der Lage, den Schädelknochen für Zwecke der Diagnoseunterstützung dreidimensional darzustellen und erlaubt darüber hinaus auch, Versetzungen von Oberflächenbereichen interaktiv zu simulieren. Die Bilder auf der nächsten Doppelseite illustrieren, wie eine vorher ausgewählte Region auf der Oberfläche des Schädelknochens markiert und anschließend beliebig um alle drei Achsen gedreht bzw. entlang dieser Achsen verschoben werden kann. LUCAS speichert dabei die Koordinaten der Ausgangs- und Zielposition des verschobenen Bereichs ab. Diese Daten verwendet der Computer später während der Operation, um den Chirurgen bei der Neupositionierung des realen Knochensegments am Patienten zu unterstützen. LUCAS basiert auf Methoden und Verfahren der »Virtual Reality«.

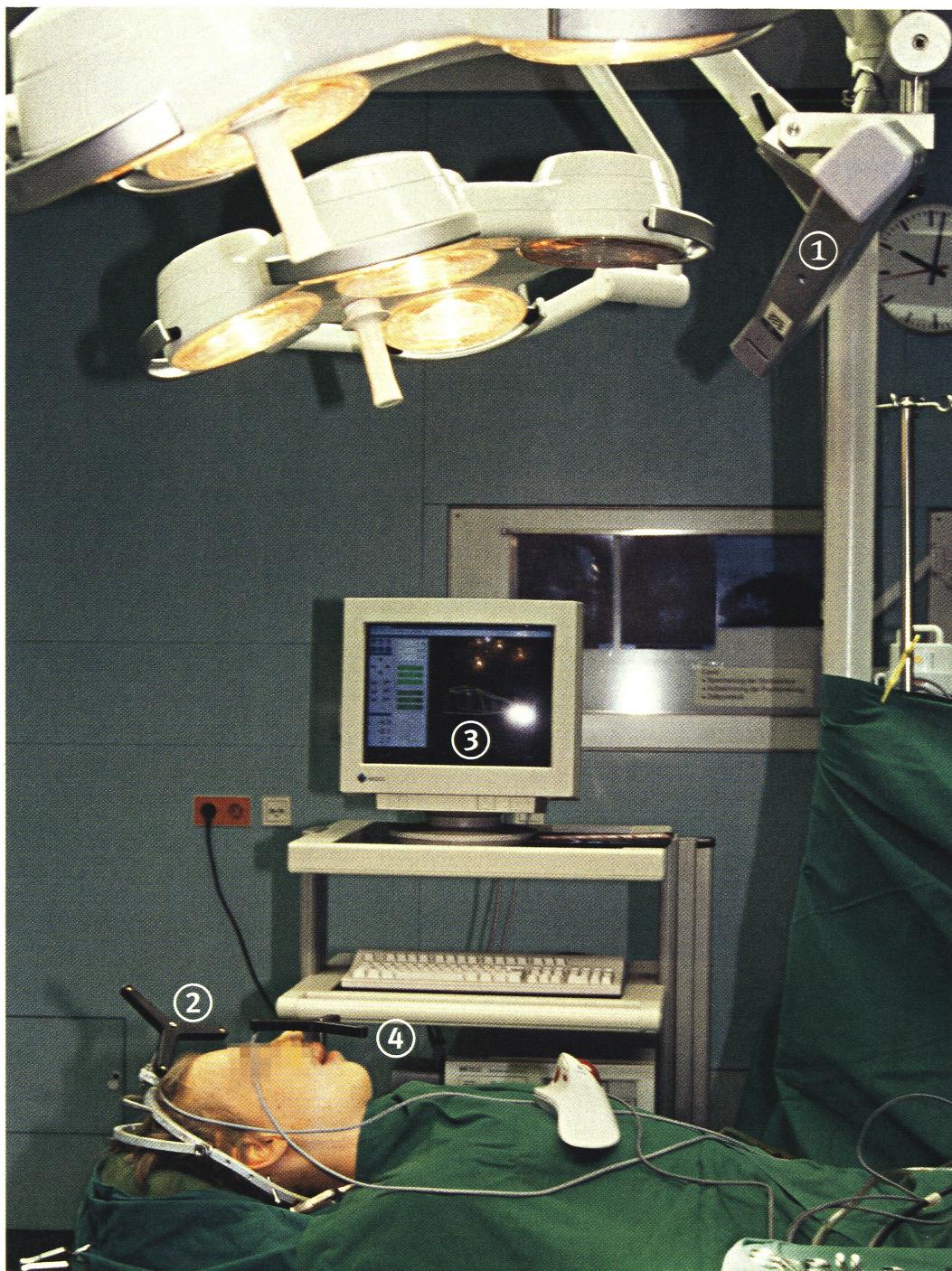
#### »Virtual Reality« in der Diagnostik

»Virtual Reality« (VR) – die texturierte und virtuell beleuchtete 3-D-Darstellung beliebiger Objekte aus der Wirklichkeit, die im Computerraum nachgebildet werden – übernimmt bei der Operationsplanung die Aufgabe der visuellen Aufbereitung der Patientendaten, die zunächst als »Schichten« (Slices) von Röntgenbildern aus dem Computer-tomographen (CT) vorliegen 2.

Bei einer Auflösung von 512 mal 512 Bildpunkten pro »Slice« summiert sich die Zahl der Bildpunkte (»Pixel«) bei 180 Einzelbildern leicht auf mehrere Millionen Bildpunkte.

Diese Rohinformation durchläuft mehrere Phasen der Aufbereitung 3, bis die ursprüngliche Information in der für die Operationsplanung benötigten Form vorliegt:

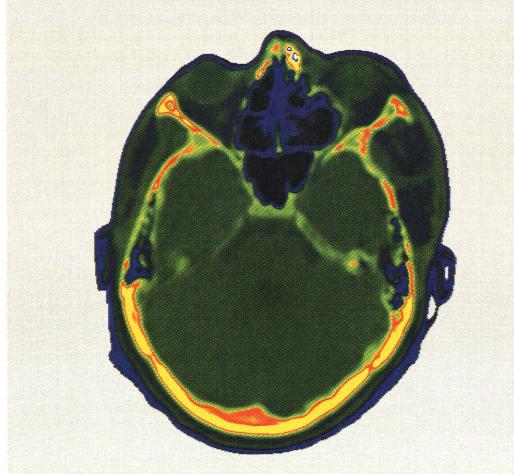
- Bildaufwertungen durch Helligkeits- und Kontraststeigerungen
- Konturverstärkung durch spezielle Grafik-Filter 3, welche die Helligkeitsunterschiede betonen
- Segmentation, d. h. das Herauslösen des Knochenmantels aus dem CT 4
- Abspeichern der Knochenumrisse als Polygondaten
- 3-D-Darstellungen auf dem Computerbildschirm 5 und 6 mit Hilfe von »Virtual Reality«-Methoden



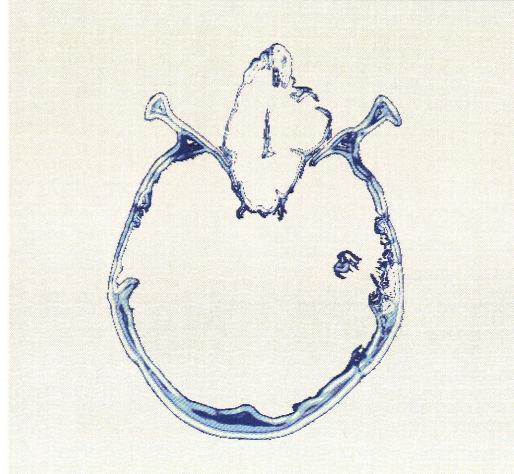
1

- »Kollege Computer« bei der Arbeit im Operationssaal:
- ① Infrarot-Empfängerbalken
  - ② Rahmen mit Infrarotsendern, die den Ursprung des Patienten-Koordinatensystems festlegen
  - ③ Die SSN-Workstation zur intra-operativen Navigation
  - ④ Rahmen mit Infrarot-Sendern, die die Relativbewegungen des gelösten (d. h. osteotomierten) Knochensegments registrieren

Computertomogramm



Bildaufbereitung



2

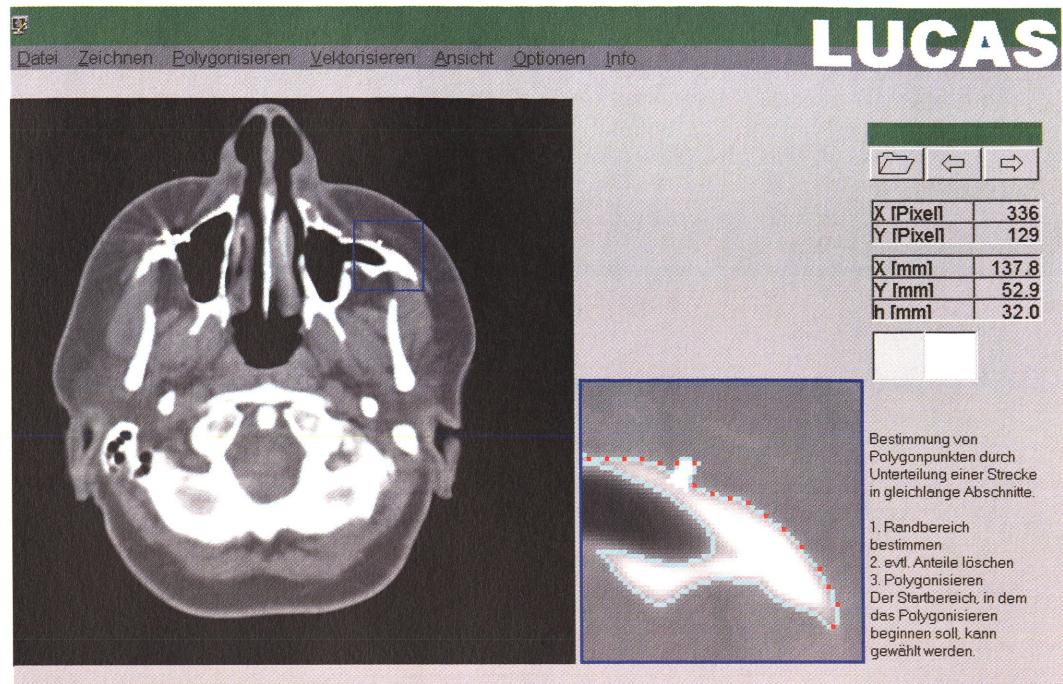
- Axialer CT-Schnitt durch den menschlichen Schädel:  
Die Nebenhöhlen und der Nasenrücken in der oberen Bildmitte sowie die seitlichen Knorpel des Ohres verdeutlichen die Lage der Schnittebene; hellgrüne, gelbe und orangefarbene Bereiche kennzeichnen die Knochensubstanz.

3

- Dieselbe Schicht wie in 2, jedoch nach mehreren digitalen Bearbeitungsschritten zur Beseitigung von Bildrauschen, zur Kantenbetonung und Kontrastverstärkung.

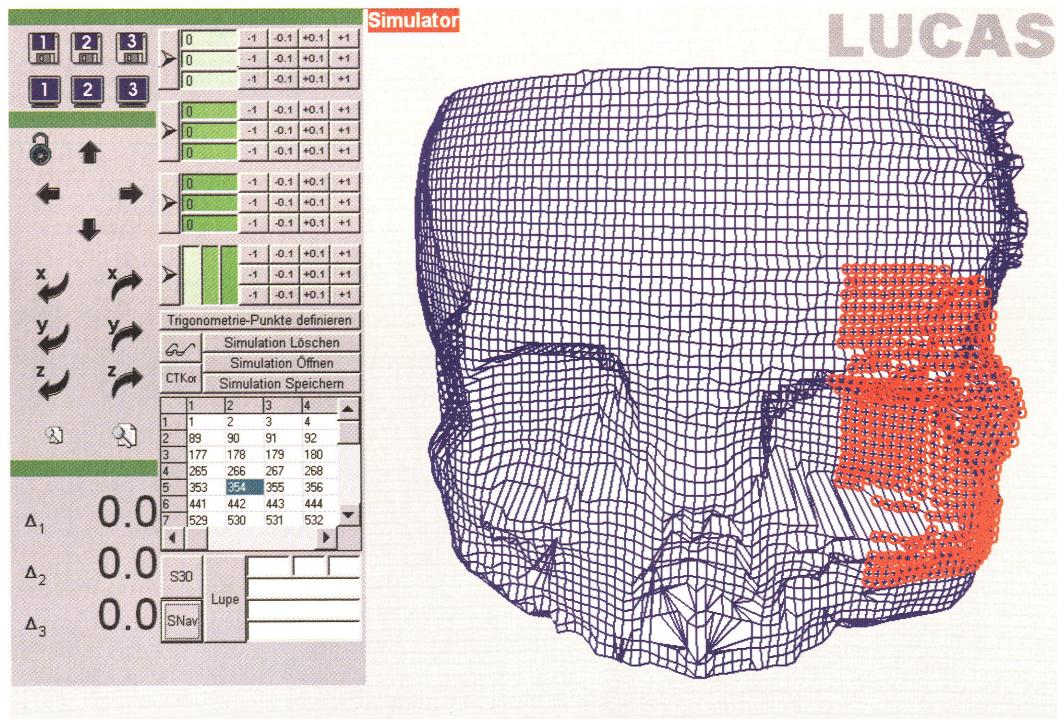
4

Aufsuchen des Schädelknochens durch Segmentation; die hellblauen Linien kennzeichnen den Umriss des Knochenmantels. Sie werden zur späteren 3-D-Visualisierung in einem separaten Datensatz als Polygonzug abgespeichert.



5

Der vektorisierte Datensatz auf der LUCAS-Workstation. Die Auflösung des Bildes beträgt 90 Bildpunkte pro Schicht; verwendet wurde ein Stapel von 50 Einzelschichten. Darstellung als Gittermodell.



Erst der Einsatz der »Virtual Reality« (VR), das heißt das Aufbringen von Texturen und künstliches Beleuchten des so gewonnenen 3-D-Datenmaterials 5, ermöglicht es, die für die OP-Planung wichtigen Details sichtbar und realistisch-plastisch hervorzuheben.

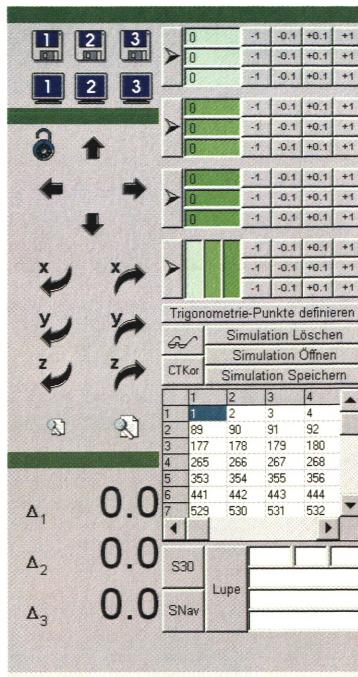
Deutlich zu erkennen sind in 6 die wulstigen Verdickungen des Osteosynthesematerials (Metallplatten und Metallschrauben zur Fixierung von Knochenfragmenten) an der Schädelkalotte, den Augenhöhlenwänden und der Jochbeinregion sowie die asymmetrische Position der linken und der rechten Augenhöhle.

### 3-D-Lokalisieren und -Navigieren

Das VR-System für die Operationsplanung 7 definiert ein Koordinatensystem, in welchem die

Ausgangs- und die Zielstellung fehlstehender Knochensegmente dokumentiert werden. Eine Übertragung der durch die Simulation gewonnenen Erkenntnisse auf den Patienten ist jedoch nur dann möglich, wenn ein Lokalisationssystem zum Einsatz kommt, das die relevanten Bewegungen und Positionen (Rotation und Translation) eines fehlstehenden Knochensegments während der Operation schnell registrieren und in Echtzeit mit den Planungsdaten in Beziehung bringen kann.

Zur eindeutigen Registrierung von Drehungen und Verschiebungen eines Körpers genügt es, drei Punkte mit ihren jeweiligen Koordinaten festzulegen. Ein Navigationssystem benötigt deswegen drei Lokalisierungssensoren, um räumliche Bewegungen eines Objekts eindeutig festzuhalten.



Simulator

# LUCAS

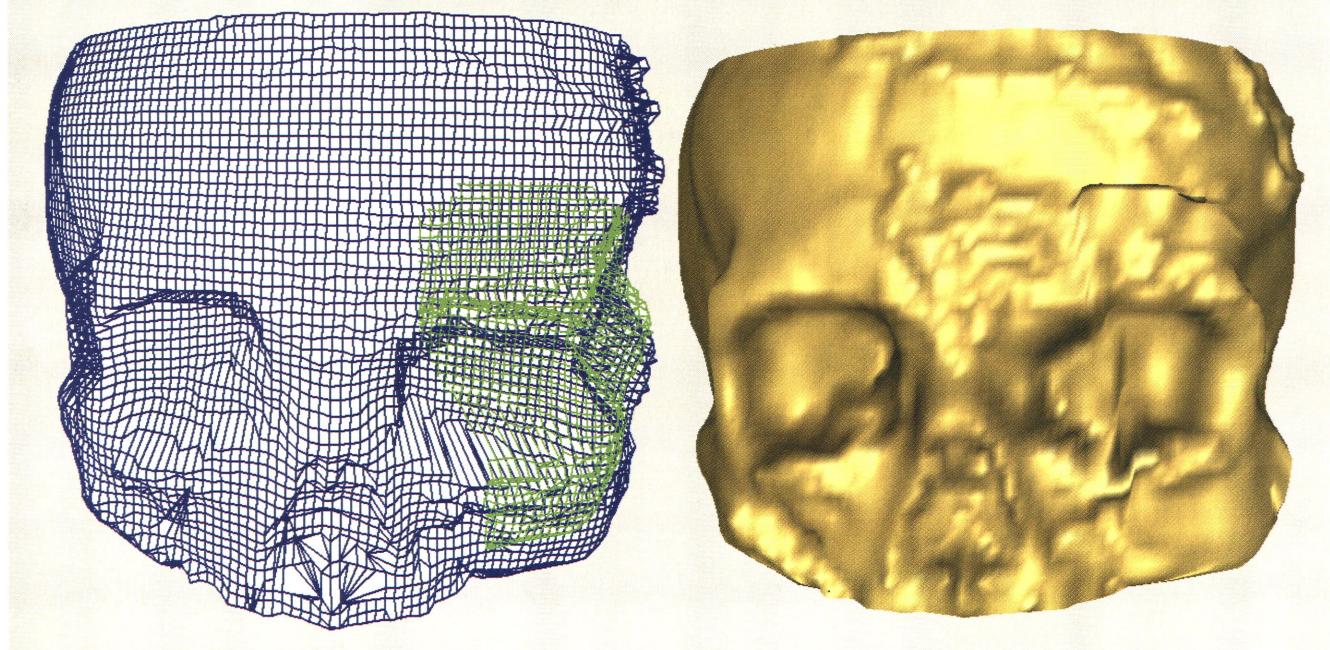
6

Texturierte Darstellung des vektorisierten CT-Datensatzes: Das Osteosynthesematerial eines vorangegangenen Eingriffs hebt sich im Bereich der Schädelkalotte, der Augenhöhlenwände und der Jochbeinregion plastisch hervor.

7

Simulation einer Knochenumstellung anhand der Oberflächendarstellung: Grüne Gitterbereiche kennzeichnen die geplante Zielstellung und damit die Verschiebung aus der Ausgangslage (rote Gitterlinien in 5). Ein Vergleich mit 6 demonstriert die Vorteile der texturierten Darstellung bei der Beurteilung der Symmetrierausstattung zwischen linker und rechter Gesichtshälfte.

Vergleich Darstellungsverfahren: Datensatz als *Gittermodell* und als *texturiertes Oberflächenmodell*



Ein so genannter dynamischer Referenzrahmen (Dynamic Reference Frame, DRF), ausgestattet mit drei Infrarot-Sendern, ist dazu in der Lage 8.

Damit der Kopf des Patienten während der Operation nicht in einer so genannten Mayfield-Klemme wie in einem Schraubstock fest verspannt werden muss (was die Arbeit eines Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen sehr erschweren würde), besitzt die Anordnung in 8 zwei Referenzrahmen, weil es genügt, die Bewegung des umzustellenden Knochensegments relativ zu einem *festen* Punkt auf dem Kopf des Patienten aufzuzeichnen. Der erste Rahmen (DRF<sub>1</sub>) definiert deshalb den Koordinatenursprung im System des Patientenschädels, während der zweite Rahmen (DRF<sub>2</sub>) alle Bewegungen des umzustellenden Segments relativ zu DRF<sub>1</sub> registriert.

## Planungs- und Patientensystem

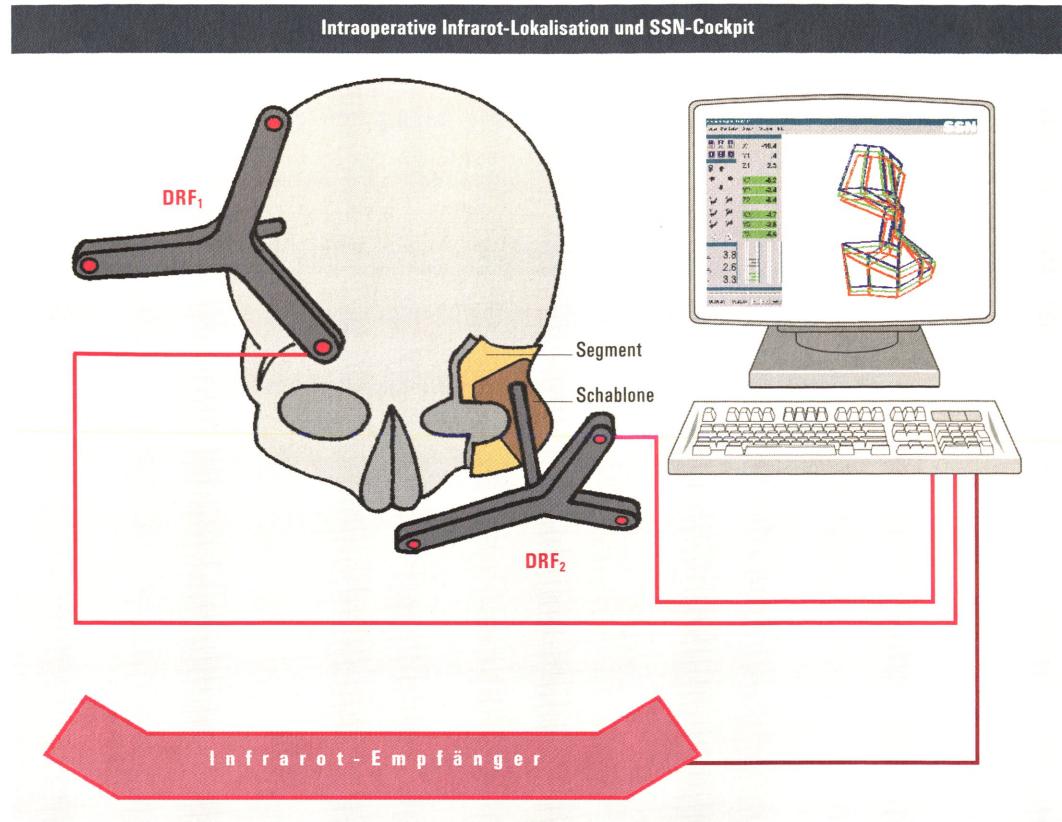
Woher weiß der Chirurg während der Operation, wo die exakte Zielposition des umzustellenden Segments liegt?

Das Infrarot-System liefert mithilfe von DRF<sub>1</sub> und DRF<sub>2</sub> zwar laufend und in Echtzeit Koordinateninformationen an eine Workstation. Die Koordinatensysteme der Planungsphase und des Operationsgebiets unterscheiden sich jedoch hinsichtlich Lage und Orientierung. Damit das Navigationssystem funktioniert, ist eine Transformationsbeziehung notwendig, die beide Koordinatensysteme ineinander überführt.

Falls es also möglich ist, die Position eines dynamischen Referenzrahmens in das Planungssystem einzusetzen, hat man diese Beziehung gefunden. In der anfänglichen Version von LUCAS wurden

8

Vereinfachte Darstellung des verwendeten Infrarot-Lokalisationsystems:  
 DRF<sub>1</sub>, Feststehender dynamischer Referenzrahmen, der den Ursprung des Patienten-Koordinatensystems definiert  
 DRF<sub>2</sub>, Referenzrahmen, der die Position des umzustellenden Segments aufzeichnet



9

Dynamischer Referenzrahmen (DRF<sub>2</sub>) mit individueller Schablone, die einer charakteristischen Fläche auf dem Knochen nachgeformt ist und dort ortsgenau einrastet. Der Referenzrahmen mit den drei Infrarot-Sendern ist später fest am Kopf des Patienten montiert. Der Rahmen muss auch vom 3-D-Laser-Scanner präzise lokalisierbar sein, damit die Referenzierung über den Weichteilmantel funktioniert.

dazu nach dem Erstellen des CT-Datensatzes drei Messartefakte (drei Würfel mit einer jeweiligen Kantenlänge von 1,2 mm) in den CT-Datensatz eingezeichnet. Eines dieser Artefakte erscheint in 9 als vergrößerter Ausschnitt.

Im Anschluss daran wird ein kleines dreidimensionales Kunststoffmodell (ein *Stereolithographiemodell*) erstellt, das ein genaues Abbild der relevanten Ausschnitte des Schädelknochens repräsentiert. Das Stereolithographiemodell bildet diese Artefakte scharfkantig ab. Schließlich wird eine Schablone angefertigt, die ein genaues Negativ des relevanten Oberflächenausschnittes auf dem Modell darstellt und deshalb nur an einer bestimmten Stelle des Schädelknochens – oder eben des Modells – einrastet 10.

Ein frei beweglicher Infrarot-Stift (ein kleiner Messstab, auf dem zwei Infrarot-Sender befestigt sind und dessen Spitze mit hoher räumlicher

Präzision von einem Empfänger geortet wird) ist nun in der Lage, die Position der Messartefakte für das Infrarot-Lokalisierungssystem mit hoher Genauigkeit zu vermessen.

Infolge der starren Befestigung von DRF<sub>2</sub> an der individuellen Schablone ist jetzt auch die relative Position der daran befestigten Infrarot-Sender bezüglich der Messartefakte bekannt und somit die Beziehung zwischen dem Planungssystem und dem Patientensystem vollständig hergestellt. Erst jetzt ist es möglich, die räumliche Versetzung eines Knochensegments (bzw. der daran befestigten Infrarot-Sender) in der von LUCAS simulierten Art und Weise (9, 10 und 11) mithilfe der Schablone auf den Operationssitus (d. h. den Patienten im Operationssaal) zu übertragen.

#### SSN: Unterstützen statt Eingreifen

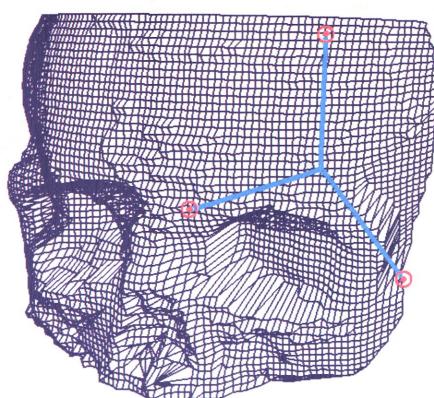
Während eines Eingriffs hat der Chirurg buchstäblich alle Hände voll zu tun, so dass für komplizierte Apparaturen nur wenig Bedienungsaufwand anfallen darf. Deshalb ist es wichtig, dass der Computer aus der anfallenden Datenflut jene Informationen filtert und aufbereitet, die wirklich notwendig sind. Diese Aufgabe erfüllt der Surgical Segment Navigator (SSN), indem er einerseits das Datenmaterial der OP-Planung und -simulation von LUCAS übernimmt und andererseits die Daten aus der Simulation und dem OP-Situs in einer aussagekräftigen Darstellung gegenüberstellt.

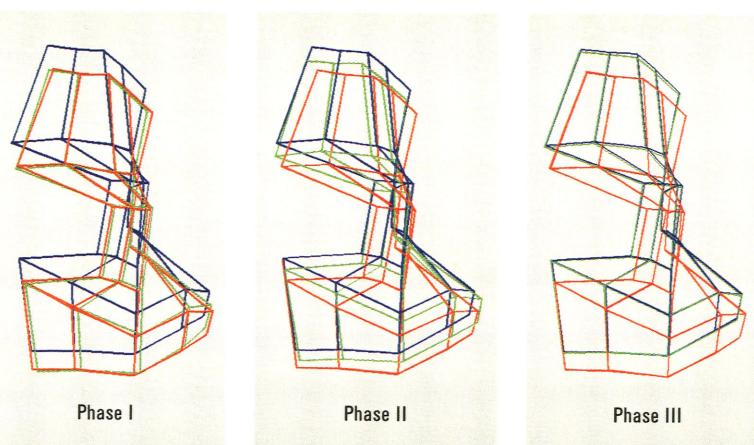
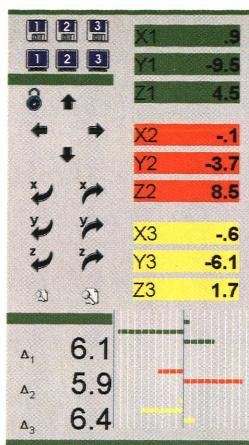
Bild 11 zeigt diese Informationen in numerischer Form, nämlich als Koordinaten der räumlichen Lage des umzustellenden Knochensegments und gleichzeitig als vereinfachter Polygonenzug, so wie sie »Kollege Computer« während der Operation für den Operateur aufbereitet. Einen Einblick in das »Cockpit« des SSN gewährt

10

Einblenden des Referenzrahmens DRF<sub>2</sub> aus dem Patientensystem in das Planungssystem.

#### Datensatz mit einprojiziertem DRF<sub>2</sub>





der Bildschirm in **11**. Der Computer berechnet in Echtzeit jeweils die aktuelle Position relativ zur berechneten Zielstellung und zeigt dies als Differenz der Raumkoordinaten dreier Knochenpunkte in einem dreifarbigem Balkendiagramm an (unten rechts im grauen Teil), das während der Operation einen schnellen Überblick über die aktuelle Lage verschafft.

Die grobe Form des umzustellenden Segments ermittelt der Operateur in der Planungsphase entweder durch systematisches Abtasten des Modells **9** mithilfe des Infrarot-Stiftes oder direkt aus dem CT-Datensatz (**5** und **7**). Sind nämlich die Infrarot-Sender des DRF<sub>2</sub> in den CT-Datensatz eingebettet **10**, erübrigt sich das Abtasten mit dem Infrarot-Stift, weil dann die Beziehung zwischen den Sendern und dem umzustellenden Knochen bereits bekannt ist. Die OP-Planung ist damit abgeschlossen.

**11**, **12** und **13** geben nun die drei Phasen der Operation am Patienten wieder:

- Phase I (**11**)  
Ausgangsstellung unmittelbar nach dem Durchtrennen des Knochens:  
Planungs- und Patientensystem sind noch nahezu in Übereinstimmung (Kongruenz der roten und grünen Linienzüge).
- Phase II (**12**)  
Lage nach der Osteotomie:  
der Computer stellt die aktuelle Position des jetzt frei beweglichen Segments zwischen Ausgangs- und Zielstellung dar  
(der grüne Polygonzug befindet sich zwischen dem blau und dem rot gezeichneten Gittermodell).
- Phase III (**13**)  
Lage nach der Osteosynthese:  
der Chirurg hat das Segment mit speziellen Befestigungen neu in der geplanten Zielstellung fixiert  
(Kongruenz des grünen und des blauen Polygonzugs).

Die einfachen Polygonzüge in **11**, **12** und **13** sind deshalb für den Chirurgen so bedeutsam, weil er eine in der OP-Planung festgelegte Einstellung während der Operation nur dann überprüfen kann, wenn ihm brauchbare Verfahren und Instrumente

dabei helfen, geeignete Referenzpunkte beider Systeme in einer einzigen Darstellung unmittelbar gegenüberzustellen.

Nicht immer ist es möglich oder aus Sicht des Patienten wünschenswert, großflächig Knochenstrukturen freizulegen. Aus diesem Grund sind während der Operation zur visuellen Beurteilung von Lage und Orientierung lediglich Ausschnitte zu erkennen, so dass eine Umstellung ohne Navigationssystem nach Augenmaß weitgehend vom persönlichen Geschick und der Erfahrung des Chirurgen abhängt. Demgegenüber kann das SSN-Navigationssystem die vom Weichteilmantel bedeckten Knochenpartien auch während der Operation sehr gut darstellen.

Die durch LUCAS und SSN ermöglichte computerunterstützte Navigation von Knochensegmenten arbeitet mit objektiven, überprüfbaren Kriterien (den räumlichen Koordinaten) und legt deshalb beim Operationssitus dieselben Präzisionsmaßstäbe an wie bei der Operationsplanung.

Die Unterstützung durch den Computer geht jedoch noch weiter: Der Computer ist in der Lage, darüber Protokoll zu führen, welche Positionen das osteotomierte Segment zwischen Ausgangs- und Zielstellung im zeitlichen Verlauf einer Operation eingenommen hat – und dies sogar mehrmals pro Sekunde. Insofern eröffnen sich hier neue Aspekte in der Qualitätssicherung der chirurgischen Praxis. Dank der exakten Infrarot-Messung entfällt die während der Operation ansonsten notwendige Erfolgskontrolle des Eingriffs durch eine zusätzliche Röntgenaufnahme – so dass die Strahlenbelastung für den Patienten weiter beträchtlich reduziert wird.

#### Mehr Arbeit – für den Computer

Die Untersuchungen der Regensburger Arbeitsgruppe haben nachgewiesen, dass es sich bewährt, während der Operation Patienten- und Planungssysteme in einer graphischen Darstellung gegenüberzustellen, um eine direkte Rückmeldung über den Erfolg der soeben durchgeführten Osteotomie zu erhalten. Die bisherige Praxis zwingt jedoch zur Anfertigung von relativ kostspieligen Stereolithographiemodellen und einem komplizierten Referenzierungsablauf. Es ist nahe liegend, den unvermeidlich komplexen Vorgang der Referenzierung ganz dem Computer zu überlassen. Das Problem wird dadurch an sich nicht einfacher

#### 11

Phase I, Lage kurz nach dem Durchtrennen des Knochens:  
Aus den Oberflächenpunkten des linken Jochbeins (siehe **6**), die der Chirurg aus dem Computer- томограмm gewonnen hat, erzeugt eine Workstation ein einfaches virtuelles Polygonzugmodell, das als Orientierungshilfe dient. Gut zu erkennen ist die Differenz zwischen der Ausgangsstellung (rote Linien) und der geplanten Zielposition (blaue Linien). grüne Linien kennzeichnen die aktuell wiedergegebene Lage, die in diesem Fall mit der Ausgangsposition noch nahezu übereinstimmt.

#### 12

Phase II, Navigation des durchtrennten Segments:  
Der grüne Polygonzug, der die momentane Lage charakterisiert, befindet sich zwischen Ausgangs- und geplanter Zielstellung (rote Linie: Ausgangsstellung, blaue Linie: geplante Zielstellung).

#### 13

Phase III:  
Das Segment liegt nun exakt in Zielstellung (Kongruenz des grünen und des blauen Linienzuges)  
– es folgt die Osteosynthese.

Priv.-Doz. Dr. med. Dr. med. dent.

#### Rüdiger Marmulla

geb. 1963 in Frankfurt/Main.

Studium der Humanmedizin und

Zahnmedizin in Frankfurt/Main,

1990 Promotion Humanmedizin

und 1993 Promotion Zahnmedizin

am Zentrum der Morphologie

(Dr. Senckenbergische Anatomie)

der Universität Frankfurt.

Ab 1994 an der Klinik für Mund-,

Kiefer- und Gesichtschirurgie

der Universitätsklinik Regensburg.

1999 Habilitation.

Seit Mai 2001 als Oberarzt an

der Universitätsklinik Heidelberg

und im SFB 414 »Rechner- und

sensorgestützte Chirurgie« tätig.

Forschungsgebiete:

Dr. rer. nat.

#### Thomas Hirschmann

geb. 1962 in Burghausen/Salzach.

Studium der Physik in Regensburg,

1997 Promotion am Institut für

Kern- und Elementarteilchenphysik

der Universität Regensburg. Ab

1997 im Herausgebergremium von

»c't Magazin für Computertechnik«.

Seit April 2000 an der Klinik

für Mund-, Kiefer- und Gesichts-

chirurgie der Universitätsklinik

Regensburg als wissenschaftlicher

Mitarbeiter beschäftigt.

– nur wird der Chirurg am Ende weniger davon mitbekommen als bisher, weil die anfallende Mehrarbeit dem Computer aufgebürdet werden kann.

Die Schwierigkeit, die OP-Planung mit dem Operationssitus zusammenzuführen, liegt darin, eine in beiden Systemen vorhandene invariante charakteristische Struktur zur Referenzierung zu finden. Die individuelle Schablone (8) ermöglicht die Referenzierung, wenn das Knochensegment genügend charakteristische Merkmale aufweist. Je großflächiger und individueller die Form dieser Schablone ist, desto besser wird sie passen. Was liegt also näher, als die Form der Schablone jener Struktur anzupassen, welche die individuellsten Merkmale trägt, die der Patient besitzt – sein Gesicht! Der Weichteilmantel des Patienten ist sowohl im Computertomogramm (CT) 2 als auch im Operationsgebiet gut zu erkennen und für den Computer vermessbar. Moderne Lasertechniken sind in der Lage, das menschliche Gesicht in Sekundenbruchteilen berührungslos und mit sehr hoher Präzision abzutasten: Standard-3-D-Laser-Scanner erreichen bei einer Lokalisierungsgenauigkeit von Millimeterbruchteilen pro Punkt bereits eine Auflösung von über 300 000 Raumpunkten. Die vielen großflächig verteilten Einzelpunkte des menschlichen Gesichts kann der Computer als »virtuelle« individuelle Schablone mit hoher Präzision anwenden, um sie mit den korrespondierenden Bildpunkten aus dem CT-Datensatz der OP-Planung in bestmögliche Übereinstimmung zu bringen.

Aus der Sicht der medizinischen Informatik stellt sich nun das Problem, eine möglichst gute und eindeutige Passung zweier leicht unterschiedlicher Darstellungen derselben Struktur – nämlich der Gesichtsoberfläche des Patienten – zu finden. Leider berücksichtigen die bereits auf dem Markt angebotenen kommerziellen Lösungen nicht, dass ein Beatmungsschlauch im Operationsgebiet die gebräuchlichen »Surface Matching«-Algorithmen in arge Verlegenheit bringen kann, denn er verändert die Struktur, die der Scanner abtasten soll, und darf während der Operation nicht – auch nicht kurzzeitig – entfernt werden.

Für den beschriebenen Zweck kommen deshalb nur schnelle, robuste und fehlertolerante Algorithmen in Frage, die in der Lage sind, jene Bereiche, die nicht aufeinander passen, schon während der Berechnung auszusondern.

Eine weitere kleinere Komplikation röhrt daher, dass der 3-D-Scanner den am Patienten feststehenden Infrarot-Rahmen zusammen mit dem Weichteilmantel abbilden muss. Wir erinnern uns, dass die beiden Koordinatensysteme OP-Planung/Patient nur ineinander überführt werden können, wenn die Position des Infrarotrahmens im CT-Datensatz 10 und relativ zur Gesichtsoberfläche bekannt ist. Leider sind die optisch zu ortenden Infrarot-Sender sehr klein 9 und laufen deshalb Gefahr, bei der optischen Abtastung unerkannt zu bleiben. Diese Frage wird zurzeit bearbeitet, und es gibt bereits Hinweise, dass das Prinzip der optischen Abtastung auch hier zum Erfolg führt, wenn die Infrarot-Sender mit

genügend großen symmetrischen Markierungen versehen sind, damit sie der Scanner mit der erforderlichen Präzision erfassen kann.

Das geschilderte neue Hybridverfahren, bei dem die optische Laser-Scan-Technik mit der Infrarot-Lokalisierung kombiniert wird, besitzt zahlreiche Vorteile:

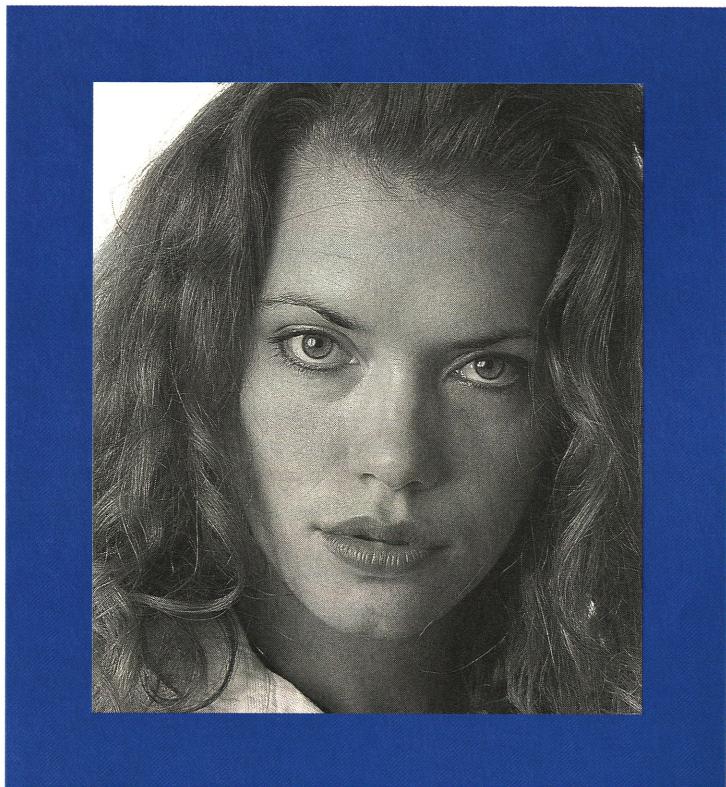
- Dem Patienten bleiben großflächige Freilegungen von Knochenoberflächen während der Operation erspart. Das Verfahren ist weniger invasiv.
- Mehrere Arbeitsgänge während der Operation entfallen ersatzlos, beispielsweise die Anpassung und Fixierung der individuellen Schablone. Der operative Eingriff kann weiter verkürzt werden.
- Das relativ kostspielige Stereolithographiemodell und die Anfertigung der Schablone werden eingespart.
- Die Infrarot-Sensoren, welche die Bewegung des umzustellenden Segments erfassen, können während der Operation an beliebiger Stelle des Segments fixiert werden – sie werden entweder direkt auf dem Knochen befestigt oder aber mit Hilfe von dünnen Stiften durch die intakte Haut und Unterhaut in den darunter liegenden Knochen vorgetrieben.

### Medizinische Informatik – ein lohnendes Feld für die Universitätsforschung

Die stürmische Entwicklung im Bereich der Informationstechnologien hat gewiss dazu beigetragen, dass die benötigten Basistechnologien im Hardware- und Softwarebereich (Stichwort »Virtual Reality«) inzwischen leichter zu beherrschen sind. Für den Programmierer spielt es auch keine Rolle, ob er eine 3-D-Szene für ein Computerspiel oder eine medizinische Anwendung entwickelt – die technischen Voraussetzungen sind weitgehend identisch.

Wünschenswert aus der Sicht der klinischen Praxis ist, dass die wesentlichen Teile des anfallenden Entwicklungs- und Programmieraufwands für die Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Es ist nämlich zu beobachten, dass in der Forschung an den Universitäten zunehmend die Anschaffung teurer, oft schnell veraltender wissenschaftlicher Großgeräte kommerzieller Hersteller gegenüber der zeitraubenden, mit hohem personellem Einsatz verbundenen Eigenentwicklung bevorzugt wird. Dieser Schritt mag im Einzelfall einen Zeitvorteil gegenüber konkurrierenden, finanziell etwas bescheidener ausgestatteten Forschungsgruppen bescheren. In der Tendenz führt dies jedoch langfristig zur technologischen Abhängigkeit von der Industrie und zur Abwanderung von Grundlagenwissen aus dem öffentlichen in den kommerziellen Bereich und damit zur Monopolisierung – mit allen Folgen für die Kostenentwicklung im Gesundheitswesen.

# Wer soll sich denn Gedanken über lokale Politik machen, wenn nicht ich?



Das können sich nur  
Studenten herausnehmen!



Abo Hotline:  
0180-5 31 31 78

Im Studentenabo nur  
**26,- DM**  
statt 38,80 DM/Monat

# Arzneistoffe aus dem Computer

## Modellierung molekularer Schlüssel für biologische Schlosser

### Molecular Modeling

Die biologische Wirkung chemischer Verbindungen wird von ihrer Struktur bestimmt. Ihr Einfluss auf den menschlichen Organismus hängt von Moleküleigenschaften wie Wasser- und Fettlöslichkeit ab. Von diesen Erkenntnissen aus dem 19. Jahrhundert bis zum computergestützten Design von Arzneistoffen war der Weg lang. Jedoch beruht auch unsere heutige, kompliziert anmutende Berechnung von Arzneistoff-Biomolekül-Wechselwirkungen weitgehend auf einfachen Modellen aus der klassischen Mechanik.

CAD – *Computer-Aided Design* in Industrie, Bauwesen und Mode ist ein längst geläufiger Begriff. Aber *Computer-Aided Drug Design*, CADD, also der Entwurf neuer Arzneistoffe mit Hilfe des PC oder der Workstation? Der Unterschied zwischen den Atommodellen aus dem Chemieunterricht und den in Fernsehfilmen und populärwissenschaftlichen Sendungen gern gezeigten Computerbildern von Arzneistoffen 1 oder Proteinen ist sicher beeindruckend. Damit wird allerdings zunächst nur der technisch bedingte Fortschritt des *Molecular Modeling* dargestellt. Inwieweit informieren solche Bilder jedoch über die biologischen Vorgänge von der Gabe eines Arzneimittels bis zum messbaren therapeutischen Effekt? Die molekularen Grundlagen dieser Vorgänge wurden 1894 von Emil Fischer und 1913 von Paul Ehrlich erstmalig erhellt – Fischer wählte das Bild von Schlüssel und Schloss für die Anpassung eines Substrats an das Katalyse-Zentrum eines Enzyms, und Ehrlich formulierte: »Corpora non agunt nisi fixata«. Demnach beruht die Wirkung von Arzneistoffen auf ihrer spezifischen Bindung an Biomoleküle 2 und damit letztlich auf modellierbaren physikalischen und chemischen Gesetzmäßigkeiten. Auf dieser Basis ist die com-

putergestützte Konstruktion von Molekülen mit gewünschten Bindungs- und daher Wirkeigenschaften unverzichtbar für moderne Arzneimittelentwicklung geworden.

#### Computer rationalisieren die Arzneimittelentwicklung

Von der pharmazeutischen Industrie werden immer weniger neuartige Arzneistoffe (in den neunziger Jahren ca. 40 bis 45 pro Jahr) mit immer höheren Entwicklungs- und Einführungskosten (heute bis zu 500 Millionen Euro pro Arzneimittel) auf den Markt gebracht. CADD ist eine innovative Technologie, mit der diese Kosten reduziert werden können. Ohne CADD kommen auf ein neu zugelassenes Arzneimittel etwa 10000 Synthesen chemischer Verbindungen. Die »Vorhersage« wirksamer Strukturen aus dem Computermodell vermindert diesen Syntheseaufwand und den damit verbundenen Rohstoff- und Energiebedarf beträchtlich. Daneben wird auch der Umfang der biologischen Testungen einschließlich der Tierversuche eingeschränkt. Die Entwicklung »maßgeschneideter« Arzneistoffe mit Hilfe des Computers ist also ökonomisch, ökologisch und ethisch vorteilhaft. Dazu kommt, dass die Aufklärung der Raumstruktur von immer mehr Proteinmolekülen sowie die Analyse des humanen Genoms und der daraus exprimierten Proteine neue und sogar individuelle, auf Mutationen beruhende »Schlösser« als mögliche Ziele für wirksamere Therapien liefert. Daher wird das computergestützte Design der entsprechenden »Schlüssel« in Zukunft noch an Bedeutung gewinnen. Diese Vorteile wiegen die hohen Kosten für Personal, geeignete Computer (z. B. kostet eine Silicon Graphics Workstation durchschnittlich 30000 DM) und Software (ca. 200000 DM für ein kommerziell eingesetztes modernes Programm pro Jahr) im Vergleich zu dem sonst anfallenden Mittel- und Ressourcenbedarf bei weitem auf.

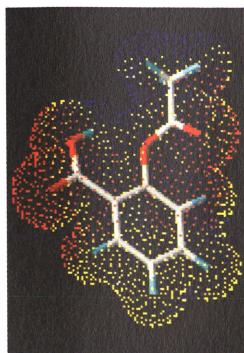
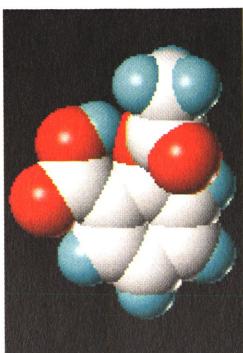
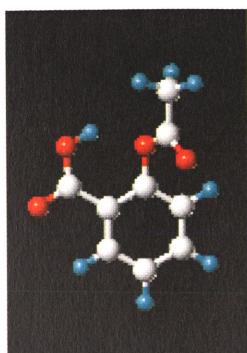
Computertechnologie dient jedoch auch der Beherrschung der enormen Informationsflut, die durch Abermillionen möglicherweise als Arzneistoffe in Frage kommender organischer Verbindungen erzeugt wird. Die neuen kombinatorischen Synthesestrategien und die Miniaturisierung der biologischen Testmethoden im Hochdurchsatz-Screening liefern ebenfalls immense Datenmengen. Daher sind riesige Substanzdatenbanken zur Grundlage der computergestützten Recherche nach Leitstrukturen für neue Arzneistoffe geworden. Nach dem Prinzip *ähnliche Struktur – ähnliche*

1

Computermodelle des Aspirins.  
weiß Kohlenstoffatom (C)  
rot Sauerstoffatom (O)  
türkis Wasserstoffatom (H)

rechts:

Elektrostatisches Potenzial  
auf der Moleküloberfläche.  
rot negative Ladungen  
blau positive Ladungen  
gelb neutral



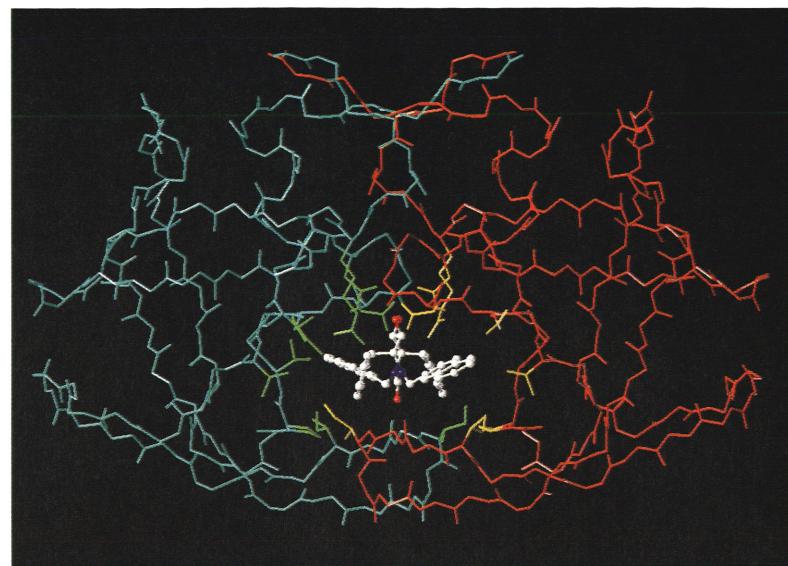
Wirkung werden zum Beispiel potenzielle »Hits« aus den Datenbanken gefiltert. Ein anderer computergestützter Ansatz besteht darin, optimale Serien organischer Verbindungen nach dem Prinzip der maximalen strukturellen Diversität vorzuschlagen. Auf diese Weise erhält man mit minimalem Synthese- und Testaufwand umfangreiche Informationen über den Zusammenhang zwischen der chemischen Struktur und der biologischen Wirkung.

Die universitäre Grundlagenforschung wirkt in Kooperation mit Industriepartnern an der Entwicklung von Arzneimitteln mit. Neben der Suche nach neuen therapeutischen Prinzipien besteht ihre vornehmliche Aufgabe darin, aufzuklären, wo und wie bestimmte Moleküle im lebenden Organismus wirken. Auch für solche eher auf vertieftes Wissen als auf Quantität gerichtete Ansätze sind Computermethoden unverzichtbar. Im Vordergrund steht dabei die Modellierung von Wechselwirkungen zwischen den Liganden (das sind die molekularen Schlüssel) und Biomolekülen wie Proteinen, Nukleinsäuren und Kohlenhydraten, den dazugehörigen Schlossern.

### Computerdarstellung und Berechnung von Molekülen

Die Bindung von Arzneistoffen an Biomoleküle kann man sich als Wechselwirkung zwischen dreidimensionalen Ladungsmustern im Bereich der Moleküloberflächen vorstellen. Eine dem entsprechende Computermodellierung muss daher auf räumlichen Strukturen der Moleküle beruhen. Deren Darstellung mit Hilfe hochleistungsfähiger 3-D-Computergraphik ist die eine Seite. Die andere besteht aus den experimentellen Methoden sowie aus Berechnungsverfahren, mit denen Molekülstrukturen und -eigenschaften aufgeklärt werden können. Bei der experimentellen Aufklärung räumlicher Strukturen spielt vor allem die Röntgenkristallstrukturanalyse eine Rolle. Bei dieser Methode werden Kristalle chemischer Verbindungen – von Kochsalz bis hin zu großen Proteinkomplexen – Röntgenstrahlen ausgesetzt. Dabei entstehen Röntgenbilder mit Beugungsmustern, aus denen mit komplizierten computergestützten Berechnungen die 3-D-Struktur abgeleitet wird.

Solche experimentell aufgeklärten 3-D-Strukturen lassen Regeln erkennen, die auch die Voraussage der Raumstruktur nicht untersuchter Moleküle erlauben. Dazu dienen Computermethoden, mit denen die komplexen Beziehungen zwischen der Struktur und der Energie von Molekülen unter vereinfachenden Annahmen berechnet werden. Wichtigstes Handwerkszeug der computergestützten Arzneimittelforschung ist die *Molekülmechanik*, die mit Hilfe moderner Computer auch bei sehr großen Molekülen angewendet werden kann. Sie beruht auf einem einfachen Prinzip. Jedes Molekül nimmt bevorzugt einen entspannten, energiearmen Zustand ein. Jede Entfernung aus diesem Zustand kostet Energie, die mit der Energie beim Auslenken einer Feder aus der Ruhelage vergleichbar ist. Zum Beispiel kann die Verlängerung oder Verkürzung einer Bindung quasi als



Dehnung bzw. Stauchung einer Feder mit den Parametern »Ruhewert« und »Federstärke« beschrieben werden. Zwischen mehr als zwei Bindungen voneinander entfernten Atomen treten anziehende und abstoßende Kräfte auf, die auch bei intermolekularen Wechselwirkungen eine Rolle spielen. Das Beispiel eines einfachen Alkohols, des Methanols, illustriert diese Parameter 3. Die Berechnung der 3-D-Struktur von Molekülen ist folglich mit Hilfe von Formalismen möglich, die ihre Entsprechung in der klassischen Mechanik haben. Die Parameter für die einzelnen »Federn« stammen weitgehend aus der experimentellen Strukturaufklärung.

Mit diesen molekülmechanischen Methoden kann man die relative Energie einer gegebenen Raumstruktur eines Moleküls berechnen. Andere Verfahren ermitteln daraus die entspannten, energiearmen Zustände, von denen – außer bei sehr einfachen Molekülen wie Wasserstoff oder Wasser – immer mehrere existieren. Vergleichbar ist diese Situation mit einem Gebirge, dessen Höhenlinien der Energie entsprechen. Die Fußpunkte der Täler sind Energieminima, ihre Ortskoordinaten charakterisieren die entspannten Zustände; irgendwo gibt es natürlich auch ein tiefstes Tal. Unsere Optimierungsverfahren gelangen nun, ausgehend von einer beliebigen Position (Raumstruktur), die meist auf einem Berghang sein wird, immer

2

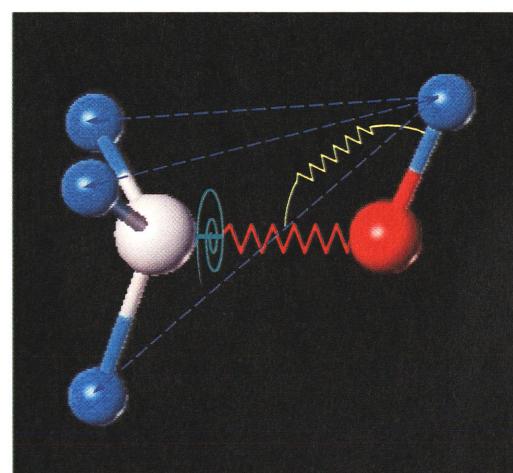
»Schlüssel-Schloss«-Bindung eines Hemmstoffmoleküls an das Enzym HIV-Protease (AIDS-Virus). Das Enzym besteht aus zwei identischen Proteinketten, deren Rückgrat grünblau bzw. rot dargestellt ist. Die Seitenketten der Aminosäuren, die zur Ausformung des »Schlosses« (Bindungsstelle) beitragen, sind grün bzw. orange eingezzeichnet. Der »Schlüssel« des Hemmstoffmoleküls passt in das »Schloss« und verhindert so, dass das Enzym Virusproteine spalten kann. Dadurch wird die Vermehrung des AIDS-Virus gehemmt.

weiß Kohlenstoffatom (C)  
rot Sauerstoffatom (O)  
blau Stickstoffatom (N)

3

Molekülmechanik am Beispiel des Methanols. Die Energiedifferenz des Moleküls zur hier dargestellten »Ruhelage« wird durch drei Arten von »Federn« beschrieben, von denen jeweils nur ein Beispiel dargestellt ist. Die Dicke der Linien charakterisiert grob die unterschiedliche Stärke der »Federn«. rot Bindungslänge C-O, gelb Bindungswinkel C-O-H, grün Torsionswinkel für die Drehung um die C-O-Bindung

Die blauen Pfeile zeigen die zusätzlich in die Rechnung eingehenden sterischen und elektrostatischen Wechselwirkungen zwischen mehr als zwei Bindungen voneinander entfernten Atomen.



nur abwärts ins nächste Tal. Um alle Täler einschließlich des tiefsten zu finden, muss man den Ausgangspunkt durch geeignete Simulationsmethoden variieren.

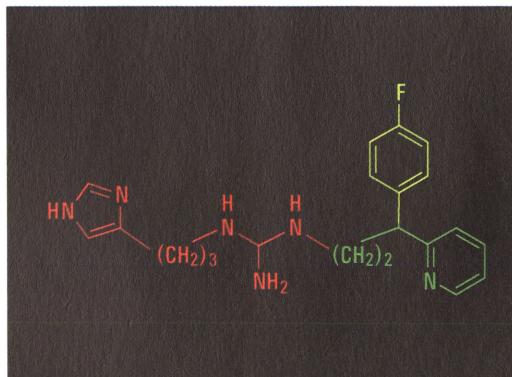
### Zwei grundlegende Strategien des CADD

Ein neuer Arzneistoff als neuer Schlüssel benötigt zu seinem Entwurf quasi eine Schablone, die entweder ein anderer, ähnlicher Schlüssel oder das Schloss sein kann. Die meisten Arzneistoffe wirken durch Bindung an Enzyme oder biologische *Rezeptoren*. Das sind zelluläre Makromoleküle (meist Proteine) mit der Funktion, chemische Signalübertragung zwischen Zellen und innerhalb von Zellen zu vermitteln. Die selektive Bindung eines Arzneistoffs löst als Effekt eine Änderung der Zellfunktion aus. Ist die Raumstruktur der Bindungsstelle am Enzym oder Rezeptor bekannt, kann die Ligand-Biomolekül-Wechselwirkung direkt im Computer modelliert werden. Man spricht hier von *Rezeptor-basiertem Design*. Mit den Techniken des *Docking* wird der Schlüssel in das Schloss eingeführt – der Begriff erinnert an das Festmachen eines Schiffs im Hafen. Inzwischen sind mehr als 12000 Protein-Kristallstrukturen bekannt und über das Internet aus der Brookhaven Protein Datenbank frei verfügbar. Allerdings gelingt die Kristallbildung bisher fast ausschließlich bei wasserlöslichen Proteinen. Dazu gehören die meisten Enzyme, sodass Rezeptor-basiertes Design meist auf Enzymhemmer (z. B. bestimmte Antibiotika, Thrombin-Inhibitoren) beschränkt ist.

Viele Arzneistoffe, z. B. Antidepressiva, Beta-Blocker und Antiasthmatika, wirken jedoch durch Bindung an lipidlösliche Membranrezeptoren. Hier ist *Ligand-basiertes Design* das Computermittel der Wahl. Die Abhängigkeit der gemessenen Aktivität von der Struktur spiegelt die Ligand-Biomolekül-Wechselwirkungen wider. Computermethoden berechnen *quantitative Struktur-Wirkungs-Beziehungen*, die auf der Basis der verwendeten Modelle (häufig chemische Eigenschaften wie Löslichkeit in Wasser und Fetten, aber auch direkt aus der 3-D-Struktur abgeleitete Größen) ebenfalls Aussagen über Wirkmechanismen und Vorhersagen neuer, aktiver Verbindungen ermöglichen. Ein so genannter *Pharmakophor* beschreibt diejenige räumliche Anordnung struktureller Elemente (oft Atome wie Stickstoff oder Sauerstoff), die für die Auslösung der jeweils untersuchten Wirkung durch die Moleküle hinreichend und notwendig

4

Strukturformel des Arpromidins. Der *rot* gezeichnete Molekülteil ist notwendig für die Wirkung und wurde bei den anderen Verbindungen nicht verändert. Variiert wurde der rechte, *grüne* Teil, wobei das *hellgrün* dargestellte Strukturelement oft fehlt, aber die Aktivität günstig beeinflusst.



ist. Er vermittelt quasi als *Negativ* der dazugehörigen Bindungsstelle Vorstellungen von ihrer Struktur und von möglicherweise besser wirkenden Liganden.

Im Folgenden sollen diese beiden Strategien durch ein Beispiel aus unserer eigenen Forschungsarbeit verdeutlicht werden.

### Neue Agonisten für den Histamin-H<sub>2</sub>-Rezeptor

So genannte H<sub>2</sub>-Blocker wie Cimetidin oder Ranitidin haben die meisten Patienten mit Geschwüren im Magen oder im Zwölffingerdarm schon erfolgreich eingenommen. Diese Arzneistoffe verdrängen den *Agonisten* Histamin von seiner Bindungsstelle an H<sub>2</sub>-Rezeptoren und verhindern so gezielt die Magensäuresekretion. Ein *Agonist* ist ein körpereigener oder -fremder Stoff, der durch Rezeptorbindung einen biologischen Effekt auslöst, in diesem Falle die Produktion von Magensäure. Histamin-H<sub>2</sub>-Rezeptoragonisten kommen nach vorliegenden klinischen Erfahrungen für die Behandlung schwerer Formen der Herzinsuffizienz in Frage und sind derzeit auch wegen ihres Einflusses auf Leukämiezellen von wachsendem Interesse.

Histamin selbst ist für solche Anwendungen nicht geeignet. Es bindet nämlich nicht nur an H<sub>2</sub>-, sondern auch an H<sub>1</sub>-Rezeptoren, deren Aktivierung zum Beispiel für den Juckreiz bei Allergien oder nach dem Genuss von Meeresfrüchten verantwortlich ist. Ziel muss daher die Entwicklung *H<sub>2</sub>-selektiver* Agonisten sein, die zudem noch stärker als das relativ wenig effektive Histamin wirken sollen. Armin Buschauer und Mitarbeitern ist es zunächst an der FU Berlin und im Weiteren nach seinem 1993 erfolgten Ruf auf den Lehrstuhl Pharmazeutische Chemie II der Universität Regensburg gelungen, mit dem Arpromidin und seinen Derivaten die stärksten bislang bekannten Histamin-H<sub>2</sub>-Rezeptoragonisten zu entwickeln. Am isolierten Meerschweinchen-Herzvorhof, einem bevorzugten H<sub>2</sub>-Rezeptormodell, sind diese Substanzen bis zu 300-mal aktiver als der Naturstoff Histamin, und an H<sub>1</sub>-Rezeptoren wirken sie sogar als Blocker.

Unser erster, Ligand-basierter Ansatz hatte zum Ziel, den Wirkmechanismus der H<sub>2</sub>-Agonisten näher zu untersuchen und daraus weitere aktive Verbindungen zur Synthese und Testung vorzuschlagen. Es galt zunächst, die quantitativen Struktur-Wirkungs-Beziehungen aufzuklären. Dazu standen Messungen der H<sub>2</sub>-agonistischen Aktivität am Meerschweinchen-Herzvorhof für 142 Verbindungen zur Verfügung. Alle Substanzen haben eine konstante Partialstruktur, die für die Aktivierung der H<sub>2</sub>-Rezeptoren essenziell ist, variieren jedoch im *rechten* Molekülteil 4.

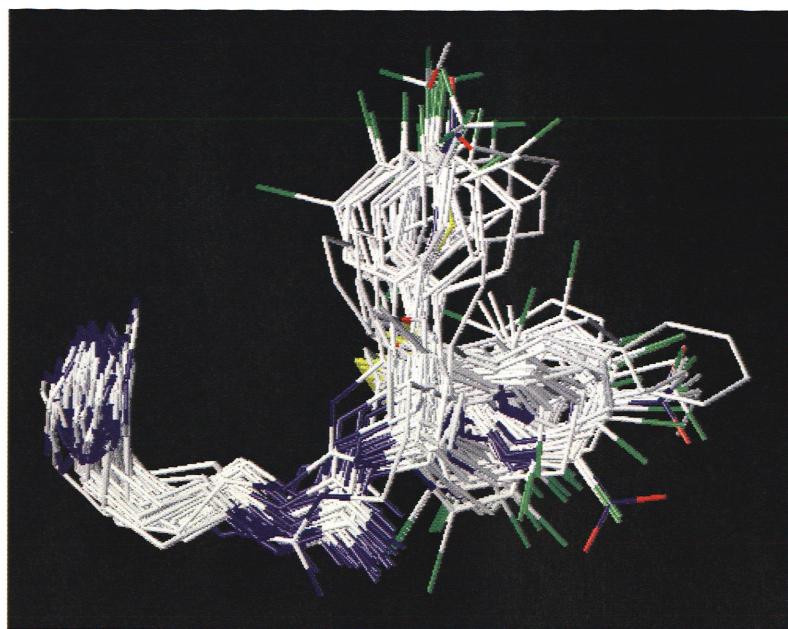
*Molecular Modeling* mit Ligand-basierten Methoden benötigt zunächst Hypothesen über die bindenden Raumstrukturen der Substanzen, die wir in Bezug auf den konstanten *linken* Teil aus Histamin-ähnlichen Verbindungen abgeleitet haben. Da alle Schlüssel (je nach Abstufung der durch sie erzielten Wirkung mehr oder weniger exakt) in das gleiche Schloss passen müssen, werden die Strukturen dann im Sinne maximaler räumlicher

Ähnlichkeit bei möglichst niedriger Energie optimiert. Man nennt dieses Vorgehen auch *Alignment* **5**. Es beruht auf einer Superposition der Moleküle im Raum, z. B. nach einer Methode der kleinsten Quadrate.

Der Rückschluss von diesen übereinander gelegten Raumstrukturen auf die biologische Aktivität der Verbindungen erfolgt mit Hilfe von Verfahren der dreidimensionalen Struktur-Wirkungs-Analyse. Wir wandten die vergleichende molekulare Feldanalyse an. Deren Ansatz beruht auf der Tatsache, dass der Rezeptor nicht die Raumstruktur der Liganden an sich, sondern dreidimensionale Potenzialfelder um die Moleküle erkennt. Die Stärke seiner Wechselwirkungen mit bestimmten Regionen dieser Felder sollte dann die Bindung der Liganden und damit die biologische Aktivität in quantitativer Weise beeinflussen. Zur Berechnung der Potenzialfelder wird ein positiv geladenes Kohlenstoff-Probeatom nacheinander an einer Vielzahl von Gitterpunkten im Raum um die Moleküle herum angeordnet. Für jedes Molekül werden die elektrostatischen und sterischen Wechselwirkungen mit dem Probeatom, ausgehend von jedem Gitterpunkt, ermittelt. Es resultieren Tausende so genannter Feldvariabler, die mit speziellen statistischen Verfahren mit der biologischen Aktivität korreliert werden. Die Regionen, in denen die berechnete elektrostatische oder sterische Energie mit der Wirkung zusammenhängt, sind dann die für die Bindung entscheidenden Bereiche. Aus der Richtung des Einflusses kann auf die Art der Wechselwirkung geschlossen werden. Man erhält dadurch ein (insbesondere auf den variablen Strukturbereich bezogenes) Abbild der Rezeptor-Bindungsstelle.

Das ist am computergraphischen Endergebnis der Analyse unserer 142 H<sub>2</sub>-Agonisten ersichtlich **6**, durch das auch Hinweise für das Design weiterer hochaktiver H<sub>2</sub>-Agonisten vorgegeben werden. Beispielsweise können am Ring **B** noch größere Gruppen eingefügt werden (grüner Bereich), die negativ geladen sein müssen (rot). So kann das Fluoratom des Arpromidins (negative Ladung) auch durch Chlor oder eine Trifluoromethylgruppe ersetzt werden. Am Ring **A** sind dagegen raumaufüllende Substitutionen und negative Ladungen weitgehend verboten (gelbe bzw. blaue Region). Andererseits zeigt der kleine rote Bereich an, dass hier ein negativ geladenes Stickstoffatom (z. B. im dargestellten Pyridinring) für die Aktivität günstig ist. Auf der Basis dieses Ligand-basierten Designs arbeiten wir mit neuen Verbindungen an dem H<sub>2</sub>-Projekt weiter.

Inzwischen ist es uns gelungen, einen ersten Schritt in Richtung auf einen Rezeptor-basierten Ansatz zu gehen. Seit August 2000 steht in der Brookhaven-Protein-Datenbank die erste Kristallstruktur eines Rezeptor-ähnlichen Membranproteins, des Rinderrhodopsins, zur Verfügung. Dieses Protein, das beim Sehvorgang eine Rolle spielt, durchspannt mit sieben  $\alpha$ -helikalen Strängen die Netzhautmembran. Die Anordnung der sieben Helices entspricht, zum Teil sogar mit identischen oder zumindest ähnlichen Aminosäuren, der bei Histamin- und vielen anderen Membranrezepto-

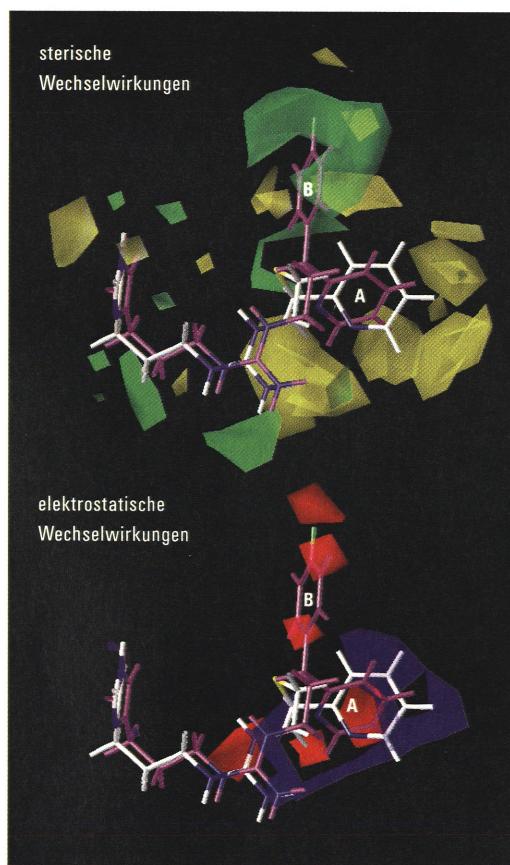


toren. Unter Berücksichtigung dieser Homologie haben wir nun aus der Rinderrhodopsin-Struktur ein Modell der helikalen Bereiche des Meerschweinchen-H<sub>2</sub>-Rezeptors erzeugt, dessen Aminosäurezusammensetzung schon seit einigen Jahren bekannt ist. Zusätzlich kennt man aus Mutationsexperimenten auch einige Aminosäuren, die an der Bindung von Liganden beteiligt sind. Bei solchen Ansätzen erzeugt man mit gentechnischen Methoden Rezeptormutanten, in denen jeweils eine einzelne Aminosäure gezielt gegenüber dem Wildtyp ausgetauscht ist. Sind Bindung und Aktivität eines Liganden am mutierten Rezeptor deutlich reduziert, so ist die ausgetauschte Aminosäure

## 5

Alignment der 142 H<sub>2</sub>-Agonisten. Diese optimierte 'Superposition' der 3-D-Strukturen ist Grundlage der vergleichenden molekularen Feldanalyse.

Im variablen rechten Teil (siehe **4**) treten z. B. oft Halogenatome auf (grün gefärbt: Fluor, Chlor, Brom). Die konstanten linken Teile liegen eng aufeinander, weil sie an gleicher Rezeptorstelle binden müssen. Die Wasserstoffatome wurden nicht mit dargestellt.



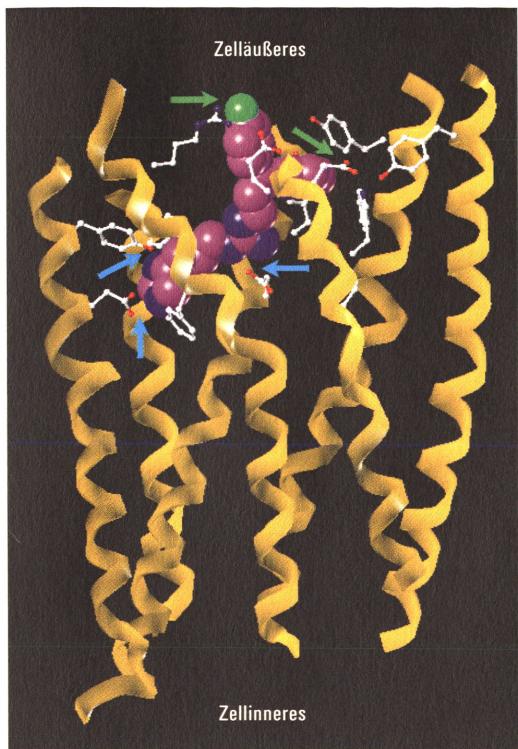
## 6

Dreidimensionale quantitative Struktur-Wirkung-Beziehungen der H<sub>2</sub>-Agonisten. Die farbigen Oberflächen spiegeln die berechneten Wechselwirkungsbereiche mit dem Rezeptorprotein wider. In den grünen Regionen ist eine räumliche Vergrößerung der Verbindungen günstig für die biologische Aktivität, während eine weitere Raumausdehnung in den gelben Bereichen die Wirkung vermindert. Ähnliches gilt für die elektrostatischen Wechselwirkungen: In den roten Regionen verstärken negativ und senken positiv geladene Molekülteile die Aktivität, in den blauen ist es umgekehrt. Die Bindungsstelle dürfte daher in den roten Bereichen positiv und in den blauen Bereichen negativ geladene Aminosäuren enthalten. Die Raumstrukturen zweier besonders wirksamer Verbindungen sind mit angegeben (**A**-Pyridin). Im Arpromidin (Kohlenstoffatome, magenta) ist der rechte, variable Teil durch einen zusätzlichen para-Fluorophenylring **B** verzweigt.

Computermodell der Bindung von Arpromidin zwischen den sieben transmembranalen Helices des Meerschweinchen-Histamin-H<sub>2</sub>-Rezeptors.

Die  $\alpha$ -Helices sind nur schematisch als schattierte, orangefarbene Bänder dargestellt. Von den Aminosäuren, die vermutlich bei der Arpromidin-Bindung eine Rolle spielen, sind die Seitenketten mit eingezzeichnet. In dieses >Schloss< passt der >Schlüssel< Arpromidin (Kalottenmodell).

- Wechselwirkungen, die für die Rezeptoraktivierung wichtig sind
  - elektrostatische Wechselwirkungen, die die Bindung verstärken
- magenta** Kohlenstoffatom (C)  
**blau** Stickstoffatom (N)  
**grün** Fluoratom (F)



apl. Prof. Dr. rer. nat.  
**Stefan Dove**  
 geb. 1949 in Jena.  
 Studium der Biochemie in Halle,  
 Promotion 1978,  
 1977-1991 Wiss. Mitarbeiter am  
 Institut für Wirkstoffforschung der  
 Akademie der Wissenschaften,  
 Berlin, 1990 Promotion B in  
 Theoretischer Pharmakologie,  
 seit 1992 Wiss. Mitarbeiter  
 am Institut für Pharmazie  
 der Universität Regensburg,  
 1993 Habilitation für Pharma-  
 zeutische Chemie.  
**Forschungsgebiete:**  
 Computermethoden im Drug Design,  
 Ligand-Rezeptor-Wechsel-  
 wirkungen, Enzyminhibitoren,  
 Rezeptortheorie.

Verbindungen mit Hilfe von Methoden des CADD schon in vielen Fällen erfolgreich. Damit ist jedoch zunächst nur die Optimierung der direkten Wechselwirkungen mit dem Zielprotein gemeint. Gute Bindung ist aber nur eine notwendige Voraussetzung für Arzneistoffe. Um in der Therapie Verwendung zu finden, müssen zusätzliche Bedingungen wie gute Selektivität, metabolische Stabilität, ausreichende Wirkdauer, niedriges Suchtpotenzial und geringe Toxizität erfüllt sein. Diese Eigenschaften lassen sich im Computer kaum direkt modellieren.

Unter Berücksichtigung der bis zu zwölf Jahre dauernden Zeitspanne zwischen Design und Einführung eines Medikaments, in der ja die Phase der pharmakologischen und klinischen Erprobung enthalten ist, dürfte demnächst eine deutliche Zunahme der Arzneimittel zu beobachten sein, die mit Hilfe von CADD entwickelt wurden. Schon heute sind jedoch einige Arzneistoffe im Einsatz, bei deren Entwicklung CADD eine Rolle gespielt hat. Das neueste Beispiel ist das erste gezielt gegen Grippe wirksame Mittel Zanamivir (Glaxo Wellcome), welches durch Hemmung des Virusenzyms Neuraminidase das Eindringen der Grippeviren in die Schleimhautzellen verhindert. Auch die in der AIDS-Therapie verwendeten HIV-Proteasehemmer wurden mit Hilfe von *Molecular Modeling* in ihrer Struktur optimiert. Ein Beispiel für erfolgreiches Ligand-basiertes Design sind die zur Parkinsontherapie benötigten Dopamin-D<sub>1</sub>-Rezeptoragonisten der Firma Abbott. Zurzeit suchen viele pharmazeutische Firmen intensiv nach Modeling-Experten, die jedoch nach wie vor wegen zu geringer Ausbildungsmöglichkeiten rar sind.

Außer der Beschränkung der Methoden auf die Ligand-Zielprotein-Bindung haben die heutigen Grenzen des CADD noch andere Ursachen. Es fehlen Kristallstrukturen von vielen in Frage kommenden Bindungsstellen, vor allem von Membranrezeptoren. Die Flexibilität der Proteine und ihrer Komplexe mit den Liganden wird häufig vernachlässigt, desgleichen die Rolle, die Wassermoleküle z. B. bei der Bindung spezieller Liganden in Enzymtaschen spielen. Und schließlich ist es uns bisher nicht möglich, Ligand-Biomolekül-Wechselwirkungen aus Potenzialfeldern mit genügender Zuverlässigkeit *quantitativ* zu berechnen (unvollkommene Energiebewertungsfunktionen, Schwierigkeiten bei der Berücksichtigung der Entropie).

Fortschritte sind in erster Linie mit neu aufgeklärten Kristallstrukturen potenzieller Zielproteine, aus der Erforschung physikalischer und physiko-chemischer Grundlagen der Ligand-Biomolekül-Wechselwirkungen sowie aus der Weiterentwicklung von Hard- und Software zu erwarten. Generell gilt jedoch für die Rolle von *Molecular Modeling* in der pharmazeutischen Forschung und Entwicklung die Aussage des amerikanischen Chemikers Henry A. Bent über Modelle an sich: »A model must be wrong in some respects, else it would be the thing itself. The trick is to see where it is right.«

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

Wir sind eine international aktive Gruppe mit rund 4.000 Mitarbeitern, einer innovativen Forschung und leistungsfähigen Produktion. In Deutschland gehören wir zu den Top-Ten der Pharmaindustrie.

Trotz der Größe haben wir unsere flachen Hierarchien und damit Teamgeist und gute Laune erhalten.



## Praktika, Diplomarbeiten, Direkteinstieg

Wer seinen Berufsweg in einem leistungsfähigen, innovativen Pharmaunternehmen starten will, ist bei der HEXAL AG genau richtig. Wir bieten Studenten (m/w) der Fachrichtung Pharmazie, Pharmatechnik, Chemie, Informatik sowie Betriebswirtschaft beste Perspektiven für die Zukunft – und das bei vielfältigen Einstiegsmöglichkeiten.

Im Praktikum (z. B. Abteilung Med.-Wiss., Labor, Zulassung, Controlling, IT etc.) lernen Sie die Funktionsweise eines international operierenden Konzerns kennen, der jährlich einen zweistelligen Prozentsatz vom Umsatz in Forschung und Entwicklung investiert, um bestehende Präparate zu verbessern und Neuentwicklungen durchzuführen.

Gerne sprechen wir mit Ihnen über die Möglichkeit einer Diplomarbeit, mit der Sie den Grundstein für Ihre berufliche Laufbahn legen können.

Oder Sie steigen gleich direkt bei uns ein und lernen in kürzester Zeit unsere Unternehmensphilosophie zu schätzen: „Flache Hierarchien begünstigen kreative Spielräume und Entscheidungsfreiheit der Mitarbeiter.“

Jetzt sind Sie aufgefordert uns zu zeigen, wo Ihre Stärken liegen. Wir freuen uns auf Ihre aussagekräftige Bewerbung. Weitere Infos erhalten Sie von Herrn Jürgen Höhne (Tel. 0 80 24/9 08-6 71, e-mail: heidi.karl@hexal.de) oder im Internet: [www.hexal.de](http://www.hexal.de).



Arzneimittel  
Ihres Vertrauens

HEXAL AG  
Industriestr. 25  
83607 Holzkirchen  
<http://www.hexal.de>



Das Institut für Polymerforschung Dresden e. V. sucht für die Mitwirkung an Forschungsprojekten

## Wissenschaftliche Mitarbeiter/innen mit Promotionswunsch

Für Synthese an hochverzweigten Polymeren, Oberflächenmodifizierung und -charakterisierung von polymeren Materialien, Untersuchungen an Polymergrenzflächen und Grenzflächenphänomenen. Diffusions- und Elektrophorese-NMR, Anwendung moderner Analysemethoden

**Dipl.-Chem., Dipl.-Biol., Dipl.-Phys., Dipl.-Ing.,  
zur Promotion geeignet**

Arbeitszeit: 20 Wochenstunden - die Vergütung erfolgt nach BAT-O II a. Schwerbehinderte werden bei gleicher fachlicher Eignung bevorzugt berücksichtigt. Frauen werden ausdrücklich aufgefordert, sich zu bewerben.

Schriftliche Bewerbungen sind zu richten an das

**Institut für Polymerforschung Dresden e. V.  
Personalbüro • Hohe Straße 6 • 01069 Dresden  
Tel.: (0351) 4658-283 - Fax: (0351) 4658 214  
@-Mail-Adresse: [ipf@ipfdd.de](mailto:ipf@ipfdd.de)  
Internet: <http://www.ipfdd.de>**

# Anarchie oder Despotismus

## Was beeinflusst die Struktur von Tiergruppen?

### Evolutionsbiologie

Ameisen sind die heimlichen Herrscher vieler Ökosysteme. Sei es in der Taiga oder im tropischen Regenwald: Wegen ihrer hohen Individuenzahl und ihrer Allgegenwärtigkeit spielen diese kleinen Insekten in den Nahrungsketten sowohl als Räuber wie auch als Beute eine entscheidende Rolle. Ameisen sind in den letzten Jahren aber auch aus anderen Gründen zu einer der am besten untersuchten Tiergruppen geworden: Sie sind sozial und leben in Staaten, die sich durch eine geordnete Arbeitsteilung auszeichnen. Sie können daher als Modellorganismen zur Klärung der Fragen danach dienen, wie es in der Evolution zur Kooperation zwischen an sich egoistischen Einzeltieren gekommen ist, welche Faktoren die Struktur von Tiergruppen bestimmen und wie Interessenskonflikte effizient beigelegt werden.

Nach Charles Darwin spielt in der Evolution von Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen die Konkurrenz zwischen Artgenossen um Nahrung und Paarungspartner eine entscheidende Rolle. Evolution findet in Populationen statt, bestehend aus Individuen, die sich genetisch geringfügig voneinander unterscheiden. Diese kleinen genetischen Unterschiede tragen dazu bei, dass Individuen im ›Kampf ums Dasein‹ unterschiedlich gut abschneiden: Wie sie Nahrung erwerben und verteidigen, wie sie mit Räubern oder Parasiten zureckkommen und wie attraktiv sie für Paarungspartner sind, fällt jeweils unterschiedlich aus. Die in diesem Konkurrenzkampf am besten angepassten Individuen haben mehr überlebende Nachkommen als andere Artgenossen, und folglich breiten sich Kopien ihrer Gene in der Population von Generation zu Generation weiter aus.

1

Ein hypothetisches Gen, das ein Individuum zum Verzicht auf die eigene Fortpflanzung bringt, kann sich in einer Population dann ausbreiten, wenn das Individuum bei der Aufzucht der Brut einer nahen Verwandten hilft und dadurch mehr abstammungsidentische Kopien des Gens in die nächste Generation gelangen, als in den eigenen Nachkommen vorhanden gewesen wären.

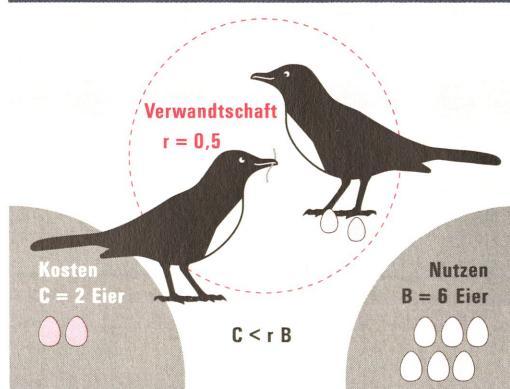
2

Die ungewöhnlichen Verwandtschaftsverhältnisse im Ameisenstaat ergeben sich dadurch, dass Männchen aus unbefruchteten Eiern entstehen. Schwestern sind daher enger untereinander verwandt als Mütter und Töchter.

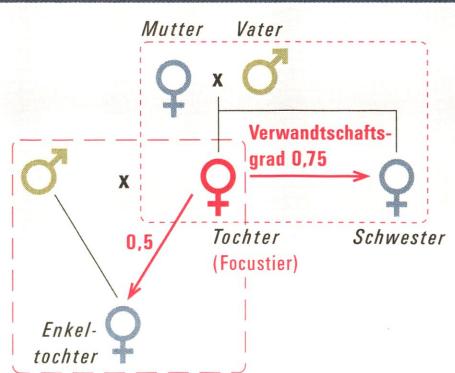
Für ein kooperatives oder gar aufopferndes Verhalten (Altruismus) scheint in einer solchen, von natürlicher und sexueller Selektion geprägten Welt kein Platz zu sein. Die Gene von Individuen, die beispielsweise ihre Ressourcen mit anderen teilen, statt sie für die eigene Fortpflanzung zu nutzen, und die dadurch einen verringerten Fortpflanzungserfolg haben, müssten innerhalb weniger Generationen durch die Gene egoistischer Artgenossen verdrängt werden. Dennoch hat Kooperation zwischen an sich egoistischen Entitäten in der Evolution mehrfach eine entscheidende Rolle bei der Entstehung von Systemen mit höherer Komplexität gespielt. In der Frühzeit der Evolution des Lebens lagerten sich unabhängige Einzelmoleküle zusammen und formten die ersten Genome; die einfachen Zellen mancher Bakterien und Blaualgen kooperierten bei der Entstehung der komplexen ›eukaryontischen‹ Zelle von Pflanzen und Tieren; durch Kooperation und Arbeitsteilung zwischen mehreren unabhängigen Zellen entstanden vielzellige Tiere und Pflanzen; und schließlich gaben Einzeltiere ganz oder teilweise ihre autonome Reproduktion auf, um in sozialen Gruppen oder Tierstaaten anderen Artgenossen bei der Aufzucht von deren Jungen zu helfen.

Besonders auffallend und vielleicht auch am extremsten ausgeprägt ist dieser scheinbare Altruismus bei den sozialen Insekten. Wer einmal versucht hat, aus einem Bienenstock Honig zu ernten oder einen Picknickplatz gegen Ameisen zu verteidigen, wird Erfahrungen mit dem aufopfernden Verhalten sozialer Insekten gemacht haben: Eine Bienenarbeiterin verteidigt den Honigvorrat ihres Staates mit ihrem Stachel. Dieser ist mit Widerhaken versehen, bleibt in der Haut des Opfers stecken und wird aus dem Hinterleib der Biene gerissen. Die Biene

#### Prinzip der Verwandtenselektion



#### Verwandtschaftsverhältnisse bei Hymenopteren





Staaten der Schmalbrustameisen (*Leptocephalus*) bestehen meist nur aus einigen Dutzend Individuen und lassen sich leicht im Labor halten.

verstümmelt sich dadurch beim Stich dermaßen, dass sie kurz darauf stirbt. Ähnliche, extrem altruistisch erscheinende Verhaltensweisen sind von zahlreichen Ameisen, Wespen und Termiten bekannt. Hinzu kommt, dass in Insektenstaaten die meisten Weibchen selbst gar keine Eier legen, sondern sich nur um die Aufzucht der Nachkommen der Königin kümmern. Wie können sich in der Evolution Gene durchsetzen, die dazu führen, dass Individuen sich für die Verteidigung des Staates ›opfern‹, anstatt sich selbst fortpflanzen?

### Die Genetik der Vetternwirtschaft

Die heute weithin akzeptierte Erklärung der Evolution von Kooperation bietet die Theorie der Verwandtenselektion (›kin selection theory‹). Bereits 1859 erkannte Darwin, dass Rinderzüchter Ochsen mit besonders langen Hörnern trotz deren Sterilität züchten können, wenn sie deren fertile Familienmitglieder weiterkreuzen. Exakt formuliert wurde die Theorie der Verwandtenselektion aber erst rund hundert Jahre später, nämlich 1964, von W. D. Hamilton. Er zeigte, dass abstammungidentische Kopien von Genen sowohl direkt über die eigenen Nachkommen als auch indirekt über die Nachkommen naher Verwandter in die nächste Generation weitervererbt werden können.

Ein Beispiel soll dies näher erläutern. Nehmen wir an, ein Individuum einer hypothetischen Tierart könnte in seinem Leben durchschnittlich zwei Nachkommen produzieren. Eine neue Mutation führe nun dazu, dass dieses Individuum auf die beiden eigenen Nachkommen verzichtet und stattdessen seiner Schwester hilft, sechs zusätzliche Nichten und Neffen in die Welt zu setzen 1. Nach Hamilton kann sich diese Mutation dann ausbreiten, wenn durch die Hilfe im Mittel mehr abstammungidentische Kopien entstehen

als durch die eigene Fortpflanzung, das heißt, wenn gilt  $C < rB$ . Hierbei steht **C** für die Anzahl der direkten Nachkommen, auf die das Individuum durch seine Hilfe verzichtet (Kosten, engl. »cost«, im angenommenen Falle 2 Eier), **B** für die Anzahl von Nachkommen des Verwandten, die dank der Hilfe zusätzlich entstehen (Nutzen, engl. »benefit«, hier 6 Eier), und **r** ist der Verwandtschaftsgrad zwischen Helfer und Empfänger der Hilfe. Er drückt die Wahrscheinlichkeit aus, dass abstammungidentische Kopien des ›Gens für Altruismus‹ in den Nachkommen des Empfängers der Hilfe vorhanden sind, relativ zur Wahrscheinlichkeit, dass sie in den eigenen Nachkommen vorhanden sind. Bei Geschwistern beträgt der Verwandtschaftsgrad meist 0,5. Deshalb könnte sich das ›Gen für Altruismus‹ in unserem Beispiel ausbreiten. Analog zur direkten Fitness eines Individuums, die sich in der Anzahl der überlebenden Nachkommen ausdrückt, führte Hamilton den Begriff der indirekten Fitness des Helfers ein; der Terminus umfasst die durch die Hilfe zusätzlich entstandenen Nachkommen des Empfängers der Hilfe, gewichtet mit dem Verwandtschaftsgrad zwischen Helfer und Empfänger.

Hamiltons Theorie erklärt besonders elegant, warum altruistisches Verhalten und sterile Arbeiterrinnenkästen gerade bei den Hautflüglern (Hymenopteren) in der Stammesgeschichte so häufig unabhängig voneinander entstanden sind, außerhalb dieser Insektenordnung aber nur recht selten (z. B. bei Nacktmullen und Termiten). Bei Hymenopteren liegen nämlich dadurch, dass sich die Männchen aus unbefruchteten Eiern entwickeln, besonders enge Verwandtschaftsverhältnisse zwischen Schwestern vor: Sie haben einen Verwandtschaftsgrad von 0,75 und teilen durch gemeinsame Abstammung miteinander mehr Gene als mit den eigenen Nachkommen 2. Ein Hymenopterenweibchen profitiert somit davon, wenn es auf die

3

Ein Blick ins Nest einer nordamerikanischen *Leptothorax*-Kolonie.



Produktion von eigenen Töchtern verzichtet und stattdessen als Arbeiterin seiner Mutter – der Königin – bei der Aufzucht zusätzlicher Schwestern hilft. Allerdings sind Hymenopterenweibchen mit ihren Brüdern weniger eng verwandt (0,25) als mit den eigenen Söhnen (0,5) und stehen daher unter dem Selektionsdruck, aus den eigenen unbefruchteten Eiern Männchen heranzuziehen. Hieraus können sich Konflikte zwischen Königin und Arbeiterinnen um die Herkunft der Männchen im Staat ergeben.

Die obige Ungleichung wird durch den hohen Verwandtschaftsgrad stark zugunsten der Hilfe verschoben. Bei geeigneten Kosten-Nutzen-Verhältnissen kann es aber auch zu Kooperation zwischen weniger eng verwandten Individuen kommen. So lohnt es sich beispielsweise, selbst einem sehr entfernten Verwandten zu helfen, wenn kaum Chancen für eine erfolgreiche eigene Fortpflanzung bestehen, etwa weil alle Territorien oder Partner vergeben sind.

Populationsgenetische Arbeitsmethoden ermöglichen es, die tatsächlichen Verwandtschaftsverhältnisse in Tiergruppen exakt zu bestimmen und damit die fundamentalen Annahmen von Hamiltons Theorien zu überprüfen. Dabei wird ausgenutzt, dass sich viele vererbliche Merkmale bei den Individuen einer Population unterscheiden. Genauso wie aus Gemeinsamkeiten in Blutgruppe, Augenfarbe und anderen genetisch bedingten Merkmalen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf die Verwandtschaft zweier Menschen geschlossen werden kann, lässt sich aus Ähnlichkeiten im Muster bestimmter hochvariabler genetischer Marker (z. B. Mikrosatelliten-DNS) errechnen, ob Ameisen in einem Nest alle von der gleichen Mutter und vom gleichen Vater abstammen. Schmalbrustameisen der Gattung *Leptothorax* gehören zu den diesbezüglich am besten untersuchten sozialen Insekten. Ihre Staaten nisten in morschem Holz, unter Steinen oder in hohlen Eicheln und bestehen meist nur aus eini-

gen Dutzend Individuen. Sie lassen sich leicht komplett sammeln und im Labor unter naturnahen Bedingungen über lange Zeit halten 3. In den letzten Jahren wurden sie daher vielfach als Modellsystem für Untersuchungen zur genetischen Struktur von Kolonien und Populationen sozialer Insekten herangezogen – *Leptothorax* wurde quasi zur *Drosophila* der Soziobiologie.

#### Insektenstaaten sind meistens Familienverbände

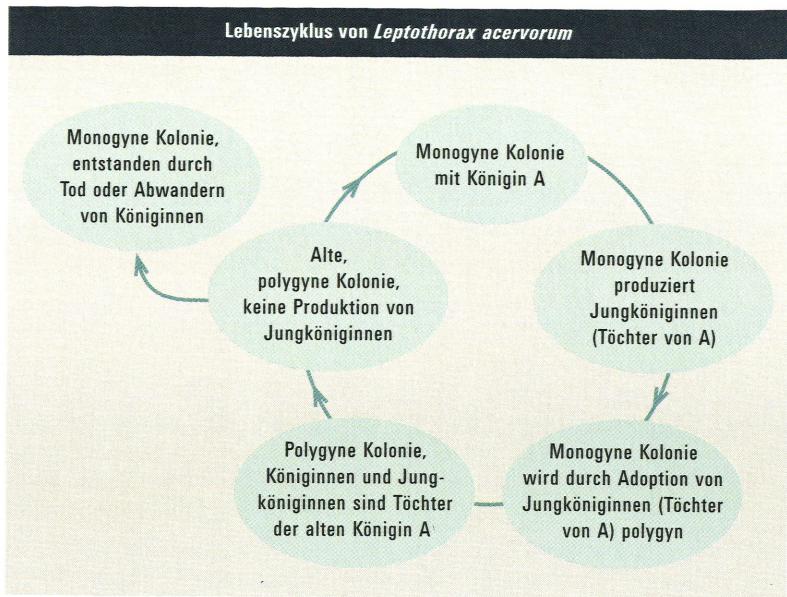
Genetische Analysen zeigen, dass *Leptothorax*-Staaten tatsächlich fast immer aus sehr eng miteinander verwandten Individuen bestehen. In vielen Fällen errechnet sich für die Arbeiterinnen eines Staates ein Verwandtschaftsgrad von 0,75, das heißt, die Arbeiterinnen sind Vollschwestern, die vom gleichen Elternpaar abstammen. Bei anderen Arten, z. B. *L. acervorum*, können in einem Nest mehrere Königinen nebeneinander vorkommen (fakultative Polygynie), die Arbeiterinnen sind entsprechend weniger eng miteinander verwandt. Man würde erwarten, dass der Verwandtschaftsgrad mit der Adoption neuer Königinen von Generation zu Generation immer niedriger wird und sich die Hilfe für die Arbeiterinnen letztendlich nicht mehr lohnt. Ein stetiges Absinken des Verwandtschaftsgrades wird aber bei *L. acervorum* durch einen häufigen Wechsel der Koloniestruktur verhindert: In Staaten mit nur einer Königin (Monogynie) werden Jungköniginen produziert, die nach der Paarung ins Mutternest zurückkehren und dort fertil werden. Infolgedessen sinkt der Verwandtschaftsgrad zwischen den Arbeiterinnen. Ältere polygynie Kolonien produzieren aber offensichtlich kaum mehr neue Königinen, sondern neben Arbeiterinnen nur noch männliche Geschlechtstiere. Durch Tod und Abwanderung alter Königinen sinkt die Königinenzahl pro Kolonie, und der Verwandtschaftsgrad der Arbeiterinnen steigt wieder an 4. In der Entwicklung vielzelliger Tiere wird das Einzell-Stadium als Mechanismus

interpretiert, der eine hohe Verwandtschaft der Zellen im Organismus garantiert und die Ausbreitung »egoistischer Zelllinien« eindämmt – auf ähnliche Art und Weise könnte die monogynie Phase im Lebenslauf fakultativ polygyner Arten eine »Erosion« der Verwandtschaftsstruktur verhindern. Gleichzeitig könnte sie einen Schutz vor Parasitierung durch egoistische Individuen bedeuten.

Tatsächlich sind soziale Gruppen sehr anfällig gegenüber Parasiten, die die gegenseitige Hilfe in den Familienverbänden egoistisch ausnutzen. Soziale Insekten können zwar aufgrund eines allen Nestgenossinnen gemeinsamen »Koloniegeruchs« das Eindringen fremder und damit anders riechender Individuen in den Staat verhindern. Dennoch sind zahlreiche Fälle von »Sozialparasitismus« bekannt: Dabei schleichen sich Königinnen in fremde Kolonien der gleichen Art ein, töten oder vertreiben die dort vorhandene Königin und lassen ihre eigene Brut von den fremden Arbeiterinnen aufziehen. Sie umgehen damit die schwierige Phase der selbstständigen Koloniegründung. Ein solcher fakultativer, intraspezifischer Sozialparasitismus könnte den ersten Schritt in der Evolution zum obligatorischen interspezifischen Sozialparasitismus darstellen, wie er bei *Leptothorax* und verwandten Arten recht häufig vorkommt. Königinnen von *L. paraxenus* produzieren keine eigenen Arbeiterinnen mehr und sind vollständig auf die Hilfe von Arbeiterinnen einer anderen Art, *L. canadensis*, angewiesen. Wie es Sozialparasiten schaffen, das Erkennungssystem sozialer Insekten zu umgehen, wird derzeit von uns intensiv untersucht. Offensichtlich sind hier Strategien wie chemische Tarnung oder chemische Mimikry entstanden, bei denen Königinnen den Geruch fremder Arbeiterinnen nachahmen oder annehmen und dadurch unerkannt in die Kolonie eindringen können.

### Umweltfaktoren bestimmen die Struktur der Gruppe

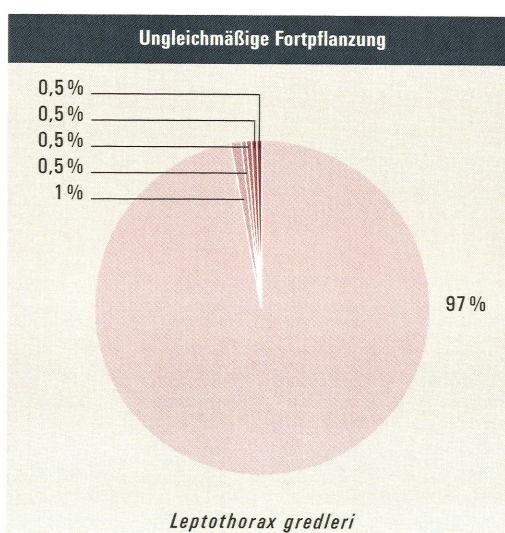
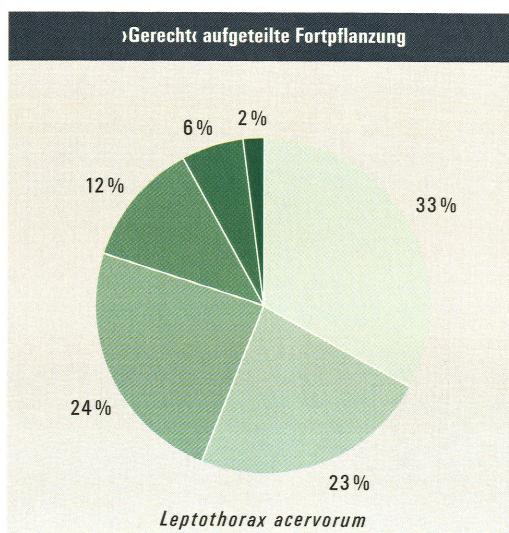
Trotz vieler Ähnlichkeiten im genetischen und sozialen Aufbau unterscheiden sich die Gruppen sozialer Tiere in wesentlichen Merkmalen. Besonders große Unterschiede bestehen bezüglich der



Aufteilung der Fortpflanzung zwischen den einzelnen Individuen innerhalb der Gruppe. Während manche Wespenstaaten, Wolfsrudel oder Affengruppen durch Dominanzhierarchien strukturiert sind, in denen ranghohe Individuen deutlich mehr Nachkommen haben als untergeordnete Tiere, haben in den Gruppen von Präriegunden oder Eichelspechten alle Individuen die gleichen Chancen, sich fortzupflanzen. Eine ähnlich große Variabilität lässt sich bei polygyinen Schmalbrustameisen beobachten: Während sich die Königinnen in Nestern von *Leptothorax muscorum* gegenseitig tolerieren und sie alle gleichermaßen Eier legen, attackieren sich die Königinnen von *L. gredleri* mit Antennenschlägen und Bissen. Sie etablieren dadurch Hierarchien, in denen die dominante  $\alpha$ -Königin über lange Zeit »despotisch« die Fortpflanzung monopolisiert **5**. In wieder anderen Fällen können die Dominanzverhältnisse über Wochen instabil bleiben. Mehrere gleich starke Königinnen attackieren sich dabei solange gegenseitig, bis der Staat in zwei oder mehr Untergruppen auseinander bricht. Zwischen den einzelnen Königinnen im Staat bestehen in jedem Fall die gleichen Interessenskonflikte – jede Königin steht unter dem Selektionsdruck, ihre Fitness zu

**4**

Lebenszyklus einer Kolonie der Schmalbrustameise *Leptothorax acervorum*. Durch den regelmäßigen Wechsel der Königinenzahl wird verhindert, dass der Verwandtschaftsgrad zu stark absinkt.



**5**

Aufteilung der Reproduktion zwischen verschiedenen Königinnen in jeweils einem Staat der Ameisenarten *Leptothorax acervorum* und *Leptothorax gredleri*.

Prof. Dr. rer. nat.

Jürgen Heinze

geb. 1957 in Darmstadt.

Studium der Biologie an der

TH Darmstadt. 1988 Promotion.

1988/89 Postdoc bei E. O. Wilson,

Harvard University, Cambridge,

Mass.; 1989–1995 Wiss. Assistent

bei Bert Hölldobler, Biozentrum der

Universität Würzburg; 1994 Habi-

itation, 1995–1996 Heisenberg-

Stipendium. 1996 Professor an der

Universität Erlangen-Nürnberg.

Seit April 2000 Professor an der

Universität Regensburg.

**Forschungsgebiete:**

Evolution, Genetik und Verhaltens-  
ökologie sozialer Insekten.

maximieren und so viele Eier wie möglich zu legen. Diese Konflikte werden aber unterschiedlich gelöst, was zu den drastischen Unterschieden in der Gruppenstruktur führt.

Folgt man Modellen zur optimalen Aufteilung der Fortpflanzung (»optimal skew models«), kommt den ökologischen Rahmenbedingungen, vor allem der Verfügbarkeit von Nistmöglichkeiten, eine wichtige Rolle bei der Bestimmung der Gruppenstruktur zu. Sind alle Königinnen gleichermaßen miteinander verwandt, so ist zu erwarten, dass sie eine ungleichmäßige Aufteilung der Fortpflanzung nur dann tolerieren, wenn ihre indirekten Fitnessgewinne aus der Hilfe bei der Aufzucht der Nachkommen der dominanten Königin größer sind als die bei Abwanderung aus der Gruppe zu erwartende Fitness aus eigener Fortpflanzung. Soziale und reproduktive Hierarchien sollten daher gerade dort vorkommen, wo schwierige Umweltbedingungen eine erfolgreiche Abwanderung unwahrscheinlich machen – ökologische Zwänge stabilisieren also hierarchische Strukturen. Unter günstigen Bedingungen ist hingegen mit einer ausgewogenen Verteilung der Reproduktion in Tiergruppen zu rechnen.

Ein Vergleich von Lebensraum und Koloniestruktur zeigt, dass Schmalbrustameisen, deren Kolonien durch Dominanzhierarchien charakterisiert sind, tatsächlich hauptsächlich in Habitaten vorkommen, in denen den Jungköniginnen eine Auswanderung aus dem Nest und eine eigenständige Koloniegründung nahezu unmöglich ist. Die noch unbeschriebene nordamerikanische Art *Lepto thorax* sp. A nistet beispielsweise an halb beschatteten Rändern isolierter Felsflächen. Hier sind die Nistmöglichkeiten – kleine, morsche Kieferstöckchen – stark limitiert, und eine Jungkönigin hat wenig Chancen, selbstständig eine neue Kolonie zu gründen. Unter diesen Bedingungen profitiert sie davon, im Nest zu verbleiben und einer verwandten, dominanten Königin bei der Brutaufzucht zu helfen, selbst wenn sie dabei selbst keine Eier legen kann. Im Gegensatz dazu kommen die Arten, in deren Nestern alle Königinnen reproduktiv sind, in lichten Nadelwäldern vor, in denen Nistmöglichkeiten über weite Flächen homogen verteilt sind. Hier sind Staaten mit mehreren Königinnen nur stabil, solange keine Königin versucht, die Fortpflanzung zu monopolisieren. Entsprechende Zusammenhänge zwischen ökologischen Zwängen und der Gruppenstruktur wurden mittlerweile auch bei anderen Tierarten, z. B. in Gruppen brütenden Vögeln, nachgewiesen.

Ganz wesentlich wird die Gruppenstruktur und die Art, wie Interessenskonflikte zwischen Einzelindividuen gelöst werden, auch von der Anzahl der konkurrierenden Individuen beeinflusst. Dominanzhierarchien sind nur dann stabil, wenn die dominanten Individuen alle anderen Gruppenmitglieder direkt dominieren können. Ist die Gruppe dafür zu groß, brechen Hierarchien, die auf aggressiven Interaktionen beruhen, zusammen. Indirekten Kontrollmechanismen kommt dann eine stärkere Bedeutung zu. In Staaten sozialer Insekten mit einigen Tausend oder Hunderttausend Individuen werden Konflikte um die Aufteilung der Reproduktion durch chemische Signale, z. B. Königinnenpheromone, gelöst. Zusätzlich sind Verhaltensweisen entstanden, durch die diejenigen Individuen, die versuchen, egoistisch ihre eigenen Interessen gegen die anderer Gruppenmitglieder durchzusetzen, »bestraft« werden, beispielsweise indem sie aus der Gruppe verstoßen werden oder ihre Eier gefressen werden.

## Ausblick

Unsere Untersuchungen an sozialen Insekten haben mehrfach geholfen, wesentliche Grundannahmen evolutionsbiologischer und soziobiologischer Modelle zu überprüfen und dadurch die Evolution von Tiergruppen besser zu verstehen. Durch neue Befunde zur Variabilität der Struktur von Insektenstaaten und zur dort gängigen Konfliktlösung wurden immer wieder entsprechende Forschungen auch bei anderen sozialen Tieren initiiert, die zu überraschenden neuen Erkenntnissen zum Gruppenleben allgemein führten. In jüngster Zeit konnten verblüffende Analogien zwischen Insektenstaaten und Industrieunternehmen aufgezeigt werden, die vermuten lassen, dass im Wettbewerb der kulturellen Evolution genau wie in der natürlichen Selektion bestimmte Strukturen erfolgreicher und damit »überlebensfähiger« sind als andere. So sind Konzerne, in denen Entscheidungen ähnlich wie in Insektenstaaten dezentral gefällt werden, anpassungsfähiger und reagieren schneller auf Änderungen der Marktsituation als streng hierarchisch strukturierte Konzerne. Nach dem Vorbild sozialer Insekten wurden auch effiziente Roboter konstruiert, und aus dem Kommunikationssystem von Ameisen wurden Algorithmen zur Lösung komplexer geometrischer Probleme abgeleitet. Es ist anzunehmen, dass soziale Insekten auch in Zukunft eine Schlüsselrolle in der Forschung spielen werden.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 65

# Wie in Europa ein Bild der Ferne entstand



Die Sammlung des Historischen Museums der Stadt Regensburg vermittelt eindrucksvoll das Bild der Ferne, wie es im Verlauf der Neuzeit in Europa entstanden ist. Von frühen Drucken des 15. Jahrhunderts über Bildberichte von Konquistadoren, Missionaren und Kaufleuten bis hin zu den Darstellungen von Wissenschaftlern, Künstlern und Fotografien von Touristen.

## Regensburger Studien und Quellen zur Kulturgeschichte 11

Herausgegeben von den Museen und dem Archiv der Stadt Regensburg

312 Seiten, zahlreiche zum Teil farbige Abbildungen

Im Buchhandel und in den Museen der Stadt Regensburg

UNIVERSITÄTSVERLAG REGensburg

ISBN 3-930480-53-0

DM 49,- ab 1.1.2001 € 25,-

# Das Rad – eine uralte Erfindung der Natur

## Über die erstaunliche Motorik rotierender Bakteriengeißeln

### Blickpunkt

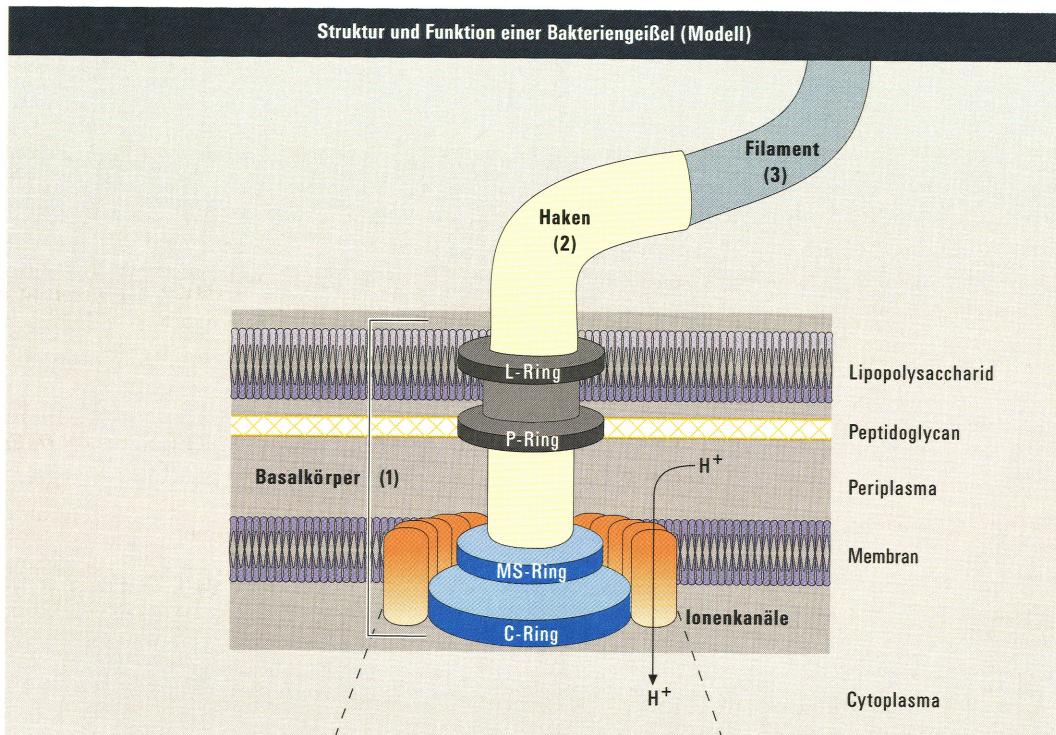
**Seit ca. drei Milliarden Jahren gibt es Bakterien und Archaeen, die, von langen schraubenförmigen Geißeln getrieben, alle Biotope dieser Erde erobert haben. Triebwerke der Geißel-Propeller sind winzige molekulare Motoren mit rotierenden Ringen. Einzellige Mikroorganismen haben vor Urzeiten das Rad erfunden!**

Im Mikrokosmos der Bakterien sind diejenigen Könige, die schwimmend ihre kleine Welt auf der Suche nach schützenden Nischen und neuen Nahrungsquellen erforschen. Diese Privilegierten sind mit winzigen rotierenden Motoren ausgestattet. Jeder Motor treibt über eine biegsame Welle ein dünnes, schraubenförmiges Filament an, das ausgestreckt die Bakterienzelle um Längen übertrifft. Im Elektronenmikroskop werden diese dünnen Filamente (Durchmesser 1/50 000 mm) sichtbar 1. Motor, Welle und Filament bilden zusammen eine Bakteriengeißel, die sich mit weiteren Geißeln in gemeinsamer Rotation zum Bündel vereint, das die schwimmende Zelle einer Schiffs-schraube gleich vorantreibt. Schwimmende Bakterienzellen sind ‚Rennboote‘: In einer Sekunde legen sie das 35fache ihrer eigenen Länge zurück und sind damit 30-mal schneller als der 1,90 m große Olympiasieger im 100-m-Freistil-Schwimmen von Melbourne. Solch erstaunliche Leistungen einer kleinen ‚biologischen Maschine‘ haben seit den siebziger Jahren eine wachsende Zahl von Genetikern, Biophysikern, Biochemikern und Elektronenmikroskopikern auf den Plan gerufen. Als 1973 die Rotation von Bakteriengeißeln erstmals im Experiment demonstriert wurde, war dies eine Entdeckung, die lange Zeit für nicht möglich gehalten wurde. Haben wir es doch mit dem ersten ‚Rad in der Biologie‘ zu tun! Fragen nach der Struktur des Motors, der Rotationsmechanik und der Energieumwandlung im Geißelmotor wurden seitdem intensiv erforscht. Das Mosaik vieler Resultate hat erstaunliche Einzelheiten über Anatomie und Funktionsweise dieser rotierenden ‚Nanomaschinen‘ ans Licht gefördert.

Bild 2 zeigt im oberen Teil den Bauplan einer Bakteriengeißel mit dem Basalkörper (1) samt Motor, eingebettet in die Zellwand, dem Haken (2) als flexibler Welle und dem langen, schraubenförmigen Filament (3) als wirkungsvollem Propeller. Die Elemente des Basalkörpers haben überraschende Ähnlichkeit mit einer Maschine: eine rotierende Welle mit vier aufgesetzten Ringen, von denen die beiden oberen (P- und L-Ring) als Drehlager in der Zellwand verankert sind, die

beiden unteren (MS- und C-Ring) als Schwungrad und Rotor in fester Verbindung mit der Zentralachse stehen (2 oben). Der Fluss von Protonen ( $H^+$ ) durch radial angeordnete Ionenkanäle erzeugt Kräfte, die am Rotor (C-Ring) angreifen und diesen samt der Geißel in Drehung versetzen. Dabei wird elektrochemische in mechanische Energie umgewandelt. Die universelle biologische Energiequelle ‚elektrochemischer Protonengradient‘ entspricht einer elektrischen Batterie: Auf der Zellmembran sitzen außen positive und innen negative Ladungen. Beim Spannungsausgleich fließen positive Ionen ( $H^+$ ) von außen über die Transmembrankanäle nach innen. Die gewonnene Energie wird in Drehbewegung umgewandelt. Der Mechanismus der Umwandlung von elektrochemischer und chemischer Energie in mechanische Arbeit – zentrales Problem jeder biologischen Bewegung – ist noch nicht endgültig aufgeklärt, unter anderem, weil man bei Messungen der Moleküldynamik von Protonenkanälen noch vor ungelösten technischen Problemen steht. In solchen Fällen können Modelle, die auf molekularen und biophysikalischen Daten gründen, zu neuen experimentellen Konzepten und zu sinnvollen Lösungen führen.

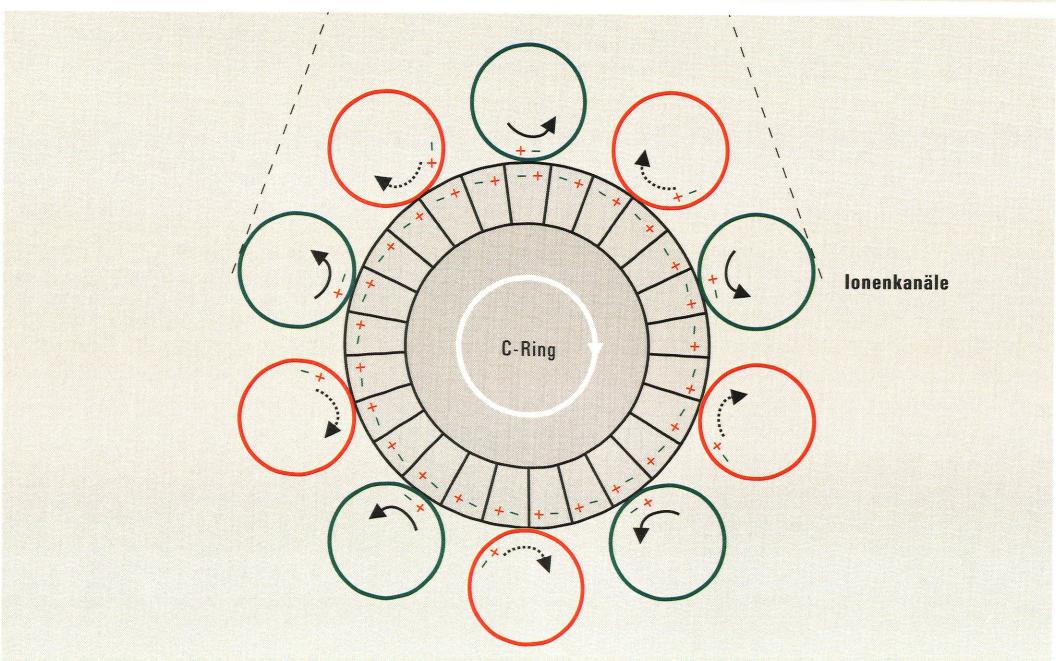
Ein von uns entwickeltes Modell 2 zeigt unten in Aufsicht den Rotor (C-Ring) mit 25 gleichen Segmenten. Durch zehn radial angeordnete Kanäle fließen pro Umlauf des Rotors ca. 1000 Protonen, die damit Energie für die Drehbewegung liefern. Jeder zweite Kanal ist über positive und negative Ladungs-Antipoden an ein Rotorsegment gekoppelt. Wie aber kommt es zur Rotation? Das so genannte *Helix-Rotations-Modell* liefert eine einleuchtende Erklärung: Man stelle sich die Kanäle als flexible Schläuche vor, die den Protonendurchfluss dadurch steuern, dass sie durch schnelles ‚Verdrehen‘ den Durchlass rhythmisch öffnen und schließen. Diese kurzen Drehbewegungen werden alternierend von den ‚grünen‘ und ‚roten‘ Kanälen mittels elektrostatischer Kopplung auf gegenüberliegende Rotorsegmente übertragen und drehen auf diese Weise das Rad jeweils um ein Fünfzigstel. Da ein Flagellenmotor sich rund 300-mal pro Sekunde dreht, pulsiert jeder Kanal mit einer Frequenz von  $50 \times 300 = 15\,000$  Hertz. Die elektrochemische Energie wird nahezu reibungslos, mit einem Wirkungsgrad von 95 Prozent, in Drehbewegung (Rotationsenergie) umgewandelt, eine Leistung, die nur im Nanobereich von Molekülstrukturen erreicht werden kann!



2

oben:

Schnitt durch Bakterienzellwand (Lipopolsaccharid- und Peptidoglycan-Schichten) und Membran mit inserierter Geißel (Schema nach elektronenmikroskopischen Aufnahmen). Die Geißel besteht aus dem schraubenförmigen Filament (3), einem flexiblen Haken (2) sowie dem Basalkörper (1) mit L- und P-Ringen (feste Drehlager) und rotierenden MS- und C-Ringen (Schwungrad und Rotor), umgeben von energieliefernden Protonenkanälen ( $H^+$ ). Die vier Ringe sind nach ihrer Lage in Schichten der Zellhülle und im Cytoplasma benannt.



2

unten:

Aufsicht auf Rotor (C-Ring) und radial angeordnete Ionenkanäle. Pulsierende Drehbewegungen (kleine Pfeile) werden von >grünen< und >roten< Kanälen alternierend über elektrostatische Kräfte (+/-) auf den Rotor übertragen und in Rotation umgesetzt (weißer Pfeil).

Prof. Dr. rer. nat.

**Rüdiger Schmitt**

geb. 1936 in Münster.

1955–1961 Studium der Chemie in Berlin und Braunschweig,

1963 Promotion, 1964–1968

Post-Doc am SIMB, Stanford, CA, und NIH, Bethesda, MD, USA.

1968–1974 Universität Erlangen-Nürnberg, dort 1969 Habilitation. Seit 1974 Lehrstuhl für Genetik an der Universität Regensburg.

*Forschungsgebiete:*

Springende genetische Elemente (Transposons), Entwicklungs- genetik der Kugelalge *Volvox*, Chemotaxis und Bewegungs- steuerung von Bodenbakterien.

Dr. rer. nat.

**Birgit Scharf**

geb. 1964 in Dortmund.

1983–1989 Studium der Biologie in Bochum, 1992 Promotion und

1992–1993 Post-Doc am MPI für Molekulare Physiologie in Dortmund, 1994–1998 Harvard Universität in Cambridge, MA, USA, seit 1998

Wiss. Assistentin am Lehrstuhl für Genetik der Universität Regensburg.

*Forschungsgebiet:*

Struktur u. Funktion des Geißelmotors.

Das Rad als wirksames Instrument der Fortbewegung ist eine frühe Erfindung einzelliger Mikroorganismen. Drehende Geißeln findet man bei vielen Vertretern der Ur-Reiche *Bacteria* und *Archaea*, deren gemeinsame Wurzel auf ca. drei Milliarden Jahre datiert wird. Ein Ur-Bakterium – gemeinsamer Vorfahre von Bakterien und Archaeen – hat folglich vor rund drei Milliarden Jahren die rotierende Geißel erfunden!

Warum wurde dieses Prinzip, das sich in den Bakterien-Reichen so erfolgreich bewährt hat, in der späteren Evolution von Protozoen, Pflanzen und Tieren nicht übernommen und weiterentwickelt? Deren Flagellen und Cilien haben einen völlig anderen Bauplan und sind fest am Zellpol verankert. Im technischen Vergleich wären Bakteriengeißeln rotierende Schiffsschrauben, die Flagellen höherer Organismen schlagende Ruder. Der „Ruderschlag“ von Flagellen beruht auf parallel verlaufenden Filamenten, die durch viele bewegliche Querbrücken unter Verbrauch chemischer Energie gegeneinander verschoben werden. Dieses Prinzip wurde beim tierischen Muskel zu höchster Effizienz ausgebildet.

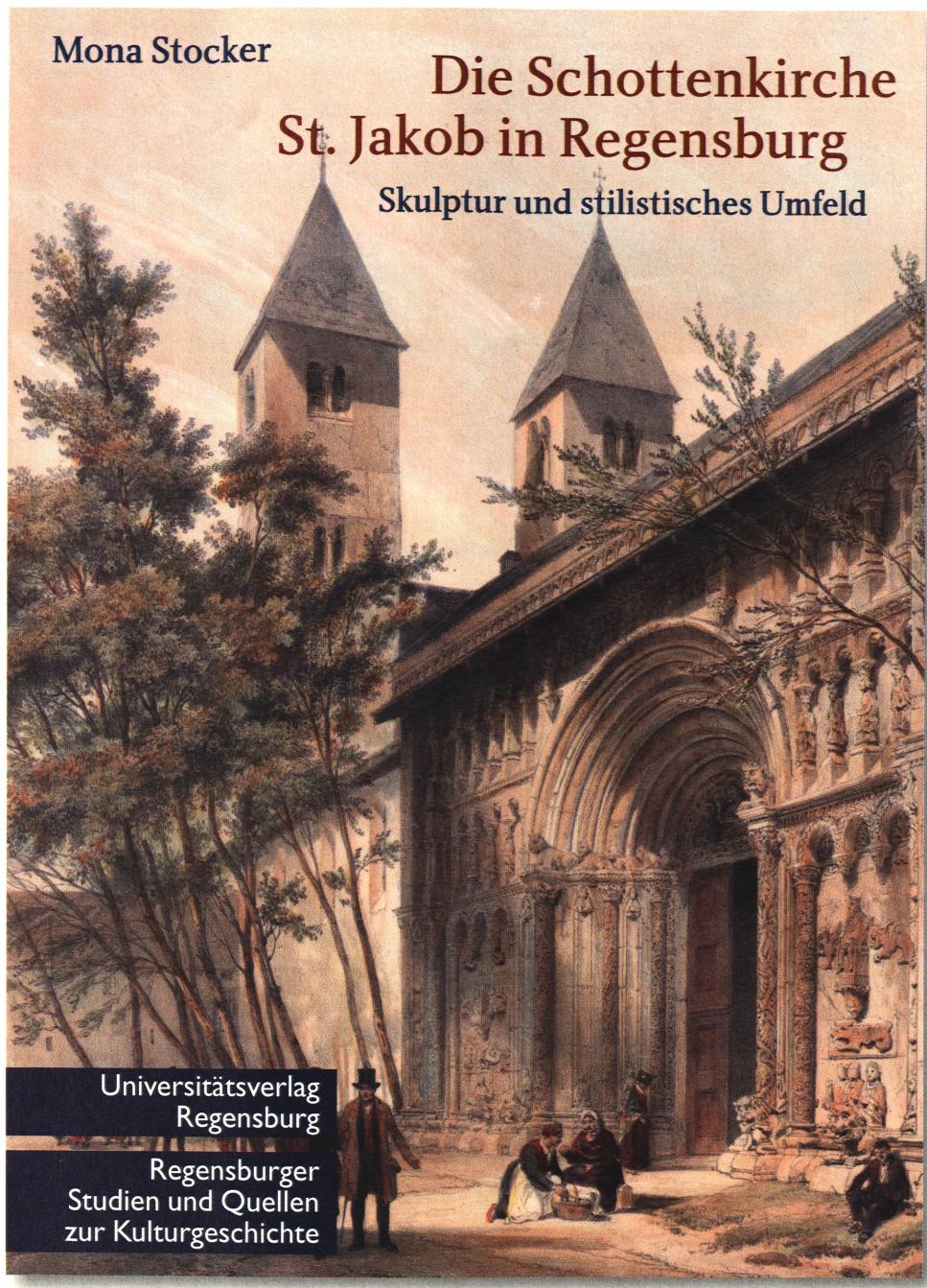
Eine überraschende Parallele findet sich in den Hochkulturen der Azteken und Maya, die das Rad nie zur Fortbewegung eingesetzt haben. Dies nicht etwa aus Unkenntnis oder technischer Rückständigkeit: Unter den Spielzeugen ihrer Kinder fand man durchaus kleine Wagen mit Rädern! Hielten sie das Rad für die Bewegung auf steinigen und sandigen Wegen für ungeeignet? In der Evo-

lution zu größeren Organismen ist die Natur einer ähnlichen Logik gefolgt: Im Nanobereich von Molekülstrukturen kann ein Protonen-Motor ohne größere Widerstände wirken. Der Rotor-Durchmesser beträgt 35 Nanometer (1 Nanometer = ein Millionstel Millimeter)! Die Energiequelle ist begrenzt, größere Strukturen würden zu Reibungsverlusten und mit wachsendem Durchmesser zum Stillstand führen.

Ein neues Konzept, das die Energiequelle auf viele Punkte entlang bewegter Filamente verteilt, wurde entwickelt, und das Prinzip des rotierenden Rades geriet in Vergessenheit. Nachdem Mikroorganismen die Erde fast zwei Milliarden Jahre lang beherrscht und mit rotierenden Geißeln alle Biotope erobert hatten, setzte vor ca. 1,3 Milliarden Jahren die Evolution größerer und leistungsfähiger Organismen ein, und neue, stärkere Bewegungsstrukturen waren gefragt. Rotierende kleine Räder waren dazu energetisch und mechanisch ungeeignet. Die frühe Erfindung des rotierenden Rades wurde von der Entwicklung überholt – bis der *homo faber* vor rund 5000 Jahren eine neue Ära rollender Räder einleitete.

Bildnachweis ► Seite 65

„... 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

Ab Anfang Dezember im Buchhandel oder über Bestell-Hotline 0800 / 33 44 33 0

UNIVERSITÄTSVERLAG REGENSBURG

ISBN 3-930480-56-5

DM 59,- ab 1. 1. 2001 € 30,-

# Buntes Treiben im Inneren des Protons

## Quarks, Gluonen und ihre Wechselwirkung

### Hadronenphysik

**Atomkerne bestehen aus Protonen und Neutronen, die eine faszinierende innere Struktur besitzen. Sie sind komplexe, extrem dynamische Vierteilchenzustände aus Quarks und Gluonen. Moderne Großbeschleuniger und Höchstleistungscomputer ermöglichen es, ihre innere Dynamik zu verstehen.**

Mit den Quarks und Gluonen hat das Verständnis der Materie in gewisser Weise eine dritte Stufe erreicht: Zunächst lernte man, dass Atome aus Atomkernen und Elektronen aufgebaut sind, dann, dass Atomkerne Protonen und Neutronen enthalten, und schließlich, dass diese wiederum eine Quark-Gluon-Struktur haben.

Heute kennt man 112 Atomsorten (Elemente) und etwa tausend verschiedene Atomkerne, die alle aus Protonen und Neutronen bestehen. Außerdem kennt man noch einige hundert Teilchen, die in ähnlicher Weise wie Proton und Neutron aus Quarks und Gluonen aufgebaut sind und die normalerweise in Atomkernen nicht vorkommen. Alle diese Teilchen bezeichnet man als 'Hadronen'.

Es gibt sechs verschiedene Arten von Quarks, die man mit *up*, *down*, *strange*, *charm*, *top* und *bottom* kennzeichnet. Für das Proton spielen die *Up*-Quarks und die *Down*-Quarks die wichtigste Rolle. Nach unserem heutigen Kenntnisstand haben die Quarks, wie auch die Elektronen, keine innere Struktur. Sie werden als punktförmig betrachtet.

Während man sich den Aufbau der Atomkerne aus Protonen und Neutronen in Analogie zu einem Baukasten vorstellen kann, führt dies auf der Ebene der Quarks und Gluonen in die Irre. Hadronen muss man quantenmechanisch beschreiben, und es ist ein wesentliches Element der Quantenmechanik, dass jeder Messprozess den Zustand verändert, den er untersucht. Bei großen Objekten, also z. B. allen, die wir mit unseren Augen sehen können, sind diese Änderungen in der Regel viel zu winzig, um nachweisbar zu sein. Für Quarks und Gluonen sind sie essenziell.

#### Die quantenmechanische Unschärferelation

Eine fundamentale Aussage der Quantenphysik ist in der Heisenberg'schen Unschärferelation enthalten: Jeder Messprozess verändert das untersuchte Objekt, und dadurch ist die Information, die man über ein System erhalten kann, begrenzt

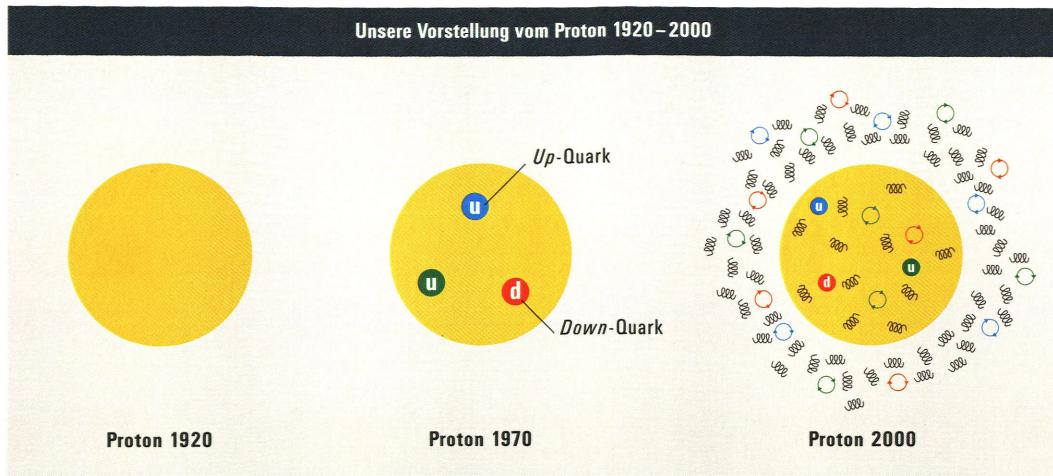
– z. B. kann man die Energie eines Objekts und den Zeitpunkt der Energiemessung nicht gleichzeitig präzise bestimmen.

Quantenmechanisch wird jedes Objekt durch eine Wellenfunktion beschrieben. Kennt man diese zu einem gegebenen Zeitpunkt, so kann man (zumindest im Prinzip) ihre Form zu jedem anderen Zeitpunkt berechnen. Die Gleichungen, die dies erlauben, sind Wellengleichungen, ähnlich den Maxwell'schen Gleichungen, die das zeitliche Verhalten elektromagnetischer Wellen beschreiben. Das Auftreten von Unschärferelationen ist allen Wellenphänomenen gemeinsam.

Die fundamentale Rolle des Messprozesses soll mit einer Analogie veranschaulicht werden: Man stelle sich eine große Skulptur in einer dunklen Halle vor. Diese soll dem Zustand unseres quantenmechanischen Systems entsprechen. In Analogie zur Messung eines quantenmechanischen Zustandes soll mit einer Taschenlampe ein kleiner Teil der Skulptur beleuchtet werden. Um die Effekte der Quantenphysik zu beschreiben, muss dann aber angenommen werden, dass sich die nichtbeleuchteten Teile während der Messung verändern, und zwar umso mehr, je stärker das Licht der Lampe ist. In einem solchen Fall könnte man also nie ein vollständiges Bild der Skulptur aus Einzelaufnahmen zusammensetzen. Um eine derartige Skulptur komplett zu beschreiben, müsste man auch die Veränderung durch den Messprozess vorhersagen können. Analog ist es nicht möglich zu sagen, ein Proton bestehe aus einer bestimmten Anzahl von Quarks und Gluonen. Je nachdem, welche Messung man durchführt, wird die Antwort eine andere sein. Der entscheidende Punkt ist aber, dass die Quantenmechanik in der Tat die Messanordnung berücksichtigen und das Ergebnis einer Messung voraussagen kann.

Eine Konsequenz der Unschärferelation ist es, dass sich ununterbrochen Teilchen-Antiteilchen-Paare bilden und wieder vernichten können. Die Unschärferelation erlaubt dies, wenn die Lebensdauer eines Paares klein ist; je kleiner die Lebensdauer ist, desto größer ist die Energieunschärfe und damit der Spielraum für die Erzeugung von Paaren. Daher ist z. B. das Vakuum nicht einfach leer, sondern es ist gefüllt mit allen denkbaren Teilchen-Antiteilchen-Fluktuationen und hat hierdurch Eigenschaften, wie sie für Materie bekannt sind. So verändert ein elektrisches Feld das Vakuum, indem es die positiv und die negativ geladenen Teilchen bzw. Antiteilchen gegeneinander verschiebt. Es zeigt sich auch, dass

## Unsere Vorstellung vom Proton 1920–2000



1

## Die Entwicklung unseres Bildes des Protons:

Zunächst betrachtete man ein Proton als ein elementares Teilchen. Seit etwa 30 Jahren ist bekannt, dass es punktförmige Quarks und Gluonen enthält. Die Eigenschaften des Protons sind darüber hinaus wesentlich bestimmt durch eine lokale Modifikation des Vakuums, das seinerseits einen extrem komplexen und dynamischen Zustand aus vielfältigen Quantenfluktuationen darstellt.

■ **u** Up-Quark  
■ **d** Down-Quark  
■ Gluon

über 95 Prozent der Protonenmasse von der Wechselwirkung mit dem Vakuum herrühren und nicht etwa von den Massen der Quarks, aus denen das Proton besteht. Unser Modell für den inneren Aufbau der Hadronen ist somit kein statisches, sondern ein ausgesprochen dynamisches [1].

Die Bedeutung der Unschärferelation soll noch aus einem anderen Blickwinkel beleuchtet werden, nämlich mit Verweis auf die spektakulären Bilder, die man mit Elektronenmikroskopen gewinnen kann. Diese Mikroskope können weit kleinere Strukturen auflösen als herkömmliche Lichtmikroskope, und sie spielen in der Medizin, Mikrobiologie, den Materialwissenschaften und vielen anderen Bereichen eine zentrale Rolle. Der Grund der besseren räumlichen Auflösung ist in der Unschärferelation zu finden. Die Elektronen im Elektronenmikroskop streuen an der untersuchten Probe aufgrund der elektromagnetischen Wechselwirkung, also letztlich durch den Austausch von Lichtquanten. Entscheidend ist der hierbei auftretende Impulsübertrag. Da die Energie eines Elektrons im Elektronenmikroskop viel höher ist

als die eines Quants des sichtbaren Lichts, kann es viel energiereichere Lichtquanten mit der Probe austauschen und dementsprechend kleinere Strukturen auflösen. Durch Steigerung der Elektronenenergie kann die Auflösung weiter erhöht werden. In diesem Sinn ist der große Elektron-Proton-Kollider des Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY) in Hamburg [2] nichts anderes als ein ins Gigantische vergrößertes Elektronenmikroskop.

## Moderne Großexperimente der Hadronenphysik

Das heutige Verständnis des inneren Aufbaus der Hadronen basiert auf Jahrzehnten intensiver theoretischer und experimenteller Arbeit. Um dies richtig würdigen zu können, muss man bedenken, dass die Informationen, die man aus jedem einzelnen Experiment gewinnen kann, sehr indirekt sind. Quarks und Gluonen haben die besondere Eigenschaft, dass sie nicht frei vorkommen können. Wenn am DESY Elektronen und Protonen mit sehr großer Energie aufeinander prallen, so beobachtet man im Detektor einen ganzen Schwarm der unterschiedlichsten Hadro-



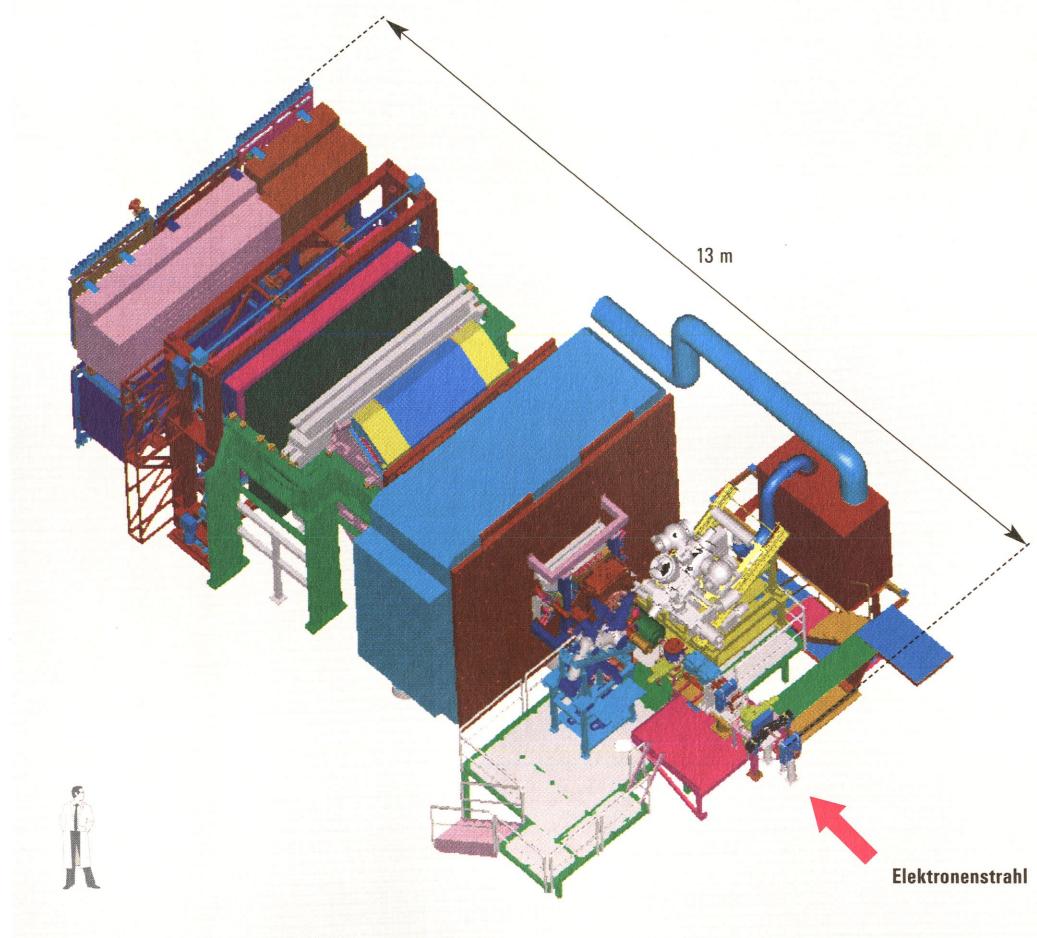
2

## Das Deutsche Elektronen-Synchrotron (DESY) in Hamburg.

Der Hauptbeschleuniger wurde unterirdisch gebaut. Er hat vier Experimentierhallen, in denen je ein Experiment möglich ist. Unsere Regensburger Arbeitsgruppe ist am Experiment HERMES beteiligt, das in der östlichen Experimentierhalle untergebracht ist.

Das HERMES-Experiment in einer Schemazeichnung in Draufsicht veranschaulicht. Der polarisierte Elektronenstrahl trifft zunächst auf eine Probe mit polarisierten Protonen. Die gestreuten Elektronen und die Reaktionsprodukte werden dann durch eine Kombination verschiedenartiger Detektoren nachgewiesen. Dabei wird die Energie und Flugrichtung der Elektronen und einiger Reaktionsprodukte nach dem Stoß bestimmt.

### Das HERMES-Experiment



nen. Von ihnen weist ein einzelner Detektor nur einen Teil nach. Trotzdem konnte man aus der bruchstückhaften Information z. B. herausfinden, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, ein Quark eines festgelegten Typs mit einer bestimmten Energie in einem Proton oder Neutron zu finden.

Planung und Interpretation von Experimenten an Großbeschleunigern erfordern eine sehr enge Zusammenarbeit von theoretischen Physikern und Experimentalphysikern. Unsere Regensburger Theorie-Arbeitsgruppe arbeitet mit am HERMES-Experiment des DESY 3. Dieses Experiment wird von einem Team mit etwa 200 Mitgliedern aus zehn Ländern betrieben.

HERMES untersucht Elektron-Proton-Kollisionen eines speziellen Typs, nämlich für polarisierte Teilchen. Jedes Teilchen hat einen Eigen-Drehimpuls, den Spin, der immer ein ganz- oder halbzahliges Vielfaches des Planck'schen Wirkungsquantums ist. Mit Hilfe von speziellen Anordnungen werden im Experiment die Spins der Elektronen und Protonen ausgerichtet. Aus den Streureaktionen kann man dann schließen, wie sich der Protonspin aus den Spins der Quarks und Gluonen und einem Drehimpuls aufgrund der Relativbewegungen von Quarks und Gluonen zusammensetzt. Dies ist das vordergründige Ziel von HERMES. Darüber hinaus erlaubt die Wahl verschiedener Polarisationsrichtungen, Effekte der fundamentalen Quark-Gluon-Wechselwirkung zu

untersuchen, die ohne Polarisation nicht zugänglich sind. Die Theorie der Quark-Gluon-Wechselwirkung bezeichnet man als Quantenchromodynamik (QCD).

Die Rolle des Spins soll veranschaulicht werden mit einer Analogie aus der klassischen Physik, dem Erde-Mond-System. Dieses entstand vor etwa vier Milliarden Jahren durch die Kollision zweier Vorgängerplaneten, einer Protoerde und eines Protomondes. Da Protoerde und Protomond etwas seitlich versetzt kollidierten, besitzt das Erde-Mond-System einen sehr großen Bahndrehimpuls, der sich aus der Erdrotation (man könnte diese in Analogie den Erdspin nennen), der Mondrotation (Mondspin) und der Rotation von Mond und Erde umeinander zusammensetzt. Die Summe aller Beiträge, das heißt der Gesamtdrehimpuls, muss immer konstant bleiben. In erdgeschichtlicher Zeit wurde die Eigenrotation von Mond und Erde durch die Gezeitenkräfte abgebremst. Beim kleineren Mond haben die Gezeitenkräfte bereits zu einer fast vollständigen Abstoppung geführt, das heißt, er rotiert nur noch einmal im Monat und zeigt uns daher immer die gleiche Seite. Durch die Verminde rung von Mondspin und Erdspin bei festem Gesamtdrehimpuls musste sich dann notwendigerweise der Bahndrehimpuls erhöhen. Dies konnte nur geschehen, indem sich Erde und Mond weiter voneinander entfernten, und das ist auch tatsächlich erfolgt. Hätte ein (sehr langlebiger) außerirdischer

Beobachter nur die zeitliche Entwicklung des Erd-Mond-Abstands registriert, so könnte er allein daraus Informationen über die Gezeitenkräfte, also die elastischen Eigenschaften von Erdkruste und Erdmantel und die Größe der Meere auf der Erde gewinnen. In ähnlicher Weise können wir durch das Studium der Reaktion polarisierter Elektronen und Protonen auf die Wechselwirkung zwischen den Quarks und Gluonen im Proton schließen. Allerdings haben wir es mit sehr vielen Teilchen zu tun, die sich außerdem noch ständig ineinander umwandeln.

Im Rahmen des HERMES-Projekts wurde eine Reihe von neuartigen spinabhängigen Effekten entdeckt. So ist z. B. die Winkelverteilung einer speziellen Hadronenart mit der Spinrichtung des Protons korreliert. Außerdem fand man, dass bei Reaktionen, bei denen nur ein Photon erzeugt wird und das Proton intakt bleibt, die Flugrichtung des Photons in spezieller Weise mit der des gestreuten Protons korreliert ist. Diese beiden Beobachtungen, die sich eher unspektakulär anhören, kann man mit fundamentalen Eigenschaften der Quantenchromodynamik in Zusammenhang bringen, und die prinzipielle Existenz dieser Effekte war vorhergesagt worden. Für den Experten sind diese komplizierten Prozesse eigentlich am interessantesten, während in der allgemeinen Diskussion häufig die Frage im Vordergrund steht: »Welche Teilchen tragen den Protonspin?«. Vernachlässigen wir einmal die angesprochenen Probleme des Messprozesses, so besteht das Proton im einfachsten Bild aus zwei *Up*-Quarks und einem *Down*-Quark. Entsprechend erwartete man naiv, dass diese den größten Teil des Spins tragen sollten. Mitte der achtziger Jahre wurde im Rahmen der Experimente der European Muon Collaboration am CERN (Centre Européenne pour la Recherche Nucléaire) in Genf gefunden, dass die drei Quarks höchstens 20 Prozent zum Spin des Protons beitragen. Außerdem zeigte sich, dass die Quantenfluktuationen Strange-Antistrange-Quark-Paare erzeugen, die stark negativ polarisiert sind. Nachdem diese Resultate zunächst zu mitunter recht abenteuerlichen theoretischen Spekulationen Anlass gaben, hat sich inzwischen gezeigt, dass sich letztlich wohl alle beobachteten Effekte innerhalb der Quantenchromodynamik mit wohlfundierten Methoden und kontrollierter Genauigkeit verstehen lassen, das heißt, die theoretischen Methoden liefern auch genaue Aussagen über die verbleibenden Unsicherheiten. Es zeigte sich dabei, dass die Rolle der Quantenfluktuationen – sehr allgemein gesprochen – für spin-abhängige Größen noch deutlich größer ist als für spin-unabhängige. Da diese Fluktuationen aber besonders empfindlich gegenüber der zugrundeliegenden Wechselwirkung sind, impliziert dies, dass man Eigenschaften der Quantenchromodynamik in Reaktionen von polarisierten Teilchen besonders gut untersuchen kann.

### Die Aufgabe der Theorie

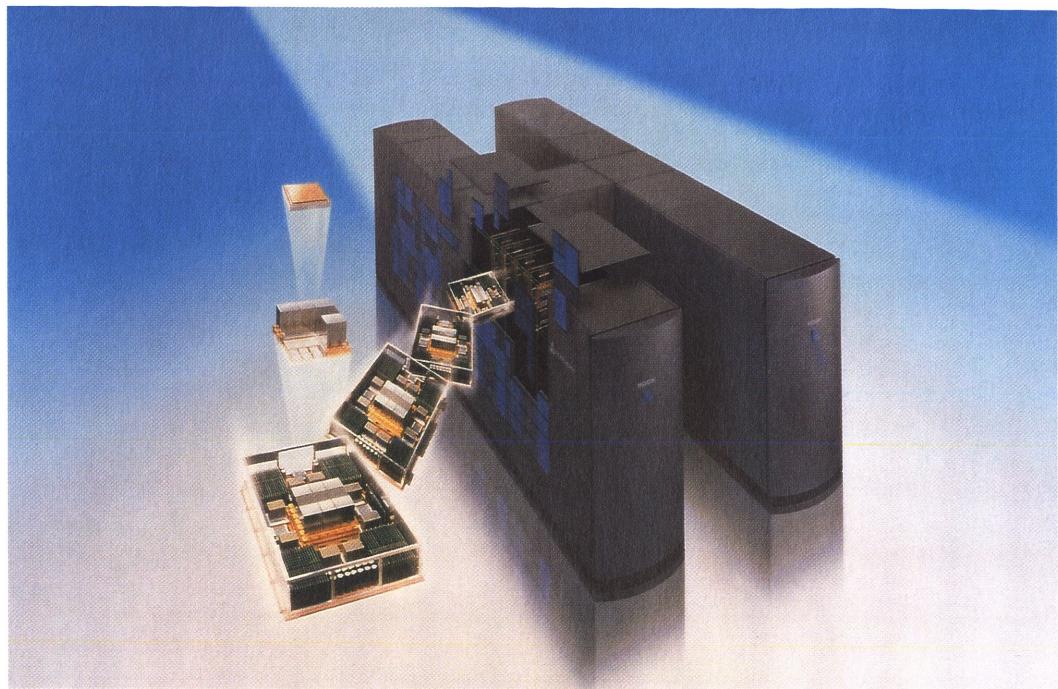
Worin besteht nun unsere Arbeit im Einzelnen, das heißt, was machen wir Teilchen-Theoretiker? Prototypisch läuft unsere Arbeit etwa so ab: Zunächst überlegt man sich eine spezielle Reaktion,

die man z. B. mit HERMES im Prinzip beobachten kann. Dann leitet man auf der Basis der Quantenchromodynamik und unter Verwendung fundamentaler Symmetrieeprinzipien eine Gleichung ab, mit der die Wahrscheinlichkeit für bestimmte Reaktionsabläufe berechnet wird. Die hierbei auftretenden Parameter sind im Rahmen der Quantenchromodynamik eindeutig definiert, aber ihre Zahlenwerte sind zunächst noch unbekannt. An dieser Stelle zeigt sich dann in manchen Fällen, dass ein bestimmter Parameter auch bei anderen Reaktionen auftritt, wobei diese aus einem völlig anderen Gebiet sein können. So hängt z. B. die elektromagnetische Streuung polarisierter Protonen und Elektronen mit dem Beta-Zerfall des Neutrons, also einer Reaktion aufgrund der schwachen Wechselwirkung, zusammen. Findet man einen solchen Zusammenhang, führt dies direkt zu einer experimentell zu verifizierenden Vorhersage. Meistens ist dies aber nicht der Fall. Dann muss man versuchen, die unbekannten Parameter im Rahmen der Quantenchromodynamik zu berechnen. Die sauberste Methode hierzu ist die so genannte Gitter-Quantenchromodynamik, d. h. die numerische Simulation der gesamten Quantenchromodynamik-Wechselwirkung und aller erlaubten Zustände mithilfe der jeweils leistungsstärksten Großcomputer; heute sind dies Teraflop-Parallelrechner wie der Hitachi-Rechner 4 am Leibniz-Rechenzentrum in München. Wir sind als Mitglieder der deutschen QCDSF (Quantum-Chromodynamics-Structure Functions)-Gruppe, die gerade ihre Ressourcen mit denen des britischen Pendants, der UKQCD-Gruppe, kombiniert, an solchen Rechnungen beteiligt. Grundsätzlich erfordern die immer komplexeren Anforderungen auch in der Theorie die Zusammenarbeit verschiedener Spezialisten in immer größeren Gruppen.

Bei diesen Rechnungen wird ein Stück der kontinuierlichen Raumzeit durch ein Punktgitter beschrieben, wodurch das, mathematisch gesprochen, unendlich-dimensionale Variationsproblem der Quantenchromodynamik in ein endlich-dimensionales Problem, allerdings mit typischerweise mehr als 100 Millionen Variablen, überführt wird. Im günstigsten Fall liefern diese Rechnungen genaue Vorhersagen. Im Normalfall reicht die Rechnerleistung hierzu jedoch noch nicht aus. Dann bleibt als Ausweg nur der Rückgriff auf mehr oder weniger wohl fundierte phänomenologische Modelle, die häufig erlauben, mit sehr geringem Aufwand recht zuverlässige Abschätzungen zu machen.

Anhand der nahe liegenden Frage, wieso man dann überhaupt den immensen Aufwand der Gitter-Quantenchromodynamik treibt, lässt sich eines der wesentlichsten Ziele der theoretischen Physik illustrieren. Man will einen Formalismus entwickeln, der zumindest im Prinzip eine beliebig genaue Rechnung ermöglicht. Für einen unendlich schnellen Computer würde die Gitter-Quantenchromodynamik dies leisten. Phänomenologische Modelle liefern jedoch immer nur approximative Aussagen. Sie enthalten prinzipielle Vereinfachungen. Die Genauigkeit von Modellrechnungen lässt sich daher nicht systematisch steigern und häufig nicht einmal zuverlässig abschätzen.

Der Hitachi-Parallelrechner SR 8000 am Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften ist einer der gegenwärtig weltweit leistungsfähigsten Computer. Viele unserer Rechnungen sind nur deshalb möglich, weil wir hierzu diesen Großrechner benutzen können.



Parallel zur theoretischen Bestimmung der unbekannten Parameter untersucht man im Rahmen der Quantenchromodynamik die folgende Frage: Gesetzt den Fall, man würde den Wert der eingeführten Parameter bei einer speziellen Beobachtungssituation kennen. Welchen Wert hätten sie dann bei einer anderen Situation, zum Beispiel, wenn der Energieübertrag der gestreuten Elektronen größer wird? Dieser Schritt erfordert im Normalfall extrem aufwändige analytische (im Unterschied zu numerischen) Rechnungen, z. B. die exakte Berechnung hochkomplizierter Mehrfachintegrale. Die Aufgabe wird dadurch erschwert, dass es nicht reicht, die Effekte als solche zu berechnen, sondern man muss auch noch die dazugehörigen theoretischen Unsicherheiten bestimmen. Das Letztere ist meist um mindestens eine Größenordnung aufwändiger.

Sind alle theoretischen Untersuchungen erfolgreich beendet, hat man dann eine wirklich solide Basis für den Vergleich mit experimentellen Daten. Allerdings kann eine derartige vollständige Behandlung einen merklichen Teil aller weltweit tätigen Quantenchromodynamik-Theoretiker für mehrere Jahre beschäftigen, weshalb man sich in der Realität normalerweise mit bruchstückhaften Lösungen begnügen muss.

Dieselben Techniken und ein Teil der erzielten Ergebnisse lassen sich auch für die Beschreibung anderer Reaktionen verwenden, z. B. der Kollision von zwei Protonen oder auch derjenigen von zwei schweren Atomkernen.

Was ist nun das Ergebnis all dieser Mühen? Die Quantenchromodynamik vereint in sich alle Komplikationen der Quantentheorie, Relativitätstheorie und nichtlinearen Dynamik (Chaostheorie) und ist daher eine der reichsten und umfassendsten Theorien überhaupt. Trotz dieser Komplexität haben wir gelernt, für immer mehr Observable exakt und kontrollierte vorhersagen zu können. Gleichzeitig verbessert sich unsere Kenntnis des inneren Aufbaus der Hadronen, insbesondere

des Protons und Neutrons. Wir haben gelernt, dass die Vorstellungen von einem Proton, das aus drei Quarks besteht, viel zu naiv ist, und dass das Proton in Wirklichkeit ein komplexer und dynamischer Vielteilchenzustand ist, dessen Eigenschaften ganz wesentlich von Quantenfluktuationen bestimmt werden. Insbesondere wird der Spin des Protons zum größten Teil von Fluktuationen getragen.

Prof. Dr. phil. nat.

**Andreas Schäfer**

geb. 1957 in Frankfurt/Main.  
Studium in Frankfurt/Main,  
1981 Diplom, 1985 Promotion,  
1986–1988 Tolman-Prize-Fellow  
am Caltech, Pasadena, USA,

1988 Habilitation in Frankfurt/Main.  
1989–1990 Heisenberg-Stipendiat  
am MPI für Kernphysik, Heidelberg,  
1991 Gerhard-Hess-Preis,  
1991–1997 Professor an der

Universität Frankfurt/Main.

1997 Lehrstuhl für Physik an der  
Universität Regensburg.

*Forschungsgebiete:*

Theoretische Kern- und  
Teilchenphysik; insbesondere  
Quantenchromodynamik;  
Gitter-Quantenchromodynamik  
auf Höchstleistungscomputern;  
Physik mesoskopischer Systeme.

# *Rituale, Symbole und Musik*



„Ein großes Verdienst dieser Studie ist, dass sie sorgfältig aus den Quellen gearbeitet ist, wobei viele ungedruckte Quellen aus einer großen Zahl von Archiven stammen. Mit dieser Arbeit ist ein Grundlagenwerk geschaffen, das die Bedeutung der Freimaurer für das Regensburger Geistesleben umfassend darstellt.“

## Regensburger Studien und Quellen zur Kulturgeschichte 13

Herausgegeben von den Museen und dem Archiv der Stadt Regensburg

148 Seiten, mit Abbildungen

Ab Anfang Dezember im Buchhandel oder über Bestell-Hotline 0800 / 33 44 33 0

UNIVERSITÄTSVERLAG REGENSBURG

ISBN 3-930480-57-3

DM 39,80 ab 1. 1. 2001 € 20,-

# Allein gelassen in der Alten Welt?

## Europa fürchtet eine Abkehr der USA

### Transatlantische Beziehungen

**Ein Gespenst geht um in der Alten Welt: Dass sich Amerika von Europa ab- und dem pazifischen und lateinamerikanischen Raum zuwenden könnte. Zwei Gründe führen Journalisten und Wissenschaftler für ihre Sorgen immer wieder an: Das rasche Anwachsen des Handels zwischen den USA und den Pazifik-Anrainern sowie die Veränderungen in der ethnischen Zusammensetzung der Bevölkerung der Vereinigten Staaten.**

Beide Argumente klingen plausibel. Die Ergebnisse der Volkszählung des Jahres 2000 zeigen, dass der Anteil der weißen Bevölkerung in den USA rapide sinkt. Und seit langem erweist sich der pazifische Raum als die Wachstumsregion der Erde. Gleichzeitig hat sich das transatlantische Verhältnis in den letzten zehn Jahren abgekühlt. Die Frage ist: Gibt es wirklich die von vielen vermutete Kausalbeziehung zwischen den beiden Phänomenen oder handelt es sich dabei lediglich um ein zufälliges Zusammentreffen? Im Rahmen eines vom *German Marshall Fund of the United States* finanzierten Forschungsprojekts untersuchte ich als *European Fellow* des *Pacific Council on International Policy* in Los Angeles im Frühjahr und Herbst 2001 beide Thesen. Das Ergebnis: Die Angst der Europäer ist unbegründet. Keine der beiden Entwicklungen ist stark genug, um das Fundament der transatlantischen Beziehungen zu unterminieren.

#### Handelsströme und Direktinvestitionen

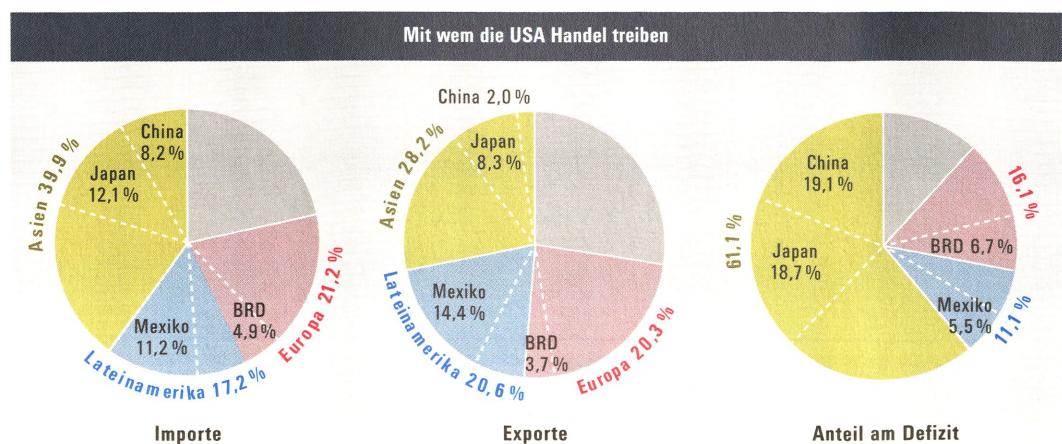
Betrachten wir zunächst das wirtschaftliche Argument: Es trifft zu, dass das amerikanisch-asiatische Handelsvolumen seit 1980 das amerikanisch-europäische übersteigt. Im Jahr 2000 betrug der

Warenaustausch über den Pazifik 705 Milliarden Dollar, der über den Atlantik nur 444 Milliarden Dollar. Richtig ist auch, dass Mexiko in wenigen Jahren die EU als zweitgrößten Handelspartner der Vereinigten Staaten überholen wird. Solche Zahlen spiegeln aber nur die halbe Wahrheit. So ist der amerikanische Handel mit Asien quantitativ und qualitativ sehr unausgeglichen. Die USA erwirtschaften riesige Defizite im Warenaustausch insbesondere mit Japan und China, im Jahr 2000 allein 81 Milliarden beziehungsweise 84 Milliarden Dollar. Damit gingen fast 40 Prozent des amerikanischen Handelsbilanzdefizits von 434 Milliarden Dollar auf das Konto dieser beiden Länder **1**.

Die politischen Folgen der unvermeidlichen amerikanischen Versuche, ihre Handelsbilanz zu sanieren, werden in Asien deshalb viel stärker zu spüren sein als in Europa. Gerade zu einem Zeitpunkt, an dem die US-Wirtschaft am Rande der Rezession taumelt und das Handelsbilanzdefizit auf neue Rekordwerte schnellt, kann es rasch wieder zu einem »Japan-bashing« kommen wie Anfang der neunziger Jahre. Damals übten Clinton und der US-Kongress massiven Druck auf Tokio aus, den Binnenmarkt für amerikanische Produkte zu öffnen. Mit China haben sich die politischen Beziehungen in den letzten Jahren so nachhaltig verschlechtert, dass Forderungen in Washington lauter werden, Peking für unbotmäßiges Verhalten mit Handelssanktionen zu belegen. Schließlich haben das bittere Ende des japanischen Wirtschaftswunders, das südostasiatische Finanzfiasco von 1997 und der Fehlschlag der Versuche, die APEC in eine pazifische Freihandelsorganisation zu verwandeln, der Region in den letzten Jahren viel von ihrem wirtschaftlichen Nimbus geraubt.

**1**

Asien ist der wichtigste Handelspartner der USA, aber auch für den größten Teil des amerikanischen Handelsdefizits verantwortlich (Werte gerundet).



Der Handel zwischen den USA und Lateinamerika ist ausgeglichener, was den Umfang, nicht aber, was die Struktur anbelangt. Die Vereinigten Staaten exportieren vor allem Maschinen und Fertigprodukte, und ihre multinationalen Unternehmen verlagern die arbeitsintensive Produktion in die so genannten Maquiladoras, die im mexikanischen Grenzland gelegenen Fabriken. Die Vereinigten Staaten importieren Rohstoffe (Venezuela und Mexiko gehören zu den wichtigsten Rohölleveranstaltern der USA) und Halbfertigprodukte aus den Tochterunternehmen US-amerikanischer Konzerne. Wirtschaftswissenschaftler bezeichnen dies als »komplementären« Handel, weil sich die Warenlieferungen gegenseitig ergänzen. Volkswirtschaftlich gesehen ist dieser weniger erstrebenswert als »substitutiver« Handel in kapitalintensiven Gütern, bei dem Produkte derselben Kategorie ausgetauscht werden. Substitutiver Handel ist komplementärem überlegen, weil er den Wettbewerb verschärft, die technologische Basis eines Landes stärkt und damit die Produktivität erhöht. Darüber hinaus haben die Finanzkrisen in Mexiko, Brasilien und Argentinien seit 1995 deutlich gemacht, wie schnell die Volkswirtschaften Lateinamerikas instabil werden können.

Europa mag nicht die dynamischste Region der Welt sein, und seine überregulierte Wirtschaft gibt Amerikanern immer wieder Rätsel auf. Aber es existieren keine großen bilateralen Ungleichgewichte in der Handelsbilanz, und es werden vor allem Güter wie Maschinen, Flugzeuge und Autos ausgetauscht. Natürlich gibt es den Streit über

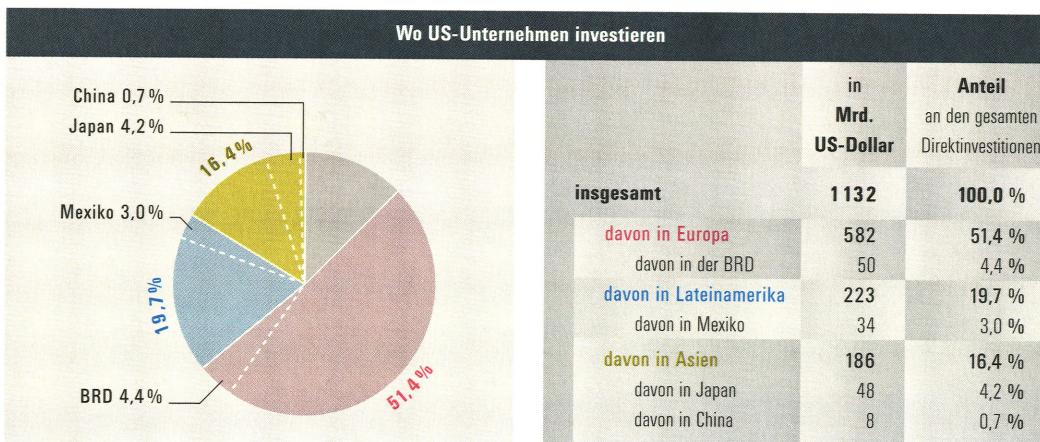


Pro Tag kommen mehr als 1000 Mexikaner in die USA – die Hälfte davon illegal, viele von ihnen zu Fuß. Auf den grenznahen Autobahnen Südkaliforniens mahnen deshalb Verkehrsschilder zu besonderer Vorsicht.

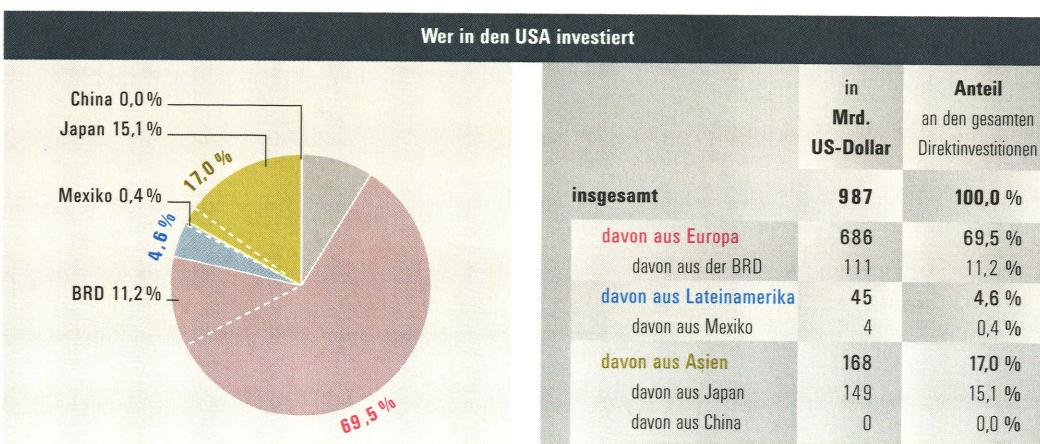
Bananenquoten, hormonbehandeltes Fleisch und genetisch veränderten Mais, aber der Anteil dieser Produkte am gesamten Handelsvolumen ist minimal. Europa bürgt zudem für Solidität, und die EU bildet einen homogenen Wirtschaftsraum.

Kein Wunder also, dass sich amerikanische Unternehmen stark in der alten Welt engagieren. Seit dem Zweiten Weltkrieg investierten die USA insgesamt 1,13 Billionen Dollar im Ausland, 51 Prozent davon in Europa, nur 20 Prozent in Lateinamerika und 16 Prozent in Asien **2**. Die im Jahr 2000 getätigten US-Direktinvestitionen im Ausland unterstreichen diese Attraktivität der Alten Welt: nach Europa flossen 90 Milliarden, nach Asien 19 Milliarden und nach Lateinamerika 18 Milliarden Dollar.

Ford, Microsoft, Coca Cola, Wal Mart sind nicht nur wohl bekannte Marken in Europa, sie produzieren auch hier beziehungsweise unter-

**2**

Europa ist die Haupt-Zielregion amerikanischer Direktinvestitionen. Lateinamerika und Asien sind weit weniger attraktiv für US-Konzerne (Werte gerundet).

**3**

Mehr als zwei Drittel der ausländischen Direktinvestitionen in den USA stammen von europäischen Unternehmen. Der Rest kommt zur Hälfte aus Japan (Werte gerundet).

Gemeinsam lächeln, allein handeln: Präsident Bush und Kanzler Schröder stehen vor großen Problemen in den transatlantischen Beziehungen (Weißes Haus, 29. März 2001).



4

Jeder acht Einwohner der USA ist heute ein Latino.

(Zahlen summieren sich wegen Rundungen nicht zu 100 Prozent.)

\* Diese Kategorie gab es 1990 nicht.

halten große Verteilungsnetze. Im Durchschnitt erzielen die 16 größten US-Unternehmen jeweils ein Drittel ihres Gewinns in Europa. Gleichzeitig sind europäische Firmen die größten Investoren in den Vereinigten Staaten. Daimlers Zusammenschluss mit Chrysler mag der spektakulärste Fall der letzten Jahre sein, aber er war nur einer von vielen. Von der knappen einen Billion Dollar an Direktinvestitionen, die ausländische Unternehmen seit 1945 in den USA tätigten, kamen mehr als zwei Drittel aus Europa. Weit abgeschlagen folgen Asien mit 17 Prozent und Lateinamerika mit 5 Prozent 3. Allein im letzten Jahr investierten die Europäer 251 Milliarden Dollar in den USA, die Asiaten 25 Milliarden und die Lateinamerikaner 3 Milliarden.

Die Direktinvestitionen geben mindestens ebenso gut Aufschluss über die Qualität wirtschaftlicher Beziehungen wie der Handel – sie erlauben nämlich Zugang zu den Technologien und Märkten

der Gaststaaten und unterlaufen Protektionismus. Auch wenn die Bedeutung der pazifischen Region wächst, ist Europa nach wie vor der vertrauenswürdigste und berechenbarste Wirtschaftspartner der Vereinigten Staaten.

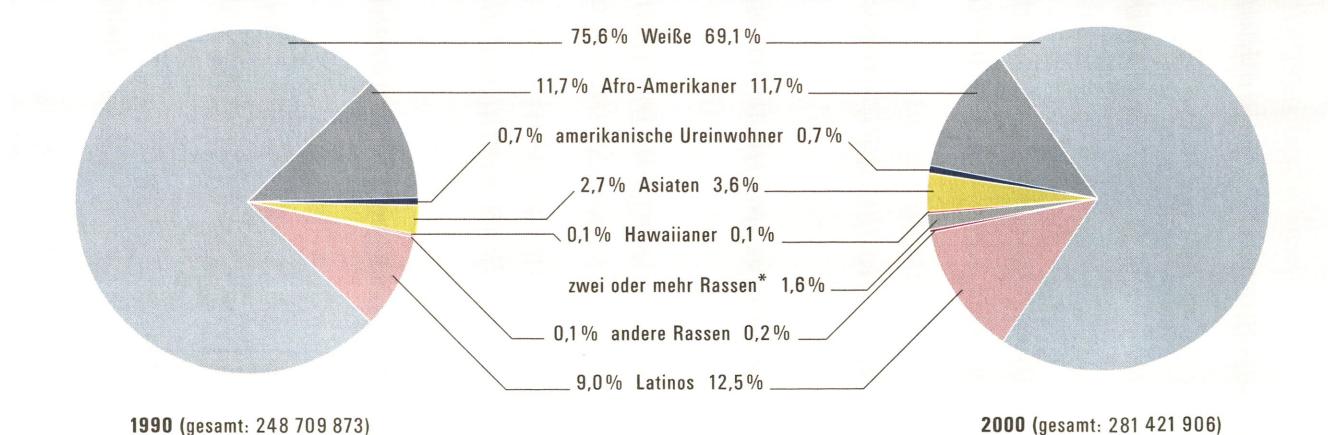
### Latinos im Kommen

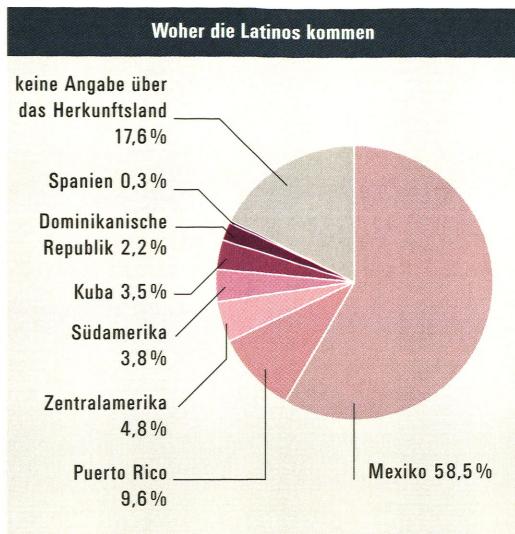
Was ist nun von der Angst der Europäer zu halten, der rapide Wandel in der ethnischen Zusammensetzung der Bevölkerung der USA schwäche die transatlantischen Bindungen? Wie bei den Wirtschaftsbeziehungen scheinen die nackten Zahlen diese Befürchtung zu untermauern. Die Ergebnisse der amerikanischen Volkszählung des Jahres 2000 überraschten selbst die professionellen Demographen mit der Tatsache, dass die Latinos (also die aus den spanischsprachigen Staaten Lateinamerikas stammenden Einwanderer) die Schwarzen als größte Minderheit im Lande abgelöst haben – viele Jahre früher als erwartet. Latinos machen mittlerweile 12,5 Prozent der amerikanischen Bevölkerung aus 4, ihre Zahl ist seit 1990 um 58 Prozent auf mehr als 35 Millionen gewachsen. Die *International Herald Tribune* spricht schon von einer »Latinisierung der Vereinigten Staaten«. Die Latinos sind heute etablierter, wohlhabender und politisch aktiver als vor zehn Jahren.

Nach Dekaden der Stagnation bei nur gut 30 Prozent schoss die Wahlbeteiligung der Latinos bei den letzten Präsidentschaftswahlen auf für US-Verhältnisse sehr beachtliche 45 Prozent. Die Zahl von Latino-Politikern auf der Einzelstaats- und der Bundesebene ist seit 1975 stark angestiegen. Als die Mitglieder der neu gegründeten Vereinigung der Latino-Politiker im US-Kongress Ende der siebziger Jahre den Präsidenten des Repräsentantenhauses, Tip O'Neill, um ein Zimmer für ihre Treffen bat, meinte er nur trocken, ob sie nicht lieber eine Telefonzelle haben wollten, weil sie ja ohnehin so wenige seien. Heute sitzen 19 Latinos im Parlament. 1996 wurde mit Bill Richardson ein Latino zum US-Botschafter bei den Vereinten Nationen berufen, und Latino-Abgeordnete nehmen heute wichtige Funktionen in den außenpolitischen Ausschüssen des Kongresses ein.

Der neue Einfluss dieser ethnischen Gruppe gefährdet jedoch keineswegs die transatlantischen

Minderheiten auf dem Weg zur neuen Mehrheit





Beziehungen. Das *Tomás Rivera Policy Institute*, das die Rolle der Latinos in den USA erforscht, hat gerade die bisher gründlichste Untersuchung ihrer außenpolitischen Präferenzen vorgelegt. Die Studie dokumentiert überzeugend, dass US-Latinos sich kaum für internationale Fragen interessieren. Ihre führenden Organisationen und Verbände konzentrieren sich auf innenpolitische Themen wie Erziehung, Gesundheitsversorgung, Wirtschaftswachstum und Rassenbeziehungen. Und falls sich Latinos in der Außenpolitik engagieren, dann tun sie dies in Bereichen, wo innen- und außenpolitische Faktoren zusammentreffen wie bei der Einwanderung oder den Menschenrechten. Latinos verhalten sich damit genauso wie die meisten anderen US-Amerikaner.

Außerdem stellen die Latinos keine homogene Gruppe dar **5**, die sich über ein zentrales Anliegen definiert. Mit Ausnahme der Kubano-Amerikaner fehlt den Latinos ein außenpolitisches Ziel, das sie zusammenschmieden könnte. Hinzu kommt eine allenfalls punktuelle organisatorische Vernetzung der einzelnen Latino-Gemeinden. Mexiko-Amerikaner in Los Angeles, Puerto Ricaner in New York und Kubano-Amerikaner in Miami wissen schlicht nicht genug voneinander und interessieren sich nicht für die außenpolitischen Anliegen der anderen. Außer den Kubano-Amerikanern hat keine Latino-Gruppe bisher einen ernst zu nehmenden Versuch unternommen, die US-Außenpolitik zu beeinflussen – nicht gegenüber Lateinamerika und erst recht nicht gegenüber Europa.

Zwar liegen den Latinos ihre jeweiligen Heimatländer besonders am Herzen, aber sie setzen sich fast nie für deren außenpolitische Anliegen ein. So haben etwa die Versuche mehrerer Präsidenten Mexikos, ihre mittlerweile 20 Millionen Personen umfassende Diaspora in den USA für ihre Ziele zu instrumentalisieren, keine greifbaren Ergebnisse gebracht. Das liegt vor allem daran, dass die Mexikaner – aber auch die El Salvadorianer, Nicaraguaner und Guatimalteken – ihre Heimat verlassen haben, weil sie dort keine ökonomischen Perspektiven sahen oder vor repressiven Regimen und Bürgerkriegen fliehen mussten. Einmal in den USA, orientieren sich die Immigranten, wie Sergio Muñoz von der *Los Angeles Times* erklärt,

»viel stärker am Land der Kinder als am Land der Väter«. Die Ergebnisse der Volkszählung scheinen dies zu bestätigen: 17,6 Prozent gaben nämlich kein Herkunftsland an. Das legt die Interpretation nahe, dass der Assimilierungsprozess in vollem Gange ist und sich viele Latinos in erster Linie als Amerikaner sehen.

Selbst wenn es irgendwann eine außenpolitische Latino-Lobby geben sollte, müsste dies nicht automatisch konträr zu den europäischen Interessen laufen. So zeigen Umfragen, dass sich Latinos zum Beispiel sehr viel stärker als die Durchschnitts-amerikaner für soziale Mindeststandards in internationalen Handelsverträgen und für schärfere internationale Umweltbestimmungen aussprechen. Beim gegenwärtigen transatlantischen Streit über das Protokoll von Kyoto und den Beginn einer neuen Welthandelsrunde liegen die Auffassungen der Kontinentaleuropäer damit näher bei denen der Latinos als bei denen der tonangebenden alten nordamerikanischen Eliten.

### Transatlantische Entfremdung

Es gibt also kaum empirische Belege dafür, dass das Wachstum der amerikanischen Latino-Gemeinde oder die sich verändernden Handelsmuster die USA von Europa entfremden würden. Natürlich heißt dies nicht, dass die transatlantischen Beziehungen störungsfrei wären. Im Gegenteil: Im Verlaufe der vergangenen zehn Jahre haben Europäer wie Amerikaner eine bemerkenswerte Unfähigkeit an den Tag gelegt, das nun obsolete einigende Band des Bündnisses gegen die sowjetische Bedrohung durch neue gemeinsame Initiativen zu ersetzen. Unterschiedliche Ansichten über die Rolle des jeweiligen Partners in der internationalen Politik und ein zunehmender Mangel an Respekt gegenüber dem »way of life« der anderen Seite haben diese ehemals so besondere Partnerschaft ausgehöhlt. Dazu bedurfte es keines stärkeren amerikanisch-asiatischen Handels und keiner wachsenden Latino-Gemeinde in den USA.

### 5

Die überwiegende Mehrheit der US-Latinos hat ihre Wurzeln in Mexiko, aber ein hoher Prozentsatz gibt kein Herkunftsland an.

#### rechts:

Präsident Bush begrüßt  
führende Repräsentanten  
der Latino-Gemeinde  
im Rosengarten des Weißen Hauses.

Prof. Dr. phil.  
**Stephan Bierling**

geb. 1962 in Oberammergau.  
Studium der Politikwissenschaft,  
Mittelalterlichen und Neueren  
Geschichte in München,  
1992 Promotion, 1996 Habilitation,  
1996 Förderpreis der Ludwig-  
Erhard-Stiftung für Wirtschafts-  
publizistik, Gastprofessuren in  
den USA, Südafrika und Israel,  
1999/2000 Vertretung einer  
Professur für Politikwissenschaft an  
der Universität Erlangen-Nürnberg.  
Seit Mai 2000 Professur für Inter-  
nationale Politik in Regensburg.

#### Forschungsgebiete:

Innen-, Wirtschafts- und  
Außenpolitik der USA und der  
Bundesrepublik Deutschland,  
transatlantische Beziehungen,  
internationale Wirtschafts-  
beziehungen.

# Inszenierung oder Realität?

## Zur Thematisierung touristischer Produkte

### – das Beispiel der Via Danubia

#### Tourismusforschung

In den vergangenen Jahren ist eine verstärkte Nachfrage und Entwicklung von geplanten, teilweise künstlichen Freizeit- und Urlaubswelten zu beobachten. In diesen Erlebniswelten werden immer öfter Inszenierungen vorgenommen, die den Besucher möglichst authentisch in »fremden« Welten entführen sollen. Einerseits handelt es sich hierbei um standortgebundene, touristische Angebote (z. B. die Autostadt beim VW-Werk in Wolfsburg oder die Ausstellung *Olympic Spirit* im Olympiapark München), andererseits werden zunehmend auch standort-ungebundene Einrichtungen angeboten, so etwa Center-Parks oder die kürzlich als erste in Deutschland eröffnete Indoor-Skianlage bei Bottrop. Die Entwicklung von stark erlebnisorientierten Produkten ist auch für traditionelle touristische Angebote, wie u. a. bei Radwanderrouten, zu beobachten.

#### Vom Donauradweg zur Via Danubia

Trotz des Booms der inszenierten Freizeit- und Urlaubswelten sind »schöne Natur« und »saubere Landschaft« bis heute die wichtigsten Kriterien für die Wahl der Urlaubsziele der bundesdeutschen Bevölkerung. Dies gilt in besonderem Maße auch für das Segment des Fahrradtourismus. Als einer der ersten und (auch ökonomisch) erfolgreichsten Radwanderwege in Deutschland wurde der Donau-Radwanderweg entwickelt. Vor allem in den achtziger Jahren stieg die Zahl der Radwanderer auf dieser Route schnell an und verblieb auch in

den neunziger Jahren auf hohem Niveau. Allerdings ist in der Zwischenzeit die Zahl konkurrierender Regionen mit einem radtouristischen Angebot deutlich gewachsen, handelt es sich doch beim Radtourismus um ein auch aus ökonomischer Sicht prosperierendes Tourismussegment: Der mit mehrtägigen Radreisen erzielte Umsatz im Jahr 1999 betrug in Deutschland rund 4,2 Mrd. DM, weitere 3,9 Mrd. DM Umsatz wurden im gleichen Jahr durch radelnde Tagesausflügler generiert. An diesem Markt partizipieren allein in Deutschland mittlerweile über 190 Radfernwege mit insgesamt über 40000 km Länge. Um sich auf dem umkämpften Marktsegment des Fahrradtourismus künftig behaupten zu können, müssen die Anbieter von Radwanderrouten auf die allgemeinen touristischen Trends reagieren und ihre Produkte ggf. entsprechend einer sich wandelnden Nachfrage oder veränderter Konkurrenzsituation modifizieren.

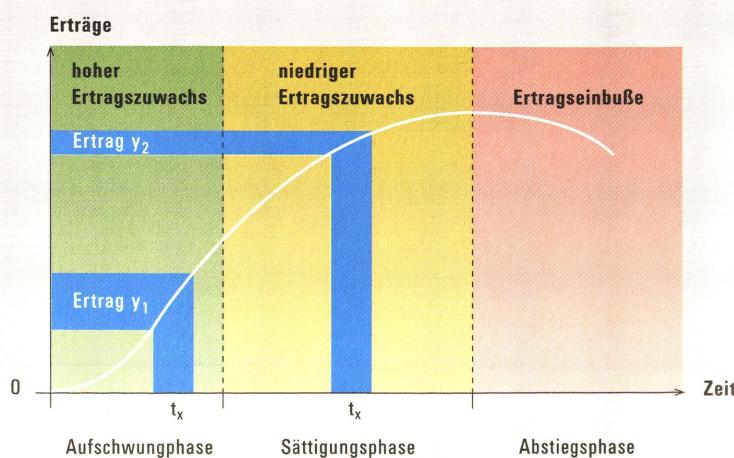
Diese Entwicklung lässt sich mit dem Modell des Produktlebenszyklus 1 verdeutlichen. Das Modell geht davon aus, dass jedes Produkt (oder jede Dienstleistung) einen Lebenszyklus durchläuft, der durch drei Phasen gekennzeichnet ist. Nach der Markteinführung beginnt ein Produkt mit einer Aufschwungphase, in der die höchsten Erträge realisiert werden können. Im Laufe der Zeit bietet eine steigende Zahl imitierender Konkurrenten das gleiche Produkt auf dem Markt an, so dass die in einer bestimmten Zeitspanne ( $t_x$  in 1) zu realisierenden Erträge insgesamt geringer werden ( $y_1$  bzw.  $y_2$  in 1). Wird diese Situation nicht erkannt oder seitens des Produktanbieters trotz einer solchen Entwicklung bewusst auf eine Reaktion verzichtet, besteht die Gefahr, dass sich der Lebenszyklus des Produktes seinem Ende zuneigt (Abstiegsphase). Eine marktgerechte Reaktion hingegen verlangt spätestens zu Beginn der Sättigungsphase im Produktlebenszyklus entweder die Substitution des alten durch ein neues Produkt, die Erschließung neuer Kunden für das alte Produkt oder die marktgerechte Modifikation des alten Produkts, um dieses sowohl für alte als auch für neue Kunden attraktiv zu gestalten.

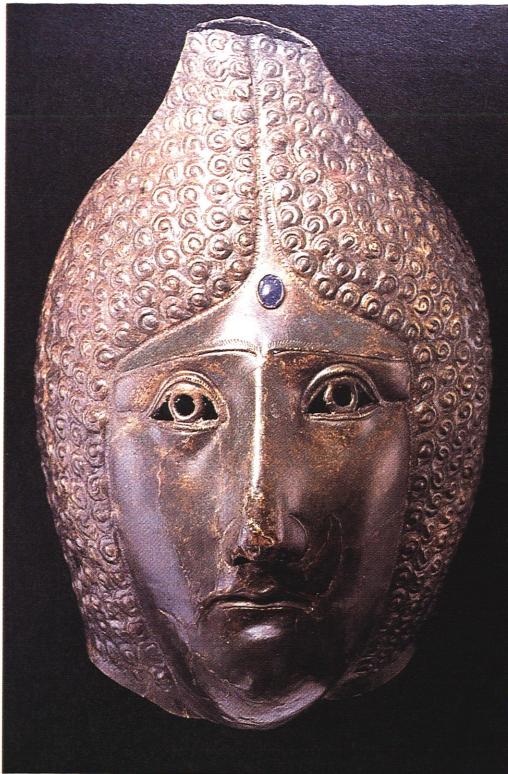
Betrachtet man den Fahrradtourismus an der Donau, ist offensichtlich, dass die Nachfrage für das touristische Produkt Donauradweg nach einer starken Expansionsphase in den achtziger Jahren in den neunziger Jahren in eine Sättigungsphase eingetreten ist. Gemäß dem Modell des Produktlebenszyklus könnten auf diese Entwicklung mit dem Angebot eines vollständig neuen Radwanderweges (neues Produkt) oder der Rekrutierung neu-

1

Modell des Produktlebenszyklus.

#### Ökonomische Effekte touristischer Produkte





2

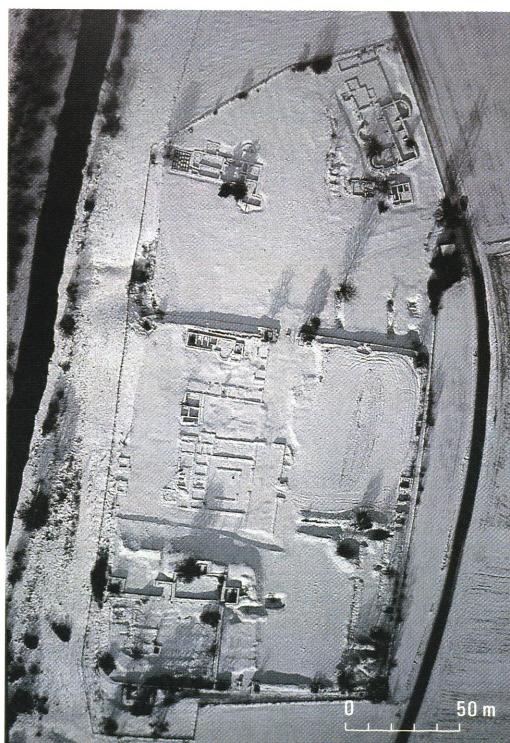
links:  
Orientalischer Typus eines  
römischen Gesichtshelms,  
Bronzeblech, 30x20 cm,  
Fundort Eining  
(Archäologische Staatssammlung,  
München).

rechts:

Bronzestatuette des Göttervaters  
Jupiter (ca. 11 cm hoch)  
aus dem späten 2. oder  
frühen 3. Jahrhundert,  
Fundort Passau  
(Römermuseum Kastell Boiotro,  
Passau).

er Gästegruppen (neue Kunden) reagiert werden. Im Fall der Via Danubia handelt es sich jedoch um die Modifikation eines bekannten Produktes durch eine Thematisierung (Produktmodifikation). Dabei basiert die Idee der Thematisierung auf der Überlegung, dem Konsumenten neben einem Grundnutzen auch einen – oftmals emotionalen und/oder erlebnisorientierten – Zusatznutzen zu bieten. Typische Erscheinungsformen dieser Entwicklung sind z. B. Themenrestaurants oder Themenhotels. Erfahrungen aus den USA zeigen, dass mit einer Thematisierung von touristischen Produkten eine Umsatzsteigerung einhergeht. Im Fall von Themenhotels wird beispielsweise nur noch rund die Hälfte des Umsatzes mit dem Grundnutzen (Beherbergung) erzielt, während die zweite Hälfte des Umsatzes durch ein entsprechend durchgängig thematisiertes Gastronomie-, Einkaufs- und Freizeitangebot realisiert wird.

Im Hinblick auf den Radwandertourismus an der Donau stellt sich daher die Frage, ob und ggf. mit welcher für Radwanderer interessanten Thematisierung die touristische Region neue Impulse und zusätzliche Attraktivität erhalten kann. Aufgrund der römischen Geschichte und der vielfältigen hiervon zeugenden Funde (z. B. die Römerschätze von Eining und Passau **2**) und Ausgrabungen (z. B. das Kastell von Eining **3**) bietet sich für ein radtouristisches Produkt in dieser Region eine kulturhistorische Ausrichtung der Thematisierung an. Aus diesem Grund haben sich die Landkreise und kreisfreien Städte zwischen Kelheim und Passau unter Federführung des Landkreises Deggendorf dazu entschlossen, mit dem Projekt Via Danubia auf die Herausforderungen des touristischen Marktes zu reagieren und unter dem Motto *Radeln auf den Spuren der Römer* einen Radwanderweg zu thematisieren. Ziel war dabei nicht, ein Konkurrenzprodukt zum bestehenden



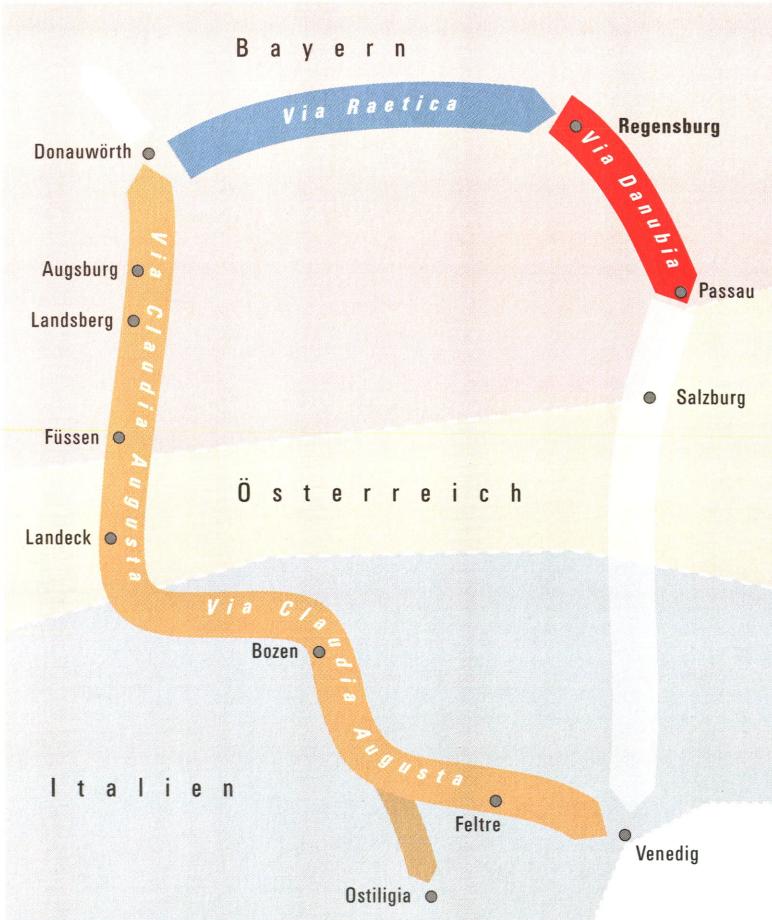
3

Winterliche Luftbildaufnahme  
des Römerkastells Abusina  
bei Eining. Der Via-Danubia-  
Radweg verläuft hier am Ufer des  
Flüsschens Abens (links),  
das in Eining in die Donau mündet,  
und der Straße (rechts), die hier  
von Weltenburg nach Bad Gögging  
führt.

Donau-Radfernweg zu entwickeln, sondern durch ein ergänzendes Angebot die Attraktivität der Region insgesamt zu erhöhen. Ferner kann durch eine Thematisierung die Aufenthaltsdauer der Radwanderer in der Region verlängert werden, wenn es gelingt, sie durch »attraktive Hindernisse« aufzuhalten.

#### Zur Konzeptentwicklung der Via Danubia

Die Via Danubia ist Teil eines europäischen Projekts zur nachhaltigen Erschließung kultureller Sehenswürdigkeiten, das von der Europäischen Union



4  
Übersichtsschema  
der vier Via-Streckenabschnitte.

im Rahmen einer *LEADER-II*-Maßnahme gefördert wird. (*LEADER II* ist eine 1991 beschlossene Gemeinschaftsinitiative der EU zur Entwicklung des ländlichen Raumes, mit dem Vorhaben lokaler Aktionsträger gefördert werden, um das endogene Potenzial besser zu nutzen.) Zudem wird durch *LEADER II* eine Vernetzung unterschiedlicher Lebens- und Wirtschaftsbereiche angestrebt: Geschichte, Landwirtschaft, Natur, Kultur etc. sollen mit dem Radtourismus in Bezug gesetzt werden.

Beginnend in Oberitalien führt der in vier Via-Abschnitte gegliederte Römerweg 4 zunächst als *Via Claudia Augusta* über Österreich bis nach Donauwörth, von wo aus er als *Via Raetica* bis Kelheim weitergeführt wird. Als *Via Danubia* 5 findet der Weg von Kelheim seine Fortsetzung bis nach Passau. Sofern die entsprechenden Fundstellen, Museen oder sonstigen thematischen Einrichtungen nicht auf dem Streckenverlauf des Donau-Radweges liegen, wurde eine davon abweichende Streckenführung gewählt. Ausgehend von Passau ist ein vierter, wieder nach Oberitalien führender Via-Abschnitt vorgesehen 4, dessen nähere Planung bisher noch nicht vorliegt.

Die *Via Danubia* ist nicht als isolierte touristische Einzelmaßnahme zu verstehen. Einerseits ist dieser Streckenabschnitt in die großräumige Entwicklungsmaßnahme der gesamten Via eingebunden, andererseits wird eine Vernetzung mit anderen EU-Förderprojekten angestrebt, die vor allem im Bereich der Landwirtschaft angesiedelt sind (insbesondere Projekte aus der ehemaligen, auf landwirtschaftlich geprägte Regionen ausge-

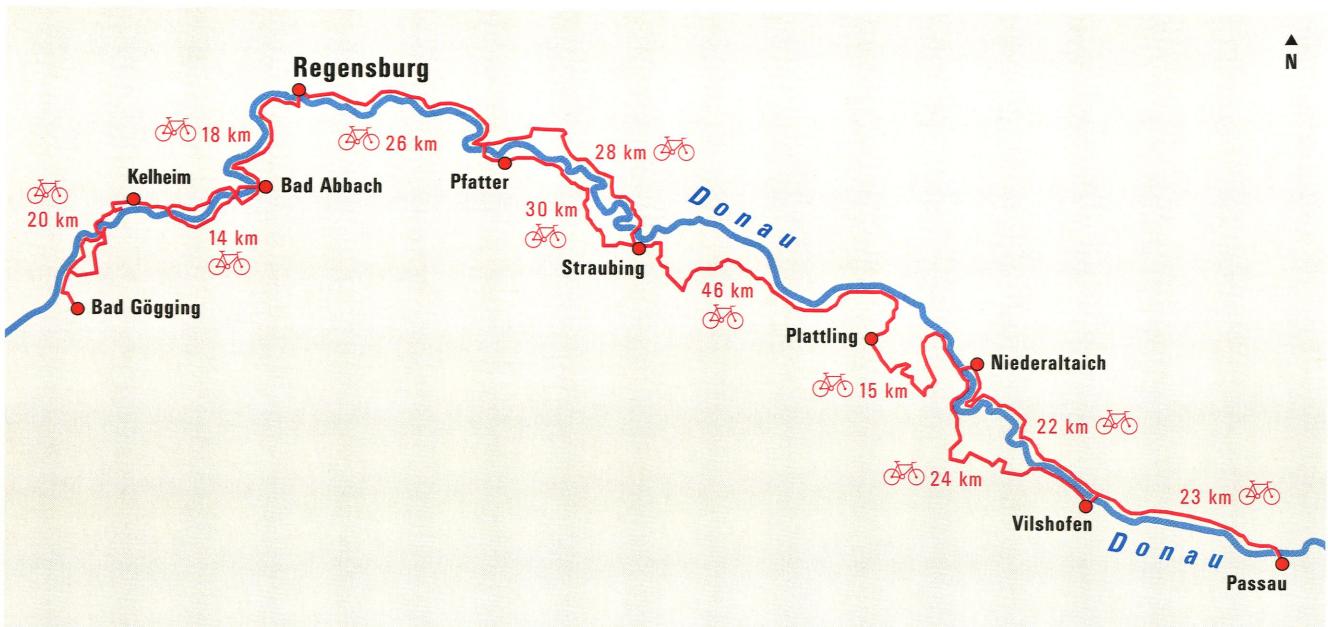
richteten 5b-Förderung der EU, mit denen z. B. Maßnahmen zur Steigerung der Einkommen in der Landwirtschaft durch finanzielle Unterstützung des Angebots von *Urlaub auf dem Bauernhof* gefördert wurden). So werden landwirtschaftliche Betriebe, die eine EU-Zuwendung zum Auf- oder Ausbau eines Übernachtungsangebotes für *Urlaub auf dem Bauernhof* erhalten haben oder mit Hilfe des EU-Programmes ein *Bauernhof-Café* errichtet haben, in das Angebot rund um die *Via Danubia* einbezogen.

Im Gegensatz zu den Namen der ersten beiden Via-Abschnitte handelt es sich bei der Bezeichnung »*Via Danubia*« um einen Kunstbegriff, der historisch so nicht existiert hat. Vielmehr wurde die Bezeichnung *Via Danubia* kreiert, um – auch unter Gesichtspunkten des Marketing – einen griffigen Terminus und einen eindeutigen Bezug zur Thematisierung (*Radeln auf den Spuren der Römer*) herzustellen.

Für die Entwicklung der *Via Danubia* bedeutet dies, dass man den Radtouristen neben dem *Grundnutzen Radfahren* als zusätzliches Angebot eine ansprechende, zeitgemäße Informationsvermittlung offeriert, mit der die frühe Geschichte des Raumes thematisiert wird. Der *Zusatznutzen* besteht also in einer Art *Infotainment*, bei dem der Bezug zwischen der Region und ihrer Geschichte für den Radfahrer unmittelbar erkennbar wird. Hierzu werden u. a. folgende Themen aufgegriffen:

- Agrarkultur bei den Römern und Landwirtschaft heute
- Wein bei den Römern
- Die Via als Fernhandelsstraße
- Die Donau als Grenze in der politischen und militärischen Geschichte
- Von der römischen Badekultur zur modernen Kur
- Römisches Alltagsleben

Zielsetzung ist eine möglichst optimale Aus schöpfung der radtouristischen Nachfrage. Als Antragsteller und Koordinatoren des EU-Projekts *Via Danubia* haben die Kreise Deggendorf und Passau (vertreten durch ihre Landräte) den Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie am Institut für Geographie der Universität Regensburg mit der inhaltlichen und marktgerechten Konzeption sowie mit der Moderation des konkreten Umsetzungsprozesses beauftragt. Vorgabe hierbei war, dass die Umsetzung des Konzepts nach dem Bottom-up-Prinzip erfolgen sollte. In der Regionalplanung und -entwicklung baut dieser Ansatz auf die Einbeziehung und Berücksichtigung der Interessen aller partizipierenden Akteure – im Gegensatz zum Top-down-Prozess, bei dem den beteiligten Personen kaum Mitsprache bei der Entwicklung und Umsetzung eingeräumt wird. Konkret bedeutet dies, dass schon bei den ersten Überlegungen zur Planung der *Via Danubia* neben Mandatsträgern der beteiligten Städte und Gemeinden (z. B. Mitarbeiter der Tourismusbüros) auch Vertreter aus den Bereichen Landwirtschaft (z. B. Landwirte mit *Urlaub auf dem Bauernhof*-Angebot) und Archäologie (z. B. Kreisarchäologen) mitgewirkt haben. Einerseits bekamen alle Beteiligten und



Interessierten von Beginn an die Möglichkeit zur kontinuierlichen Partizipation am Planungsprozess durch Mitarbeit in einer Projektsteuerungsgruppe, die während der gesamten Planungs- und Umsetzungsphase arbeitet, eingeräumt. In dieser Steuerungsgruppe sind vor allem die Bereiche Tourismus, Archäologie und Landwirtschaft vertreten. Andererseits war eine kurzfristige Mitarbeit durch Teilnahme an einem der zahlreichen öffentlichen Workshops möglich, die bereits in der frühen Planungsphase in allen Stadt- bzw. Landkreisen durchgeführt wurden, durch die der Streckenverlauf der Via Danubia führt. Diese über die Tagespresse rechtzeitig angekündigten Workshops ermöglichen allen Interessierten die Mitwirkung an der Planung der Via Danubia.

### Zur nachfrageorientierten Planung der Via Danubia

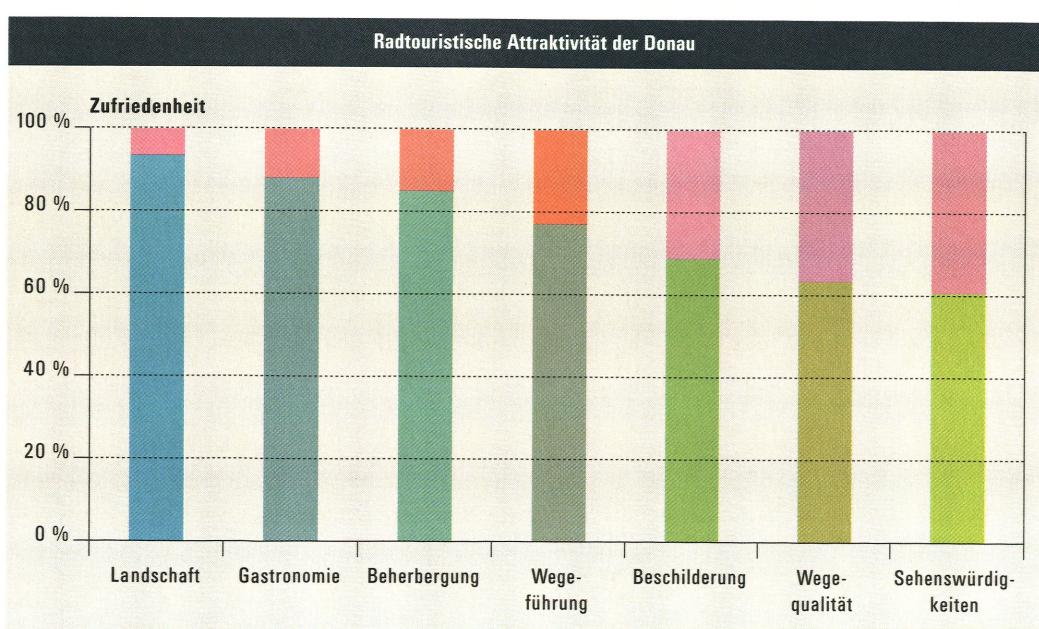
Einerseits muss der Planungsprozess nach dem Bottom-up-Ansatz erfolgen, andererseits muss die konkrete Ausgestaltung der Via Danubia an

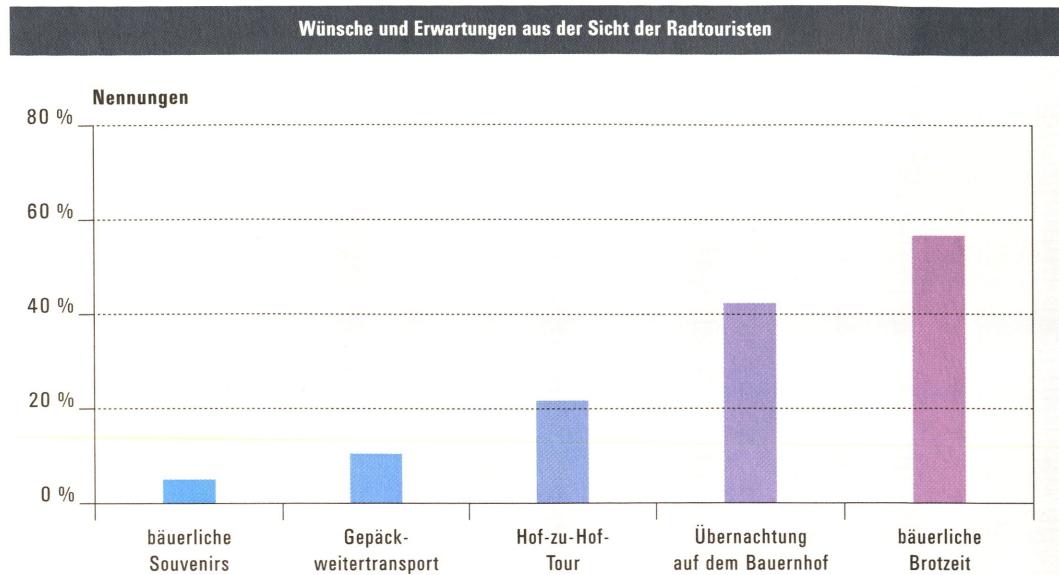
den Wünschen und Erwartungen potenzieller Nachfrager orientiert werden, um einer marktorientierten Ausrichtung des Radwanderweges gerecht zu werden. Bereits in der Konzeptionsphase wurde daher u.a. vom 6.8. bis 15.9.1999 eine umfangreiche Befragung von Radwanderern auf dem Donauradweg durchgeführt, bei der insgesamt 313 Personen interviewt wurden. Die Datenerhebung erfolgte anhand standardisierter mündlicher Interviews an verschiedenen Standorten zwischen Kelheim und Passau. Die Befragung sollte zum einen aufgrund der Erfahrungen der befragten Radler Aufschluss über Schwächen des bestehenden Donau-Radwanderweges geben. Zum anderen sollten Hinweise auf Defizite im bestehenden Angebot bzw. Wünsche nach zusätzlichen Angeboten gewonnen werden.

Hinsichtlich der sozio-demographischen Strukturen wurden die Ergebnisse vieler anderer Befragungen von Radtouristen bestätigt. Danach sind Radwanderer heute zum überwiegenden Teil 40 Jahre und älter (70 Prozent aller Befragten)

**5**  
Streckenverlauf der *Via Danubia* mit Alternativrouten für Tagesausflüge und Rundtouren.

**6**  
Bewertung der Region aus Sicht der befragten Radtouristen.





und überdurchschnittlich gebildet (50 Prozent mit Hochschulreife). Außerdem verfügen die Radwanderer, die selten als Alleinreisende auftreten, verglichen mit der Gesamtbevölkerung über überdurchschnittlich hohe Einkommen, was vor allem vor dem Hintergrund der zu erwartenden ökonomischen Effekte der Via Danubia von Bedeutung ist.

Wichtigstes Entscheidungskriterium für die Wahl ihres Reiseziels ist auch für Radwanderer die *Qualität der Landschaft* (für 77 Prozent der Befragten wichtigstes Motiv), mit der nahezu alle Befragten auf dem Donau-Radwanderweg zufrieden sind **6**. Erst mit deutlichem Abstand folgen die Motive *Sehenswürdigkeiten, gastronomisches Angebot* und *Beherbergungsangebot*; jedoch sind diese Aspekte wichtige Sekundärmotive für Radwanderer. Auch die am Donauradweg angebotenen Gastronomie- und Beherbergungsbetriebe werden von den Befragten sehr positiv eingeschätzt **6**. Deutlich schlechter werden hingegen die Beschilderung des Radwanderweges und die Hinweise auf Sehenswürdigkeiten beurteilt: Rund ein Drittel der Befragten wünscht sich sowohl eine bessere Beschilderung als auch die verstärkte Einbeziehung von Sehenswürdigkeiten entlang des Radwanderweges **6**. Dies gibt einen deutlichen Hinweis darauf, dass die Radwanderer durchaus nicht nur radeln wollen, sondern auch eine regionsspezifische *Information* wünschen.

Grundsätzlich besteht bei den befragten Radtouristen das größte Interesse an den Themen *Natur und Landschaft* sowie *Schlösser und Burgen*. Aber auch *historische Themen* (etwa jeder dritte Befragte) und *Ausgrabungsstätten* (etwa jeder fünfte Befragte) stoßen auf ein breites Interesse. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass für eine Thematisierung eines Radwanderweges wie bei der Via Danubia ein nicht unerhebliches Nachfragepotenzial unter den Radwanderern existiert.

Auch die angestrebte Vernetzung mit der Landwirtschaft entspricht den Vorlieben der Radwanderer: Über die Hälfte der interviewten Radler äußerten bei der Befragung ein starkes Interesse am Angebot einer bäuerlichen Brotzeit,

etwa jeder dritte Befragte würde auf ein Übernachtungsangebot auf einem Bauernhof zurückgreifen **7**. Diese Übernachtungsmöglichkeit wird bis heute aber noch viel zu wenig vermarktet, so dass bisher nur 1,9 Prozent der Befragten ein Quartier auf einem Bauernhof gewählt haben. Offensichtlich bestehen gerade im Bereich der durch die Landwirtschaft angebotenen Produkte und Leistungen noch erhebliche Chancen für eine bessere Marktpositionierung.

Diese Ergebnisse unterstreichen somit einerseits das Potenzial eines thematisierten Radwanderweges, andererseits wird auch die Bedeutung von Zusatzangeboten und der Wunsch der Radler nach Ergänzungen zum Kernprodukt offensichtlich. Im Sinne der Produktmodifikation zur Verlängerung seines Lebenszyklus liefern die Befragungsergebnisse wichtige Hinweise darauf, dass die Thematisierung mit historischem Bezug unter Einbindung der Landwirtschaft eine marktgerechte Reaktion darstellt. Seitens der wichtigsten Partner der Via Danubia – Archäologie und Landwirtschaft – ist eine Vielzahl von Zusatzangeboten denkbar, die mit der Thematisierung des Radwanderweges in engem Bezug stehen:

#### Angebote der Via-Partner (Ausschnitt)

Via-Partner Archäologie	Via-Partner Landwirtschaft
Informationstafeln	Urlaub auf dem Bauernhof
Integration aktueller Grabungen	Radler-Abholservice
Museums-Pass	Römischer Bauernmarkt
Wanderausstellung <i>Via Danubia</i>	Römische bäuerliche Arbeitsweisen
Verkauf von Repliken o. Ä.	Bauernhof-Café

Um die Nachfrage nach dem touristischen Produkt Via Danubia nicht ausschließlich von einer einzigen Zielgruppe (Radfernradler) abhängig zu machen, wurde abschnittsweise eine parallele Streckenführung nördlich und südlich der Donau konzipiert (z. B. zwischen Pfatter und Straubing oder zwischen Niederaltaich und Vilshofen). Hierdurch bekommen Naherholer aus der Region, die im Radtourismus ebenfalls eine

wichtige Rolle spielen, die Gelegenheit, Tagesausflüge mit dem Rad in Form von Rundkursen durchzuführen, die bei Hin- und Rückweg über verschiedene Routen führen.

Eine große Zahl historischer und kultureller Höhepunkte wird den Radler entlang der Via Danubia begleiten. Als witterungsunabhängiges Angebot präsentieren die archäologischen oder historischen Museen in Bad Gögging, Kelheim, Regensburg, Straubing sowie Passau und auch das derzeit noch in der Realisierung befindliche neue Museum in Künzing zahlreiche Funde aus der Römerzeit. Aber auch unter freiem Himmel wird das Thema *Radeln auf den Spuren der Römer* aufbereitet: Ehemalige römische Kastelle und Villen wie z. B. die Ausgrabung in Eining oder die Porta Praetoria in Regensburg als das bedeutendste architektonische Zeugnis der Römer in Bayern stellen für den kulturinteressierten Radler »attraktive Hindernisse« auf seinem Weg entlang der Via Danubia dar. Daneben ist geplant, die offensichtliche Affinität der Radler zu kulturellen Themen nicht ausschließlich auf das Thema *Römer* zu fokussieren, sondern auch *besondere Sehenswürdigkeiten anderer Epochen* (z.B. Kloster Weltenburg) mit in die Via Danubia einzubeziehen. Wesentlich für den Erfolg der Via Danubia – sowohl bei Radfernwanderern als auch bei Naherholern – wird die Intensität und Qualität ihrer Vermarktung sein.

### Zur Vermarktung der Via Danubia

Für die erfolgreiche Vermarktung der Via Danubia ist eine Reihe von Voraussetzungen bereits in der Planungsphase des thematisierten Radwanderweges zu berücksichtigen. So ist eine intensive Öffentlichkeitsarbeit unter Einsatz verschiedener Medien unabdingbar. Vorteilhaft ist hierbei die eindeutige Identifizierbarkeit des Produktes anhand eines Logos, das ferner zur Entwicklung einer Corporate Identity unter den Beteiligten beiträgt. Aus diesem Grund wurde das bestehende Via-Logo der ersten beiden Streckenabschnitte übernommen, jedoch farblich abgewandelt. Der hohe Wiedererkennungswert aufgrund der Ver-

wendung der Signalfarbe Rot erlaubt es jetzt, das Logo auch zur Streckenauszeichnung (Beschilderung) einzusetzen. Darüber hinaus wird dieses Logo **8** auf allen Werbeträgern für die Via Danubia verwendet, auch die Auszeichnung von Beherbergungs- und Gastronomiebetrieben, die spezielle Angebote rund um die Via Danubia offerieren, ist vorgesehen. Neben einer intensiven Presse- und Öffentlichkeitsarbeit wird die Via Danubia über die örtlichen Tourismusbüros der Gemeinden und Landkreise sowie über das Internet vermarktet ([www.viadanubia.de](http://www.viadanubia.de)).

Die Propagierung der Besonderheit der Via Danubia muss aus Marketinggründen regional und überregional erfolgen, da das Wegenetz sowohl gezielt als auch zufällig von Radlern genutzt wird. Erfahrungsgemäß hat der größte Teil der gezielt anreisenden Radler seine Information über die gewählte Radroute aus seinem persönlichen Umfeld erhalten (Verwandte, Freunde, Bekannte), das eigene positive Erfahrungen weitergegeben hat. Da die Mund-zu-Mund-Werbung der Konsumenten des touristischen Angebots wichtig ist, kommt der Produktqualität und -information vor Ort große Bedeutung zu. Ein wesentliches Medium zur Information der Radler sind daher die rund 15 entlang der Via Danubia aufgestellten Info-Tafeln. Diese geben jeweils standortbezogene Informationen und bereiten darüber hinaus in populärwissenschaftlicher Weise verschiedene Themen der römischen Geschichte und Kultur auf. So gibt es beispielsweise im Landkreis Deggendorf an sechs Standorten Info-Tafeln zu folgenden Themen:

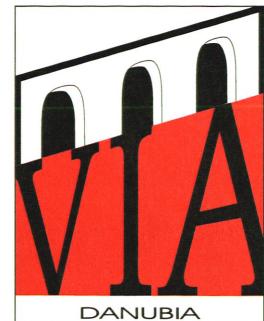
Info-Tafeln an der Via Danubia (Ausschnitt)

Standort (z. B.)	Thema
Wischburg	Römerschanze
Steinkirchen	Römerkastell
Natternberg	Vorgeschichtliche Höhensiedlung und Burganlage
Moos-Burgstall	Kastell mit Zivilsiedlung
Haardorf	Römische Militärstation
Thundorf	Museum Künzing

**RADELN AUF DEN SPUREN DER RÖMER**

# VIA DANUBIA

BAD GÖGGING - REGENSBURG - STRAUBING - PASSAU



**8**  
Logo der Via Danubia.

**9**

Eine handliche und informative Broschüre: der Radwanderführer zur Via Danubia (Bezugsadressen im Anhang, Seite 67).

Prof. Dr. phil.

**Jürgen Schmude**

geb. 1955 in Dortmund.

Studium der Geographie, Mathematik und Soziologie an der Universität Heidelberg; 1987 Promotion, 1993 Habilitation an der Universität Heidelberg.

1994–1998 Professor am Institut für Wirtschaftsgeographie der Ludwig-Maximilians-Universität München.

Seit 1998 Professor am Institut für Geographie an der Universität Regensburg.

*Forschungsgebiete:*

Tourismusforschung, Gründungsforschung; regionale Schwerpunkte: Bayern, Frankreich.

Neben den regional- und themenspezifischen Informationen werden auf den Info-Tafeln schließlich noch Hinweise auf touristische Attraktionen sowie Adressen und Telefonnummern zu Beherbergungsmöglichkeiten in landwirtschaftlichen Betrieben (Urlaub auf dem Bauernhof) oder zu Betrieben mit landwirtschaftlicher Direktvermarktung gegeben, um auf diesem Wege die angestrebte Vernetzung mit der Landwirtschaft zu unterstützen.

Als weiteres Element des Marketing ist ein Radwanderführer 9 zur Via Danubia erstellt worden, der ebenfalls nachfrageorientiert konzipiert ist. Auch hierzu wurden die Wünsche der Radler in der Befragung am Donau-Radweg erfasst. Sehr wichtig ist den Radfahrern ein ‚praktisches Format‘, das die Unterbringung des Radführers in den Sichtfächern von Lenkertaschen erlaubt. Inhaltlich sind den Radlern vor allem Detailkarten mit Kilometerangaben sowie Informationen zu Geographie und Geschichte bzw. Wirtschaft und Kultur der Region wichtig. Die zur Eröffnung der Via Danubia fertig gestellte Broschüre wurde in Kooperation mit Fachleuten aus Archäologie, Tourismus und Landwirtschaft erarbeitet. Die fachspezifischen Inhalte wurden mit den Info-Tafeln sowie den übrigen Angeboten abgestimmt und populärwissenschaftlich abgefasst: Geschichte wird in Geschichten erzählt.

Neben diesen bereits vorhandenen, permanent eingesetzten Medien zur Vermarktung der Via Danubia existieren für weitere Maßnahmen erste Ideen: So ist beispielsweise an die Einführung eines Via-Bonus-Heftes gedacht, das verbilligte Eintrittskarten für die einschlägigen Museen entlang des Themenradweges enthält. Schließlich gibt es auch Überlegungen, gegebenenfalls eine eigene Via-Produktlinie zu entwickeln: Hierzu könnten beispielsweise typische Artikel des Merchandising angeboten werden (z. B. Radlerkappen). Darauf hinaus soll die Via Danubia durch einmalige Aktionen (z. B. römischer Bauernmarkt) vermarktet werden. Auch die Einweihung des Themenradweges wurde als Marketingmaßnahme geplant.

### **Eröffnung der Via Danubia**

Die Eröffnung der Via Danubia fand am 20. Mai 2001 statt. Mit einem thematisierten Eröffnungsfest wurde die gewählte Marktpositionierung dieses neuen touristischen Produkts an die breite Öffentlichkeit getragen, begleitet von einer umfangreichen Darstellung in der Tages- und Tourismus-Fachpresse. Die Eröffnungsveranstaltung hatte u. a. die Aufgabe, die Attraktivität der Via Danubia gegenüber anderen, ‚reinen‘ Radwanderwegen im Sinne eines Alleinstellungsmerkmals zu kommunizieren.

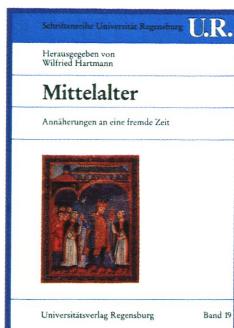
Nach dem Verständnis der Produktlebenszyklustheorie hat mit der Entwicklung der Via Danubia durch die Verbindung von touristischen, kulturhistorischen und landwirtschaftlichen Inhalten die Modifikation eines ‚alten‘ Produkts stattgefunden. Die Thematisierung hat sich des in der Region vorhandenen ‚natürlichen Potenzials‘ (u. a. Kulturgeschichte) bedient, um den Radler – möglichst authentisch – mit der römischen Vergangenheit zu konfrontieren. Die Via Danubia ist somit ein ‚neues‘ touristisches Produkt, das die Nachfrage nach Inszenierung und den Wunsch nach Authentizität zu vereinen sucht. Ob dies mit der gewählten Thematisierung gelungen ist, werden letztlich die Radfahrer durch die Annahme oder Ablehnung des Radwanderweges entscheiden.

Ein nachhaltiger Erfolg der Via Danubia wird sich nur dann einstellen, wenn auch zukünftig eine permanente Betreuung und Pflege dieses touristischen Produkts gewährleistet ist. Hierzu gehören zum einen dauerhafte und durchgängige Marketingmaßnahmen (z. B. über Gemeinde- und Regionsprospekte), zum anderen müssen neben den dauerhaften immer wieder auch zeitlich begrenzte themenspezifische Angebote für die Radler entwickelt werden. Wesentlich ist hierbei, dass diese Angebote die gewählte Thematisierung der Via Danubia aufgreifen und der Nachfrage nach authentischer Inszenierung entsprechen – die Via Danubia ist Inszenierung *und* Realität.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 67

# Schriftenreihe der Universität Regensburg U.R.

## Neue Einsichten ins Mittelalter



Wilfried Hartmann (Hrsg.)

### Mittelalter

Annäherungen an eine fremde Zeit

Im steten Bezug zu heute führen fünf bedeutende Mittelalterforscher des deutschen Sprachraumes die wichtigsten Aspekte des Lebens und Denkens dieser geschichtlichen Epoche vor. Eine fremde Zeit rückt uns näher.

„Der Band repräsentiert insgesamt wichtige Elemente einer aufschlussreichen Sicht des Mittelalters durch prominente Vertreter der historischen Mediävistik“ (Mitteilungen des Instituts für Österreichische Geschichtsforschung).

144 Seiten, kartoniert,  
ISBN 3-9803470-0-1  
mit Abbildungen, DM 24,80 / € 12,90

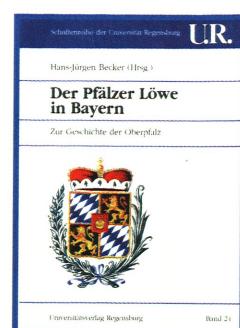
## Wichtige Ereignisse der Oberpfälzer Geschichte

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 schwerpunkt-mäßig sichtbar werden.



224 Seiten, kartoniert,  
ISBN 3-930480-42-5  
mit Abbildungen, DM 39,80 / € 22,90

## Vorläufer des deutschen Parlaments?



Dieter Albrecht (Hrsg.)

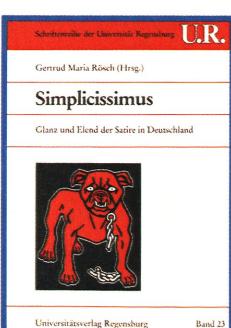
### Regensburg – Stadt der Reichstage

Vom Mittelalter zur Neuzeit

Durch die Ständeversammlungen wurde der Gedanke wenn nicht individueller, so doch korporativer Freiheit durch die Jahrhunderte getragen. Seit 1582 haben sämtliche Reichstage in Regensburg stattgefunden. Mit Recht war Regensburg immer stolz darauf, eine Stadt der Reichstage und schließlich die Stadt des Immerwährenden Reichstags gewesen zu sein.

192 Seiten, kartoniert,  
ISBN 3-9803470-9-5  
mit Abbildungen, DM 29,80 / € 14,90

## Ein höchst facettenreiches Bild der Satire in Deutschland



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.

216 Seiten, kartoniert,  
ISBN 3-930480-41-7  
mit Abbildungen, DM 39,80 / € 22,90

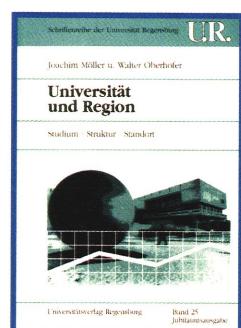
## 30 Jahre Universität Regensburg

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, DM 39,80 / € 22,90

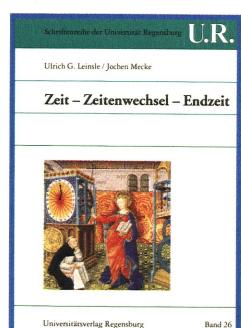
## Was ist die Zeit?

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  
DM 39,80 / € 22,90

Herausgegeben vom Rektor der Universität Regensburg  
Überall im Buchhandel oder über Bestell-Hotline 0800 / 33 44 33 0

UNIVERSITÄTSVERLAG REGENSBURG

[www.uni-verlag-rbg.de](http://www.uni-verlag-rbg.de)

# Wie wirklich ist die Wirklichkeit?

## Legende und Märchen im Mittelalter und in der Romantik

### Märchen und Legenden

»Wie wirklich ist die Wirklichkeit?« heißt der Titel eines viel diskutierten Buchs von 1976. Inzwischen hat die digitale Revolution mit ihren virtuellen Welten die Frage nach der Wirklichkeit neu herausgefordert. Blickt man freilich über die Jahrhunderte hin in die Geschichte zurück, dann wird deutlich, dass Wirklichkeit seit jeher ein variables kulturelles Konstrukt ist. Dies zu entdecken, kann uns dabei helfen, unsere eigene Wirklichkeit klarer zu durchschauen.

Wirklichkeit bildet für den Menschen einen lebenswichtigen Orientierungsrahmen. Sie in Frage zu stellen, scheint deshalb auf den ersten Blick nicht mehr als ein akademisches Gedankenspiel zu sein. Bei näherem Hinsehen freilich ergibt sich ein ganz anderes, geradezu umgekehrtes Bild, das durchaus auch von alltagspraktischen Erfahrungen gestützt wird: Wirklichkeit scheint angesichts dessen, dass ein jeder sie notwendigerweise mit den eigenen Augen sieht, in hohem Maß eine Frage der individuellen bzw. kulturellen Interpretation zu sein, also keineswegs ‚fest‘ zu stehen.

#### Literaturwissenschaftliche Mittelalterforschung

Dass nicht nur in anderen Kulturen, sondern auch in der Geschichte der eigenen Kultur derart grundlegende, über individuelle Auffassungen weit hinausgehende Unterschiede in der Wirklichkeitsauffassung begegnen, zeigt ein Blick ins Mittelalter. Als Teil der interdisziplinären Wissenschaft vom Mittelalter stellt sich die literaturwissenschaftliche Mittelalterforschung diesem kulturgeschichtlichen Phänomen, indem sie es aus dem Blickwinkel ihres Gegenstandsbereichs und mit den ihr eigenen Mitteln der Textinterpretation analysiert. Eine – bislang erstaunlicherweise noch kaum genutzte – Zugangsmöglichkeit eröffnet hier die Frage nach der Position, die einer bestimmten, lang tradierten Erzählvorlage im System der literarischen Gattungen zugewiesen wird, zumal dann, wenn sich diese Position im Lauf der Zeit merklich verschiebt. Von besonderem Interesse sind dabei Positionsverschiebungen zwischen einer Gattung wie der Heiligenlegende, in der eine gegebene Geschichte so erzählt wird, dass sie zumindest teilweise noch in der historischen Wirklichkeit verankert erscheint, und einer Gattung wie dem Märchen, in dem die erzählte Geschichte von vornherein als nicht wirklich aufgefasst ist. Hier zeigt sich nun, dass ein und dieselbe Geschichte im Mittelalter sehr wohl ver-

einbar mit der gültigen Wirklichkeitsauffassung sein und als Legende interpretiert werden konnte, während sie etwa im 19. Jahrhundert nur mehr als Märchen denkbar und dementsprechend anders zu vermitteln war.

#### Eine Geschichte verändert ihr Aussehen

Ein Mann verhilft einem anderen zur Eheschließung, büßt selbst aber wenig später Gesundheit und Leben ein. Um den Freund wiederherzustellen, tötet der glücklich Verheiratete seine beiden Söhne und badet ihn in deren Blut. Gleichzeitig mit der Heilung erfolgt die Wiedererweckung der Kinder.

Aus diesem Stoff wurde im Mittelalter die Legende der heiligen Freunde Amicus und Amelius gebildet, zweier Personen, die man heute als nicht historisch betrachten würde; ihre Grabstätte wähnte man in der Nähe von Turin. Die in die Form der Legende gegossene Geschichte sieht folgendermaßen aus: *Amicus verhilft dem Amelius unter selbstlosem Einsatz seines Lebens zur Eheschließung mit der Tochter eines Fürsten. Vom Aussatz befallen, sieht er dann dem Tod entgegen. Weil er aber in aller Schmerzensqual wie Hiob zu frommer Geduld und Demut gelangt, lässt Gott ihm zum Lohn aus dem Mund des Erzengels Raphael das Heilmittel verkünden: Amelius, der Freund, solle seine beiden eigenen Kinder töten und ihn in deren Blut baden. Amicus ist erschüttert über diese Erscheinung und möchte sie zunächst nur für eine krankheitsbedingte Halluzination halten. Entsetzt weist er die Vorstellung, seine Gesundheit auf Kosten zweier geliebter Menschenleben zurückzuhalten, weit von sich, doch der Engel stellt klar, dass dies ein Befehl Gottes sei. Amelius nimmt dies mit großer Erschütterung auf, schöpft aber aus der Erinnerung an das Beispiel Abrahams und Isaaks die Kraft, dem göttlichen Befehl zu gehorchen, und tötet unter Tränen seine Kinder. Als er nach der Heilung des Freunden von seinen toten Kindern Abschied nehmen will, findet er sie friedlich schlafend vor. Um Gott für das Geschenk dieses Wunders zu danken, geloben Amelius und seine Frau ewige Keuschheit. Amicus und Amelius aber, so die Fortsetzung der Geschichte, treten als Soldaten Christi dem ungläubigen König Desiderius entgegen, der Karl den Großen mit Krieg bedroht. Beide sterben am gleichen Tag den Märtyrertod.*

Die Brüder Grimm, die – was heute gern vergessen wird – zu den Begründern der germanistischen Mittelalterforschung im 19. Jahrhundert zählen **1**, kannten diese Legende ganz genau. Sie hielten der Legende das Märchen vom Treuen

Johannes aus ihren »Kinder- und Hausmärchen« entgegen, das für sie nunmehr die wirklich »richtige«, nicht von »schwülem Aberglauben« entstellte Version war. Und so sieht die Geschichte im Grimm'schen Märchengewand aus: *Der Titelheld verhilft dem König, dem er in Treue zugetan ist, dazu, die Königstochter vom Goldenen Dach zu heiraten, zahlt selber aber den Preis, »ganzen Leibes zu Stein« zu werden. Nachdem die Königstochter vom Goldenen Dach zwei »Söhnlein« geboren hat, sagt der Stein zum König: »Wenn du mit deiner eigenen Hand diesen beiden Kindern den Kopf abhaust und mich mit ihrem Blut bestreichst, so erhalte ich das Leben wieder.« Der König tut dies sogleich, woraufhin Johannes gesund vor ihm steht, den Kindern eilig ihre Hämpter aufsetzt und sie wieder heil macht, so dass sie spielen, »als wär' ihnen nichts geschehen«, und am Ende alle froh und glücklich sind.*

Die beiden Beispiele rücken nicht nur den grundsätzlich wichtigen Befund ins Licht, dass gleiche oder ähnliche Sachverhalte sehr unterschiedlich wiedergegeben werden können. Sie vermitteln außerdem auch bereits einen Eindruck von der unterschiedlichen Wirklichkeitsdimension, die der Legende auf der einen Seite und dem Märchen auf der anderen Seite zugrunde liegt. Es lohnt sich also, auf diesen Aspekt einen genaueren Blick zu werfen und sich zu fragen, inwiefern Legende und Märchen die jeweils gültige Wirklichkeitsauffassung auf die Probe stellen bzw. woran es liegt, dass das Ergebnis dieser Probe im Mittelalter ganz anders ausfällt als etwa in der Romantik.

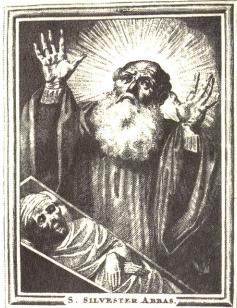
#### Wo ist welche Wirklichkeit?

Die Bezeichnung Legende ist mittelalterlichen Ursprungs und leitet sich ab von lateinisch *legenda* (Gerundiv, Neutr. Plural), »zu Lesendes«. Gemeint sind damit die Geschichten vom Leben heiliger Menschen, die an den gleichmäßig über das Kirchenjahr verteilten Gedenktagen »zu lesen« bzw. »vorzulesen« sind. Das (Vor-)Lesen der Legenden war also, wie der normative Gehalt der Bezeichnung bereits anzeigt, ausgesprochen tief in der kirchlich geprägten Alltagswirklichkeit verwurzelt. Der Inhalt der Legenden selbst jedoch galt auch im Mittelalter durchaus nicht als Abbild einer alltäglich-normalen Wirklichkeit. Er siedelte sich vielmehr in einem Grenzbereich an, der geeignet war, die Dimensionen der innerweltlich fassbaren Wirklichkeit auszuloten. Der Heilige hat dabei die Funktion eines Vermittlers inne, durch den hindurch eine »andere«, transzendenten Wirklichkeit auf die »eigene«, menschlicher Erklärung und Erwartung zugängliche Wirklichkeit geleitet wird. Das Wunder – in unserem Beispiel die Heilung des Todkranken bzw. die Wiedererweckung der getöteten Kinder – ist der Punkt, an dem sich das Aufeinandertreffen beider Wirklichkeitsebenen deutlich zeigt. Dem Heiligen als Grenzgänger zwischen diesen Wirklichkeitsebenen, der »göttlichen« und der »menschlichen«, schreibt die Legende einen entsprechend hohen Grad an Bewusstsein zu. Dieses Bewusstsein ist gespeist durch die Ausrichtung auf die göttliche Instanz und schließt jede Form von Zufall aus **2**. Vermittelt



durch den Heiligen, kann auch die an sich beunruhigende Erfahrung von der Begrenztheit des menschlich Erklärbaren, wie sie im Wunder zum Ausdruck kommt, als Produkt göttlichen Wirkens einem Sinnzusammenhang zugewiesen werden. Das Wunder lässt sich so geradezu als erwartbare, »logische« Folge heiligmäßiger Lebensführung auffassen. Auf unser Beispiel bezogen: Die plötzliche Heilung des aussätzigen Amicus wird denk- und erklärbar als Resultat des Dialogs, den dieser, Hiob gleich, mit Gott führt, und die Wiederbelebung der geopferten Söhne wird denk- und erklärbar als Antwort auf den bedingungslosen Gehorsam gegenüber Gott, den Amelius in der Nachfolge Abrahams bezeugt. Endgültig schließt sich die Kluft zwischen der innerweltlichen und der darüber hinausgehenden, transzendenten Wirklichkeitsebene freilich auch beim Heiligen erst im Tod, der ihn buchstäblich zu einem von den Menschen »Verschiedenen« werden und aus der Ewigkeit für all jene in die Endlichkeit zurückwirken lässt, die seiner gedenken. Der Tod nimmt

**1**  
Mittelalterforschung in Aktion:  
Jacob Grimm  
über seinen Sammelmappen,  
Bleistiftzeichnung  
von Ludwig Emil Grimm  
(Cabel d 18 Nov 1817. Wilhelms-  
hoher Thor. Excerpt-Kasten  
nebst einem von denen).



2

Der Heilige als Bindeglied zwischen irdischer und jenseitiger Wirklichkeit  
(S. Silvester Abbas, d. i. Silvester Gozzolini; Kupferstich in C. Weigel, Columnae militantis ecclesiae, Nürnberg 1725).

3

Die abgeschlossene, »eigene« Wirklichkeit des Märchens (Dornröschen, gezeichnet von Wilhelm Simmler, Deutscher Bilderbogen, um 1870).



deshalb einen wichtigen, gefeierten Platz in der Legende ein; der Todes- und nicht etwa der Geburtstag markiert das alljährlich wiederkehrende Gedenkdatum, an dem die jeweilige Heiligenlegende »zu lesen« ist. Nicht zufällig legt denn auch die oben angeführte Legendenversion im Unterschied zur Märchenversion besonderen Wert darauf, noch vom (Märtyrer-)Tod der beiden Freunde zu erzählen.

Die Unterschiede des Märchens zur Legende wurzeln darin, dass das Märchen eine eigene, geschlossene Wirklichkeit entwirft, in der es eine Spannung zwischen Innerweltlichkeit und Transzendenz, Diesseits und Jenseits, gerade nicht gibt. Was das Märchen als Wirklichkeit voraussetzt, siebelt sich in einem Bereich neben Innerweltlichkeit und Transzendenz an und eröffnet weder zum einen noch zum anderen einen direkten Zugang 3. Das Märchen kennt nur eine einzige Wirklichkeitebene, nämlich die seine. Aufgrund dessen kennt

es auch kein Wunder wie die Legende, denn nach der Logik des Märchens gehört das Wunderbare ja zur »Normalität«, ist es für den Helden und für seine Mitspieler so selbstverständlich wie die Luft zum Atmen. Der Königssohn aus unserer Märchenversion etwa wundert sich nicht im Geringsten darüber, dass ein Stein anfängt, zu ihm zu sprechen, und genausowenig ist er tief erschüttert über das, was der Stein von ihm verlangt. Wie selbstverständlich kann dieser dann auch in sein vorheriges Dasein zurückverwandelt werden und ohne weiteres die getöteten Kinder wieder ins Leben holen. Man sieht: Hier bricht keine »andere« Wirklichkeit ein, hier gibt es keine Konflikt erfahrung und keinen Erklärungsbedarf. Hier muss, ja kann deshalb der Held auch gar nicht aus sich heraustreten und wie der Heilige sein Dasein reflektieren, sein Handeln abwägen, sein Leben gestalten. Hier ist das, was sich in der Legende auf zwei Ebenen verteilt, auf einer einzigen

Ebene gleichsam zusammengeschoben: auf einer Ebene jenseits von Zeit und Geschichte. In Zeit und Geschichte selbst hat das Märchen – anders als die Legende – kein ›Standbein‹ mehr.

### Koordinatenverschiebungen

Legende und Märchen entwerfen, ihrer jeweiligen Gattungslogik folgend, unterschiedliche Wirklichkeitsdimensionen. Der Stellenwert, den die Legende bzw. das Märchen zu einer gegebenen Zeit besitzt – das heißt der Popularitätsgrad, die Reichweite der Wirksamkeit –, und ebenso das Verhältnis von Legende und Märchen zueinander hängen davon ab, welchen Standort die beiden Gattungen im Rahmen der jeweils vorherrschenden Wirklichkeitsauffassung der Menschen einnehmen. Der jeweilige Stellenwert von Legende und Märchen lässt sich also als eine Art Seismograph für Wandlungsprozesse in der Wirklichkeitsauffassung der Verfasser und ihres Publikums betrachten.

Im Mittelalter war die Legende in einem so hohen Maß beliebt, übte sie einen so weit reichenden Einfluss auf Literatur, Kunst und Alltag aus, wie es für uns kaum mehr nachvollziehbar ist. Legenden konnten sogar einen integralen Bestandteil der Geschichtsschreibung bilden. Die oben vorgestellte Legende von Amicus und Amelius etwa findet sich auch in dem wirkmächtigen »Speculum historiale« des mittelalterlichen ›Universalhistorikers‹ Vinzenz von Beauvais († um 1264), und zwar unter den Ereignissen, mit denen die Regierungszeit Karls des Großen charakterisiert werden sollte. Dieses entschieden historische Verständnis rückt die erzählte Geschichte hier denkbar weit vom Märchen ab und zeigt ganz deutlich, wie sehr der Maßstab, an dem im Mittelalter Wirklichkeit gemessen wurde, von dem der Neuzeit abweicht.

Wie aber hat man sich nun diese andere Wirklichkeitsauffassung vorzustellen, die offensichtlich so gut zum Wirklichkeitsentwurf der Legende passte, dass die Legende in der mittelalterlichen Literatur zu den am weitesten verbreiteten Gattungen überhaupt zählte? Es kann hilfreich sein, sich dabei ein Bild vor Augen zu halten, das in der Literatur des Mittelalters allgegenwärtig war, auch außerhalb der Legende: das Bild des Buches. Man hat die Geschichte der Menschheit, die Welt und die in sie ›eingeschriebene‹ Wirklichkeit gerne mit einem Buch verglichen, dessen Urheber Gott ist. So hat auch Bertold von Regensburg, der um die Mitte des 13. Jahrhunderts Novizenmeister im Regensburger Franziskanerkloster war, in einer seiner berühmten Predigen Erde und Himmel mit einem Buch verglichen, in dem man, gestützt auf die beiden Nachschlagewerke des »Buchs der Bücher«, Altes und Neues Testament, ›lesen‹ könne, und zwar im ›Buch‹ der Erde bei Tag, im ›Buch‹ des Himmels bei Nacht. Bereits daraus dürfte zumindest ansatzweise hervorgehen, worum es bei der Wirklichkeitsfrage ging und worum nicht: Es ging darum, die innerweltlichen Erscheinungsformen wie (Schrift-)Zeichen zu betrachten und all das ›herauszulesen‹, was sie im geistlichen Sinn als Fingerzeig Gottes ›bezeichnen‹ konnten. Hingegen ging es nicht darum, die innerweltlichen Erscheinungsformen, wie es heute selbstverständ-

lich ist, als eigenständige Realität empirisch zu erforschen, Naturgesetze zu entschlüsseln. Aus der Sicht mittelalterlich-christlicher Zeichenlehre wäre das ja ein relativ nutzloses, um nicht zu sagen absurdes Unterfangen, das mit großem Aufwand zwar die Beschaffenheit der Zeichen selbst analysiert, nicht aber das ergründet, wofür diese Zeichen stehen.



4

Arpia und Greif (Illustration zu Konrad von Megenberg: »Buch der Natur«, in einer Ausgabe von 1463; Germanisches Nationalmuseum Nürnberg). Der zugehörige Text lautet, ins Neuhochdeutsche übersetzt: *Arpia ist ein Vogel und wohnt fern von hier [...]. Er ist stets ausgehungert und wird niemals satt. Mit seinen scharfen Klauen ist er unablässig auf Beutejagd. Er hat ein menschliches Antlitz, aber nicht die Tugend, die den Menschen auszeichnen soll [...].*

### Löwe und Einhorn

Entsprechend anders, als wir es aus heutiger Sicht erwarten würden, stellt sich denn auch die mittelalterliche Naturkunde dar. Auf dem Gebiet der Tierkunde beispielsweise – angefangen bei dem viel zitierten »Physiologus« (das heißt »der Naturkundige«; um 200) bis hin zum »Buch der Natur« (um 1349/50) aus der Feder des Regensburger Domherrn Konrad von Megenberg – begegnen dem heutigen Leser neben Tieren, die, unserer Sicht entsprechend, ›wirklich‹ existieren, völlig unterschiedslos auch Fabeltiere wie das Einhorn und skurrile Mischwesen wie der Vogel »arpia«, der ein Menschenhaupt trägt 4. Das Konzept dieser merkwürdigen ›Zoologie‹ ist leichter nachvollziehbar, wenn man sich die Eigenschaften vergegenwärtigt, die hier gemäß einer allgemein anerkannten Tradition auch einem für uns zweifellos ›wirklichen‹ Tier wie dem Löwen zugeschrieben wurden: Das Löwenjunge, heißt es unter anderem, kommt tot zur Welt, bis es am dritten Tag der Löwenvater zum Leben erweckt. Ob eine derartige Eigenschaft als solche zutrifft oder nicht, ist, wie schon Augustinus festgestellt hat, gar nicht ausschlaggebend. Was zählt, ist, dass sich an ihr etwas ›ablesen‹ lässt: Der Löwenvater, verstanden als Zeichen für Gottvater, erinnert die Menschen daran, dass dieser seinen Sohn Jesus Christus am dritten Tag vom Tode auferweckte. Angesichts des Befundes, dass auch ein ›wirkliches‹ Tier wie der Löwe seine ›eigentliche‹ Wirklichkeit hier nicht aus der empirischen Greifbarkeit, sondern aus seiner Funktion als Zeichenträger bezieht, ist der Schritt zum Fabeltier natürlich nicht mehr weit. Die Eigenschaften, die man in der Naturkunde dem Einhorn zuschrieb, liegen auf ein und derselben Ebene wie beim Löwen. Das Einhorn hat insofern also tatsächlich ein und die-

selbe Wirklichkeit wie der Löwe. Als bekannteste Eigenschaft des Einhorns gilt, dass es von keinem Jäger, sondern nur von einer Jungfrau gefangen werden könne, in deren Schoß es springt und schläft. Die Jungfrau ›bezeichnet‹ Maria, das Einhorn aber Jesus Christus, der nach dem Willen des Vaters in den Schoß Mariens eingegangen sei (5 bis 9).

Nach diesem Einblick in die mittelalterliche Art, Wirklichkeit als Netzwerk von Zeichen mit geistlicher Bedeutung zu ›lesen‹, dürften die Beliebtheit der Legende und der ungebrochene Glaube an die Wirklichkeit ihres Gegenstandes nicht nur verständlicher geworden sein, sondern geradezu als zwingend erscheinen: Denn die Legende bestätigt Gott als Garanten der innerweltlichen Wirklichkeit. Sie verleiht Gott innerweltliche Gegenwart im Medium des Heiligen und im Zeichen des Wunders. Diese Wirklichkeitsauffassung

braucht das Wunder. Sie kann, ja darf es sich nicht ›wegerklären‹ lassen. Die Tatsache, dass die empirische Neugier demgegenüber lange Zeit so sehr im Hintergrund gestanden hat, besitzt folglich durchaus ihre Logik. Die Ausbildung erfahrungswissenschaftlicher Rationalität war keine Frage der intellektuellen Kompetenz. Die Suche nach der ›natürlichen‹ Erklärung des Wunders bzw. die Verabschiedung des nicht ›natürlich‹ Erklärbaren ins Reich des Märchens geht denn auch mit der Verabschiedung jener zeichenhaften Wirklichkeitsauffassung einher, die das Mittelalter jahrhundertelang geprägt hatte.

### Als der Stern der Legende zu sinken begann ...

In dem Maß, wie die innerweltliche Wirklichkeit aus ihrem Zeichencharakter herausgelöst und als ›eigentliche‹, von religiösen Verweiszusammen-

#### Der wechselnde Blick auf das Einhorn und die Veränderung der Wirklichkeit:

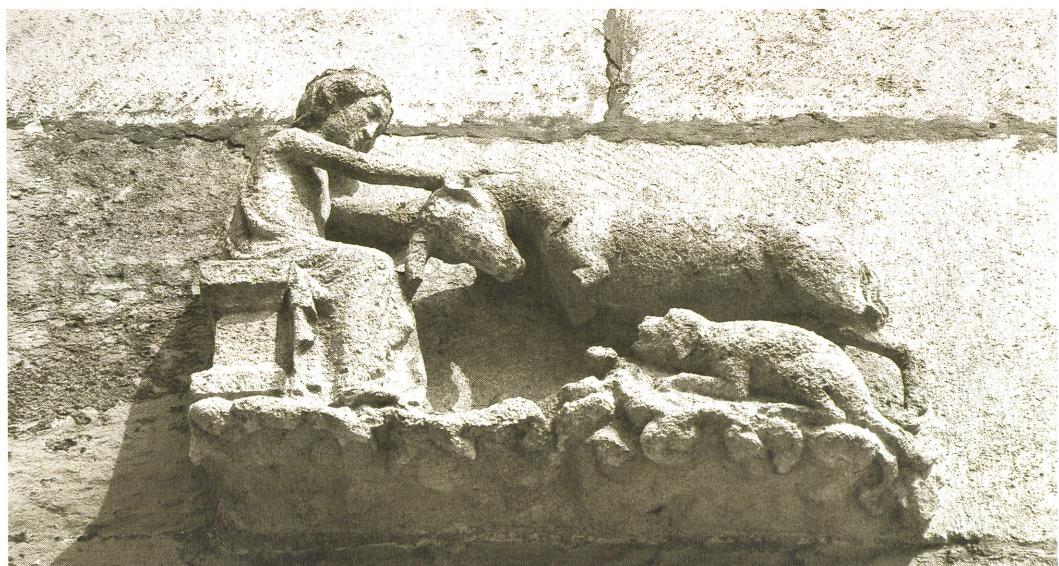
5

Jungfrau Maria im Paradiesgarten; in ihrem Schoß birgt sich das Einhorn, das der Erzengel Gabriel gejagt hat (Antependium, Gelnhausen, Ende 15. Jahrhundert). Der Text des Spruchbands lautet: *Ave, gratia plena, dominus tecum* (›Gegrüßt seist Du, voll der Gnaden, der Herr ist mit Dir‹).



6

Jungfrau mit Einhorn,  
Steinskulptur, um 1330.  
Regensburger Dom,  
Strebepfeiler Fassade südliches  
Seitenschiff, Erdgeschosshöhe.



hängen unabhängige Wirklichkeit verstanden wurde, musste auch die Gattung der Legende allmählich an Boden verlieren. Nicht umsonst brach ja im glaubenskämpferischen 16. Jahrhundert ein offener Streit um die Legende aus, bei dem man auf protestantischer Seite die Legende rundweg zum »Ammenmärchen« erklärte, während die katholische Seite ihrerseits im Sinn einer empirischen Wirklichkeitsauffassung begann, die Legenden auf ihren historischen Wahrheitsgehalt hin zu überprüfen und dort, wo dieser nicht gegeben zu sein schien, zum Kahlschlag ausholte. Dieser Prozess ist, beiläufig gesagt, nach wie vor nicht abgeschlossen, nur wird er heute, da Glaube und Kirche an gesellschaftlicher Verbindlichkeit eingebüßt haben, in der Öffentlichkeit kaum mehr beachtet. Christophorus etwa, der sich in so manchem Auto eines Ehrenplatzes erfreut, ist von der Ritenkongregation als Heiliger mitsamt seiner Legende längst »abgeschafft« worden.

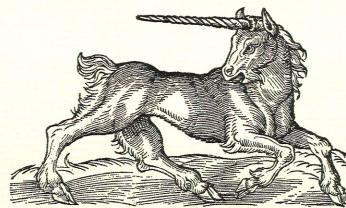
### ... und der Stern des Märchens aufging

Der Erkenntniszuwachs, den die im Spätmittelalter aufbrechende und in der Aufklärung ihren ersten Höhepunkt erreichende erfahrungswissenschaftliche Rationalität auf dem Gebiet der Naturforschung mit sich brachte, hatte freilich seinen Preis: Je mehr der Mensch als Bewohner eines naturgesetzlich erklärten Planeten von Gott als Herrn der Schöpfung freigesetzt wurde, desto mehr wurde er zugleich, gewollt oder ungewollt, mit der Last der Autonomie beschwert. An der Tatsache, dass der göttliche Weltenlenker aus der Wirklichkeit verdrängt worden war, ließ sich auch nicht mehr rütteln, als man nach dem anfangs noch ungebrochenen Optimismus der Aufklärung mehr und mehr die Grenzen wahrnahm, die dem aufgeklärten Bewusstsein seinerseits gesetzt waren. Im Umkreis der deutschen Romantik ging man so weit, von einem »Sündenfall« der Erkenntnis zu sprechen. Kultur- und fortschrittskonservativ propagierte man das Ideal des Goldenen Paradieses,

## Von der Natur / art vñnd eygen-

schafft der Thier / welcher namen anfahet inn  
frembden sprachen / darmit sie vñnn den alten ge-  
nant worden am Buchstaben V.

Unicornis ein Einhorn.



Unicornis ein Einhorn / ist bei uns ein fremb unbekandt thier / zim-  
licher größe/ doch geg seiner trelichen strecke zu rechnen/ mit gross von leib/  
von farben gelbfarb wie buxbäumen Holtz / hat gespalten Kloen / wonet im  
gebirg vñ hohen wildnüssen / hat vornen an der stirm ein sehr lang scharff  
horn / welches es an den felsen vñd steinen scherppft / durchsticht därmic die  
D i i g r e c h t s

7

Aus dem Tierbuch des  
Albertus Magnus, (Regensburg),  
deutsche Übertragung, 1545:  
Von der Natur / art unnd eygen-  
schafft der Thier / welcher namen  
anfahet inn frembden sprachen /  
darmit sie vñnn den alten  
genant worden am Buchstaben U.  
Unicornis ein Einhorn.  
Unicornis ein Einhorn / ist bei uns  
ein fremb unbekandt thier /  
zimlicher groesse / doch gegen  
seiner trelichen strecke zu rechnen /  
mit groß von leib / von farben  
gelbfarb wie buxbäumen holtz /  
hat gespalten kloen / wonet im  
gebirg und hohen wildnüssen /  
hat vornen an der stirm ein sehr  
lang scharff horn / welches es an  
den felsen und steinen scherppft /  
durchsticht därmic die [...].

8

»Anatomie« einer nach wie vor  
geglaubten Wirklichkeit:  
Der Universalgelehrte  
Gottfried W. Leibniz (1646–1716)  
und sein Einhornskelett.  
Figura Sceleti prope Quedlin-  
burgum effossi (»die Gestalt eines  
bei Quedlinburg ausgegrabenen  
Skeletts«): Im Zusammenhang  
mit Quedlinburger Knochenfunden  
äußerte auch Leibniz die  
Überzeugung, es müsse sich um  
ein Einhorn gehandelt haben.



9

Heute fasziniert das Einhorn  
als Fantasy-Figur: Einhorn mit  
Zauberer (Szene aus dem Zeichen-  
trickfilm »The Last Unicorn«).

einer Lebensform, in der die Menschheit noch nicht durch den Biss in die Frucht vom Baum der Erkenntnis »vergessen« war. Und in eben dieser goldenen Zeit sah man spätestens seit Novalis das Märchen als Urform der Poesie. Die Sehnsucht, träumen zu dürfen anstatt wissen zu müssen, wurde auf das Märchen projiziert. Das Märchen, in der glaubenskämpferischen Legendenpolemik noch als Synonym für abergläubischen Firlefanz ins Feld geführt, stieg damit zur literarischen Schlüsselgattung auf.

Der nostalgisch verklärte Mythos von einer »Kindheitsgeschichte« der Menschheit vor dem »Sündenfall« der Erkenntnis war auch für Jacob und Wilhelm Grimm eine wesentliche Triebfeder bei der Arbeit an ihrer berühmten Märchensammlung. Der Name »Kinder- und Hausmärchen« sollte auf diese »Kindheitsgeschichte« anspielen; er wurde also nicht etwa deshalb gewählt, weil die Märchen speziell für Kinder gedacht gewesen wären. Die Brüder Grimm verfolgten ganz im Gegenteil wissenschaftliche Ambitionen: Sie wollten, wie Jacob Grimm in einem Rundschreiben »an die gesamten Freunde deutscher Poesie und Geschichte« eigens betonte, »durchaus kein sogenannt unterhaltendes Buch« liefern, sondern mit Hilfe des Märchens die verlorene Welt einer für ursprünglich gehaltenen, nicht durch Reflexion gebrochenen Phantasie archivieren. Dass das dem »Sündenfall« der Erkenntnis enthobene Goldene Paradies eine alles andere als paradiesische Kehrseite besitzt – dies illustriert gerade das Beispiel des Kindermords im »Treuen Johannes« –, bleibt hinter der konsequenten Verniedlichung verdeckt, die insbesondere Wilhelm Grimm zum stilistischen Markenzeichen des Märchens machte.

Weniger bekannt ist indes, dass die Brüder Grimm sich im Zusammenhang mit ihrer Arbeit am Märchen auch der Legende zuwandten und diese ebenfalls in einer für ursprünglich gehaltenen, das heißt vom klerikalnen »Aberglauben« befreiten Form wiederherzustellen suchten. So haben die Brüder Grimm im Jahr 1819 der zweiten Auflage ihrer »Kinder- und Hausmärchen« die so genannten »Kinderlegenden« beigelegt und diese in einem Anmerkungsapparat von den entsprechenden mittelalterlichen Legenden abgegrenzt, die den Grimms ebenso unzeitgemäß wie abstoßend erschienen. Die »Kinderlegenden« geben einen Eindruck davon, wie sich die Sehnsucht nach einem (durchaus nicht mittelalterlichen) Kinderglauben und aufgeklärtes Bewusstsein miteinander verbanden: Denn sie führen zwar, wie es die vierte von ihnen sogar bereits im Titel ankündigt, »zum Himmel«, doch gehen sie dabei anders als ihre mittelalterlichen Gegenstücke nicht mehr von der historischen Wirklichkeit aus, sondern von der Welt des Märchens.

»Es war einmal ein Königsohn«, beginnt bezeichnenderweise die eben genannte vierte »Kinderlegende« mit dem Titel »Armut und Demut führen zum Himmel«. Sie fußt auf der im Mittelalter verbreiteten Alexiuslegende, die folgenden Inhalt hat: *Alexius, Sohn einer angesehenen römischen Familie, verlässt aus Liebe zu Gott Braut und Eltern und führt im fernen Edessa ein dem*

*Gebet gewidmetes Bettlerdasein. Um dem Ruhm, den er als Gottesmann erlangt hat, zu entfliehen und keinem Fremden mehr zur Last zu fallen, beschließt er siebzehn Jahre später, wissend, dass er nunmehr sogar für die nächsten Angehörigen unkenntlich geworden ist, sich unter der Treppe seines eigenen Elternhauses als Bettler niederzulassen. Bevor er dort nach weiteren siebzehn Jahren am Karfreitag stirbt, schreibt er als Zeugnis für die Nachwelt sein Leben auf. Glockengeläut und eine Himmelsstimme führen die erschütterten Römer zu dem Mann Gottes, an dessen Leichnam sogleich viele Kranke geheilt werden.* Der Grimm'sche Königsohn dagegen gelangt ohne jeden bewussten Kraftakt zu Gott, in der »kindlichen« Unschuld des Märchenhelden, der den Unterschied zwischen Glauben und Wissen nicht kennt: *Dem Königsohn begegnet eines Tages ein gütiger, alter Mann. Dieser gibt ihm ein Bettlerkleid und verspricht ihm, mit diesem Kleid werde er nach sieben Jahren in den Himmel kommen und nie mehr traurig sein. Der Königsohn zieht sogleich das Kleid an und geht hinaus in die Welt. Nach sieben Jahren aber steht er mit einem Mal wieder vor dem Schloss seiner Eltern, doch niemand erkennt ihn. So verkriecht er sich unter der Treppe, wo er bald, vom Hunger geschwächt, stirbt.* Das Glockengeläut, das ihn bei seinem Eingang in den Himmel begleitet, klingt als Echo aus der Legende ins Märchen hinein. Und auch ein kleines Zeichen lässt der Königsohn zurück: zwei Blumen, eine Lilie und eine Rose.

Die »Kinderlegenden« formulieren den Traum von der Zugänglichkeit der Transzendenz, die für den aufgeklärten Erwachsenen in weite Ferne gerückt ist. Seit dem Bruch mit der zeichenhaften Wirklichkeitsauffassung lässt sich die Transzendenz nicht mehr direkt aus dem »Buch« der Welt selbst »herauslesen«. Man kann sie sich nur noch indirekt vorstellen, auf dem Umweg über das Märchen, dem die Legende den Blick »nach oben« erschließt. Auch der Märchenheld muss dann den Preis des Todes zahlen. Aber in seiner Welt sind göttliche Helfer und Wunder noch wie selbstverständlich zum Greifen nahe. Die »eigentliche« Wirklichkeit ist entmystifiziert – mit allen Vorteilen und mit allen Nachteilen. Sie ist zum Experiment geworden, das neue Antworten liefert und mit diesen Antworten auch wieder neue Fragen aufgeworfen hat.

### Was kann man aus der Geschichte lernen?

Lassen sich aus diesem Streiflicht auf die Geschichte zweier literarischer Gattungen Schlussfolgerungen ziehen, die auch für uns heute von Interesse sind? Das ist eine ebenso legitime wie wichtige Frage, der sich geschichtsbezogene Forschung immer stellen muss, wenn sie nicht im sprichwörtlichen Elfenbeinturm verkümmern will. Konkrete Rezepte für die Gegenwart kann und will der wissenschaftliche Blick in die (Literatur-)Geschichte sicher nicht liefern. Zu unterschiedlich sind, zumal wenn man auf weit entfernte Jahrhunderte zurückblickt, die Voraussetzungen, unter denen sogar etwas scheinbar Selbstverständliches und »Feststehendes« wie Wirklichkeit verstanden wird. Gerade diese Einsicht aber wiegt durchaus nicht gering: Wirklichkeit

ist nicht beliebig, doch sie ist relativ. Das heißt, es gibt bestimmte Regeln, nach denen sich die Mitglieder einer gegebenen Gesellschaft darüber verständigen, was ihnen als Wirklichkeit gilt. Es gibt dabei jedoch nicht das eine, für alle Zeiten und Kulturen gültige Regelsystem, nicht die eine Wirklichkeit also, die im historischen Prozess nur immer genauer erkannt würde. Und angesichts dessen muss man sich auch fragen, ob eine ›objektive‹, vom Menschen unabhängige Wirklichkeit hinter den kulturspezifisch geregelten Konstrukten von Wirklichkeit überhaupt existiert. Freilich neigt man dazu – dies war im Mittelalter nicht anders –, das je eigene Wirklichkeitskonstrukt automatisch für das einzig ›wahre‹ zu halten. Doch so einfach ist die Sache nicht. Wer das geschichtlich Andere nur mit dem Maßstab der eigenen Gegenwart beurteilt, beschneidet seinen Erkenntnis- und Erfahrungsspielraum. Das geschichtlich Andere hat eine wichtige Funktion: Es ist der Spiegel, der uns ermöglicht, die eigene Gegenwart als gewachsene besser zu verstehen, weil durch den Kontrast das für uns Selbstverständliche in seinen Umrissen überhaupt erst sichtbar und damit auch in seinen Ambivalenzen zugänglich wird. Unsere plurale Gesellschaft mit ihrer im wahrsten Sinn des Wortes

atomisierten Wirklichkeit ist mehr denn je darauf angewiesen. Gerade die im Zeitalter der Globalisierung so bedeutsame interkulturelle Kompetenz setzt die bewusste Wahrnehmung der eigenen Kultur als Grundlage für die reflektierte Aneignung anderer Kulturen voraus. Die Erfahrung des geschichtlich Anderen innerhalb der eigenen Kultur hat dabei eine wichtige Vermittlungsfunktion. Und insofern kommt ihr eine nicht zu unterschätzende gegenwartsdiagnostische Relevanz zu.

Prof. Dr. phil.

**Edith Feistner**

geb. 1959 in Straubing.

Studium der Germanistik und der Romanistik an den Universitäten München und Paris.

1986 Promotion; 1987–1993

Assistentin am Institut für Deutsche Philologie der Universität München; 1994 Habilitation an der Universität

Würzburg. Privatdozentin an den Universitäten Würzburg und Augsburg; 1996–1999 Heisenberg-Stipendium. 1998 Vertretung

der Professur für germanistische Mediävistik an der Universität Gesamthochschule Kassel.

Seit 1999 Lehrstuhl für Deutsche Philologie (Mediävistik) an der Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Hagiographie; Bewusstseinsgeschichte im Spiegel höfischer, geistlicher und pragmatischer Texte;

deutsch-französische Literatur-

beziehungen.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 67



Prof. Dr. phil.  
Jörg Traeger

## ■ Literatur zum Thema

Dore Ashton,  
Picasso on Art:  
A Selection of Views.  
London 1972.

Francisco Calvo Serraller,  
El Guernica de Picasso.  
Madrid 1999.

Herschel B. Chipp,  
Picasso's Guernica: History,  
Transformations, Meanings.  
Berkeley/Los Angeles/London  
1988.

Ricardo de la Cierva,  
Historia ilustrada de la guerra  
civil Española. 4. Auflage.  
Madrid 1971.

Thomas Mann,  
An die gesittete Welt: Politische  
Schriften und Reden im Exil  
(Gesammelte Werke in  
Einzelbänden, hrsg. von  
Peter de Mendelssohn).  
Frankfurt a. M. 1986.

Jean-Paul Sartre,  
Porträts und Perspektiven.  
Hamburg 1968.

Werner Spies,  
Kontinent Picasso:  
Ausgewählte Aufsätze  
aus zwei Jahrzehnten.  
München 1988.

Jörg Traeger,  
Goya: Die Kunst der Freiheit.  
München 2000.

## ■ Bildnachweis

**■ Titelseite oben:**  
Ricardo de la Cierva,  
Historia ilustrada de la guerra  
civil Española. 4. Auflage.  
Madrid 1971.

**■ Titelseite unten:**  
Francisco Calvo Serraller,  
El Guernica de Picasso.  
Madrid 1999.

© Succession Picasso/  
VG Bild-Kunst, Bonn 2001.

**■ Klapptafel „Guernica“**  
zwischen den Seiten 12 und 13  
Francisco Calvo Serraller,  
El Guernica de Picasso.  
Madrid 1999.

© Succession Picasso/  
VG Bild-Kunst, Bonn 2001.

**1 2 3 8 9 10 12**

Archiv des Autors.

**4**

Ricardo de la Cierva,  
Historia ilustrada de la guerra  
civil Española. 4. Auflage.  
Madrid 1971.

**5 6 7 14**

Herschel B. Chipp,  
Picasso's Guernica: History,  
Transformations, Meanings.  
Berkeley/Los Angeles/London  
1988.

**11**

Francisco Calvo Serraller,  
El Guernica de Picasso.  
Madrid 1999.

© Succession Picasso/  
VG Bild-Kunst, Bonn 2001.

**13**

Werner Spies,  
Kontinent Picasso:  
Ausgewählte Aufsätze  
aus zwei Jahrzehnten.  
München 1988.

## Reproduktionen:

Walter Ziegler, Fotograf,  
Institut für Kunstgeschichte,  
Universität Regensburg.

PD Dr. med. Dr. med. dent.

Rüdiger Marmulla

Dr. rer. nat.

Thoams Hirschmann

## ■ Literatur zum Thema

Rüdiger Marmulla,  
Herbert Niederfellmann,  
Computer-Assisted  
Bone Segment Navigation.  
Journal of Cranio-Maxillofacial  
Surgery 26 (1998) S. 347–359.

Rüdiger Marmulla,  
Herbert Niederfellmann,  
Surgical Planning of Computer-  
Assisted Repositioning  
Osteotomies.  
Plastic and Reconstructive  
Surgery 104 (1999) S. 938–944.

Rüdiger Marmulla,  
Computergestützte Knochen-  
segmentnavigation.  
Berlin 2000.

Rüdiger Marmulla, Tim Lüth,  
Verfahren und Vorrichtung  
zur Instrumenten- und  
Knochensegment- sowie  
Gewebe- und Organnavigation.  
Internationales Patent  
PCT/EP00/12685, 2001.

## ■ Bildnachweis

**1 2 3 4 5 6 7 8 9**

**10 11 12 13**

PD Dr. Dr. Rüdiger Marmulla,  
Klinik und Poliklinik für Mund-,  
Kiefer- und Gesichtschirurgie,  
Universitätsklinik  
Im Neuenheimer Feld 400  
69120 Heidelberg.

## Abonnement

Ich möchte **Blick in die Wissenschaft**

abonnieren:

Das Abonnement soll beginnen

(in Klammern: Preise in €, gültig ab 1.1.2002)

ab Heft Nr. ....

DM 10/einzeln DM 12 (€5,00/€6,50) pro Heft

DM 7 (€3,50) ermäßigt für Schüler, Studenten und Akademiker im Vorbereitungsdienst (mit beiliegender Bescheinigung).

Das Abonnement wird automatisch weitergeführt, wenn es nicht schriftlich beim Verlag gekündigt wird.

Datum/Unterschrift:

.....

Ich wünsche folgende Zahlungsweise:

gegen Rechnung

durch Bankeinzug

Bank:

.....

BLZ/Konto:

.....

Garantie: Ich kann diese Bestellung innerhalb von 10 Tagen schriftlich beim Verlag widerrufen.

Zur Wahrung der Frist genügt die rechtzeitige Absendung des Widerrufs.

Datum/Unterschrift:

.....

## Geschenk-Abonnement

Ich möchte **Blick in die Wissenschaft**

verschenken. Das Abonnement ab

Heft Nr. .... erhält

Name Empfänger:

.....

Anschrift:

.....

.....

Das Abonnement wird automatisch weitergeführt, wenn es nicht schriftlich beim Verlag gekündigt wird.

Datum/Unterschrift Auftraggeber:

.....

Ich wünsche folgende Zahlungsweise:

gegen Rechnung

durch Bankeinzug

Bank:

.....

BLZ/Konto:

.....

Garantie: Ich kann diese Bestellung innerhalb von 10 Tagen schriftlich beim Verlag widerrufen.

Zur Wahrung der Frist genügt die rechtzeitige Absendung des Widerrufs.

Datum/Unterschrift Auftraggeber:

.....

## Nachbestellung

zusätzlich Versandkosten

Ich wünsche folgende Zahlungsweise:

gegen Rechnung

durch Bankeinzug

Bank:

.....

BLZ/Konto:

.....

Datum/Unterschrift:

.....

Ich möchte **Blick in die Wissenschaft** nachbestellen.  
(Die Ausgaben 1–3 sind leider vergriffen.)  
Ich bestelle folgende Ausgaben gegen Rechnung:  
(in Klammern: Preise in €, gültig ab 1.1.2002)

Name/Vorname Auftraggeber:

*Bitte  
freimachen*

Anschrift:

Antwortkarte

B 13/2001

Universitätsverlag Regensburg GmbH  
Vertrieb

93066 Regensburg

Name/Vorname Auftraggeber:

*Bitte  
freimachen*

Anschrift:

Antwortkarte

B 13/2001

Universitätsverlag Regensburg GmbH  
Vertrieb

93066 Regensburg

Name/Vorname Auftraggeber:

*Bitte  
freimachen*

Anschrift:

Antwortkarte

B 13/2001

Universitätsverlag Regensburg GmbH  
Vertrieb

93066 Regensburg

apl. Prof. Dr. rer. nat.

Stefan Dove

Prof. Dr. rer. nat.

Jürgen Heinze

Prof. Dr. rer. nat.

Rüdiger Schmitt

Dr. rer. nat.

Birgit Scharf

## ■ Literatur zum Thema

Hans-Joachim Böhm,  
Gerhard Klebe, Hugo Kubinyi,  
Wirkstoffdesign.  
Heidelberg 1996.

Richard B. Silverman,  
Medizinische Chemie für  
Organiker, Biochemiker und  
Pharmazeutische Chemiker.  
Weinheim 1995.

Hans-Dieter Höltje,  
Gerd Folkers,  
Molecular Modeling – Basic,  
Principles and Applications  
Methods and Principles in  
Medicinal Chemistry, Volume 5.  
Hrsg. Raimund Mannhold,  
Hugo Kubinyi,  
Hendrik Timmerman.  
Weinheim 1996.

Stefan Dove, Armin Buschauer,  
Imidazolylpropylguanidines  
as Histamine H<sub>2</sub> Receptor  
Agonists: 3D-QSAR of a Large  
Series.  
Pharmaceutica Acta Helveticae  
73 (1998) S. 145–155.

Stefan Dove, Armin Buschauer,  
Improved alignment by  
weighted field fit in CoMFA of  
histamine H<sub>2</sub> receptor agonistic  
imidazolylpropylguanidines.  
Quantitative Structure-Activity  
Relationships 18  
(1999) S. 329–341.

## ■ Bildnachweis

**1** **2** **3** **5** **6** **7**  
Autor unter Verwendung  
der Software SYBYL 6.7  
(Tripos Inc.) auf einer Silicon  
Graphics Octane Workstation.

**2**  
*nach:*  
Hans-Joachim Böhm,  
Gerhard Klebe, Hugo Kubinyi,  
Wirkstoffdesign.  
Heidelberg 1996, Abb. 27.8,  
auf Basis der Röntgen-  
kristallstruktur 1HVR der  
HIV-Protease aus der  
Brookhaven Protein Datenbank.

**4**  
Autor.

## ■ Literatur zum Thema

Andrew Bourke, Nigel Franks,  
Social evolution in ants.  
Princeton, N. J. 1995.  
Jürgen Heinze,  
Die Genetik von  
Kooperation und Konflikt.  
In: Aufbruch der Biowissen-  
schaften,  
Verein Deutscher Biologen,  
Jahrestagung Münster  
(2000) S. 180–187.

Jürgen Heinze, Bert Hölldobler,  
Christian Peeters,  
Cooperation and conflict  
in ant societies.  
Naturwissenschaften 81  
(1994) S. 489–497.

Jürgen Heinze, Laurent Keller,  
Alternative reproductive  
strategies – a queen perspective  
in ants.  
Trends in Ecology & Evolution 15  
(2000) S. 508–512.

Bert Hölldobler,  
Edward O. Wilson,  
The ants.  
Cambridge, Mass. 1990.

## ■ Bildnachweis

**1** **2** **5** **6**  
*Infografik:*  
Stephan Riedlberger  
für Atelier Irmgard Voigt,  
München.

**3** und Bild Seite 29  
*Fotografie:*  
Autor.

Prof. Dr. rer. nat.

Rüdiger Schmitt

Dr. rer. nat.

Birgit Scharf

## ■ Bildnachweis

**1**  
Dr. rer. nat. Reinhard Rachel,  
Institut für Biochemie, Genetik  
und Mikrobiologie,  
Universität Regensburg.

**2**  
Dr. rer. nat. Klaus Stark,  
Institut für Biochemie, Genetik  
und Mikrobiologie,  
Universität Regensburg.

Prof. Dr. rer. nat.  
Andreas Schäfer

■ Literatur zum Thema

Klaus Rith, Andreas Schäfer,  
The mystery of the nucleon spin,  
Scientific American 281  
(1999) S. 42 und  
Spektrum der Wissenschaft 9  
(1999) S. 28.

Bogdan Povh, Klaus Rith,  
Christoph Scholz, Frank Zetsche,  
Teilchen und Kerne,  
Berlin/Heidelberg/New York  
1997.

Anthony W. Thomas,  
Wolfram Weise,  
The Structure of the Nucleon,  
Berlin 2001.

■ Bildnachweis

1 nach: Autor.

Infografik:  
Stephan Riedlberger  
für Atelier Irmgard Voigt,  
München.

2 3 DESY Deutsches Elektronen-  
Synchroton,  
Hamburg.  
{<http://www.desy.de>}

4 Bayerische Akademie  
der Wissenschaften,  
München.  
{<http://www.badw.de>}

Prof. Dr. phil.  
Stephan Bierling

■ Literatur zum Thema

Stephan Bierling,  
Vom atlantischen zum pazifi-  
schen Zeitalter? Zur Bedeutung  
Europas und Asiens für die  
amerikanische Wirtschaft.  
In: Reinhard Meier-Walser  
(Hrsg.), Die Zukunft der trans-  
atlantischen Beziehungen.  
München 1997, S. 125–137.

Stephan Bierling,  
Die Latinos in der  
amerikanischen Außenpolitik.  
Internationale Politik 9  
(2001) S. 39–44.

Rodolfo O. de la Garza,  
Harry Pachon (Hrsg.),  
Latinos and U.S. Foreign Policy.  
Representing the 'Homeland'?  
Lanham u. a., 2000.

Juan Gonzalez,  
Harvest of Empire:  
A History of Latinos in America.  
New York 2000.

■ Bildnachweis

1 2 3 United States Department  
of Commerce.  
(Zahlen gerundet)

■ Seite 45  
Nic Paget-Clarke,  
NPC-Productions,  
San Diego, CA.  
{[www.inmotionmagazine.com](http://www.inmotionmagazine.com)}

■ Seite 46  
White House Photo,  
Paul Morse.  
{<http://www.whitehouse.gov/news/releases/2001/03/images/20010329.html>}

4 5 Census Bureau.  
■ Seite 47  
White House Photo,  
David Scull.  
{<http://www.whitehouse.gov/news/images/taxrose.html>}

## 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
- Beiladungen in alle Richtungen
- Möbellagerung in sauberen Räumen
- Küchenkomplettmontagen - Möbelmontage
- Entrümpelung, Sperrmüll- und Altmöbelentsorgung

[www.roehrl-umzuege.de](http://www.roehrl-umzuege.de) Für uns heißt Umziehen nicht nur transportieren Kontakt@roehrl-umzuege.de

Prof. Dr. phil.  
Jürgen Schmude

Prof. Dr. phil.  
Edith Feistner

## ■ Literatur zum Thema

Martin Spantig,  
Fahrradtourismus an der Donau:  
Eine empirische Erhebung  
als Planungsgrundlage  
für das EU-Leader-II-Projekt  
Via Danubia.  
In: *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft München*,  
84 (1999) S. 201–214.

Andreas Wüstefeld,  
Fahrradtourismus – eine  
Aufgabe für das Regional-  
marketing.  
In: *Geographische Rundschau*,  
2 (2000) S. 16–20.



Die Broschüre  
»Via Danubia: Rädeln auf den  
Spuren der Römer«  
ISBN 3-931944-64-6  
ist für DM 14,80/ € 7,57  
im Buchhandel erhältlich  
oder beim  
Galli Verlag  
Am Steinberg 1  
86558 Hohenwart  
Tel. (084 43) 89 16  
Fax (084 43) 89 17  
oder beim  
Gäste-Info Deggendorfer Land  
Herrenstraße 18  
94469 Deggendorf  
Fax (09 91) 89 00.

## ■ Bildnachweis

**1 6 7**  
*Infografik:*  
Stephan Riedlberger  
für Atelier Irmgard Voigt,  
München.

**2**  
*Archäologische  
Staatssammlung*,  
München.

**3**  
*Fotografie:*  
PD Dr. Michael Rind,  
Kreisarchäologie,  
Kelheim.

**4 5**  
*Infografik:*  
Stephan Riedlberger  
für Atelier Irmgard Voigt,  
München,  
*nach:*  
Farbwerk Grafik-Design,  
München.

**8 9**  
*Gestaltung:*  
Farbwerk Grafik-Design,  
München.

**10**  
*Wandkarte:*  
Stephan Riedlberger  
für Atelier Irmgard Voigt,  
München.

## ■ Literatur zum Thema

**1**  
Brüder Grimm,  
Kinder- und Hausmärchen.  
Ausgabe letzter Hand  
mit den Originalanmerkungen  
der Brüder Grimm,  
hrsg. von Heinz Rölleke,  
3 Bände.  
Stuttgart 1993.

**2**  
Hans-Peter Ecker (Hrsg.),  
Legenden: Heilengeschichte  
vom Altertum bis zur  
Gegenwart.  
hrsg. von Wolfgang Braunfels.  
Stuttgart 1999.

**3**  
Edith Feistner,  
Historische Typologie  
der deutschen Heiligenlegende  
des Mittelalters von  
der Mitte des 12. Jahrhunderts  
bis zur Reformation.  
Wiesbaden 1995.

**4**  
Edith Feistner,  
Die Freundschaftserzählungen  
vom Typ »Amicus und Amelius«.  
In: *Festschrift für Herbert Kolb*  
zum 65. Geburtstag,  
hrsg. von Klaus Matzel und  
Hans-Gert Roloff.  
Bern/Frankfurt/New York/Paris  
1989, S. 97–130.

**5**  
Edith Feistner,  
Legende, Märchen, Legenden-  
märchen: Zur Interdependenz  
von Gattungspragmatik und  
Gattungsmischung.  
Zeitschrift für deutsches Alter-  
tum und deutsche Literatur 130  
(2001) S. 253–269.

**6**  
Max Lüthi,  
Märchen. 9., durchgesehene  
und ergänzte Auflage,  
bearbeitet von Heinz Rölleke.  
Stuttgart/Weimar 1996.

**7**  
Paul Watzlawick,  
Wie wirklich ist die  
Wirklichkeit? Wahn,  
Täuschung, Verstehen.  
26. Auflage. München 2000  
(Erstaufgabe 1976).

## ■ Bildnachweis

**1**  
Hilkert Weddige,  
Mittelhochdeutsch:  
Eine Einführung.  
4. Auflage.  
München 2001, S. 83.

**2**  
Lexikon der christlichen  
Ikonographie.  
Bd. 8. Ikonographie der  
Heiligen,  
hrsg. von Wolfgang Braunfels.  
Freiburg/Breisgau 1976,  
S. 359.

**3**  
Gabriele Seitz,  
Die Brüder Grimm:  
Leben – Werk – Zeit.  
München 1984, S. 87.

**4**  
Gerold Hayer,  
Konrad von Megenberg,  
»Das Buch der Natur«.  
Untersuchungen zu seiner Text-  
und Überlieferungsgeschichte.  
Tübingen 1998 (= Münchener  
Texte und Untersuchungen  
zur deutschen Literatur des  
Mittelalters, Bd. 110),  
Abb. 11 im Anhang.

**5**  
Szene aus dem Zeichentrickfilm  
»The Last Unicorn«, 1982  
([http://magicfields.de/pic\\_18.htm](http://magicfields.de/pic_18.htm)).

**6**  
Rüdiger R. Beer,  
Einhorn:  
Fabelwelt und Wirklichkeit.  
München 1972, S. 107.

**7**  
siehe **5** S. 10.

**8**  
Gottfried W. Leibniz,  
Opera Omnia,  
ed. Ludovicus Dutens.  
Bd. 1. Theologica.  
Nachdruck der Ausgabe  
Genf 1768.  
Hildesheim/Zürich/New York  
1989, Tab. XII im Anhang.

**9**  
Szene aus dem Zeichentrickfilm  
»The Last Unicorn«, 1982  
([http://magicfields.de/pic\\_18.htm](http://magicfields.de/pic_18.htm)).

**10**  
*Reproduktionen:*  
Walter Ziegler, Fotograf,  
Institut für Kunstgeschichte,  
Universität Regensburg.

# 14

Vorschau 14

## ■ Essay

Prof. Dr. Wolfgang Wiegard

### Wer hat Angst vor'm fremden Mann?

Probleme der Zuwanderung nach der EU-Osterweiterung

Prof. Dr. Hans-Henning Kortüm

### Schlachten - Sterben - Stereotypen

Eine Regensburger Forschergruppe untersucht den 'Krieg im Mittelalter'

Prof. Dr. Reinhard Andreesen

### Regeneration im Reagenzglas

Stammzellen: Transplantation von Blutbildung und Immunsystem

Prof. Dr. Roswitha Fischer

### Die Etikette der Gleichheit

Zu *political correctness* im englischen Sprachgebrauch

Prof. Dr. Claudia Steinem

### Die Masse macht

Mikrogravimetrische Sensoren in der Bioanalytik

Prof. Dr. Peter Hegemann

### Grüne Fabriken für die Zukunft

Produktion medizinisch relevanter Bioproducte in Mikroalgen

Prof. Dr. Hans Rott

### Wie man seine Meinung ändert

Logik und Ökonomie in der Revision von Theorien

Prof. Dr. Hans Jürgen Becker

### Der Kongress tanzt

- noch nicht

Der Reichsdeputations-hauptschluss zu Regensburg 1803 als Wendepunkt der europäischen Geschichte

## ■ Blickpunkt

Prof. Dr. Michael Landthaler

### Bleiben Jugendsünden für immer?

Die Entfernung von Tätowierungen mit Lasern

Schriftenreihe  
der  
Universität Regensburg

**U.R.**

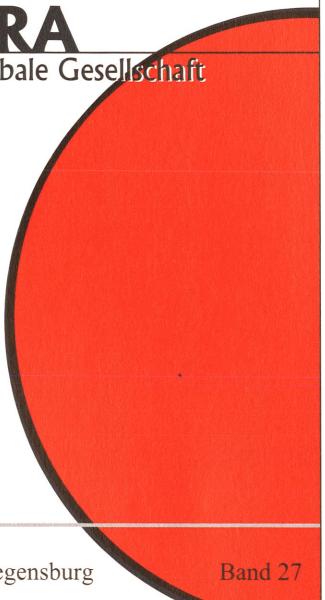
Schriftenreihe der Universität Regensburg

**U.R.**

Clemens Kauffmann (Hrsg.)

# RISUTORA

Japans Weg in die globale Gesellschaft



Universitätsverlag Regensburg

Band 27

Clemens Kauffmann (Hrsg.)

# Risutora

Japans Weg in die globale Gesellschaft

Schriftenreihe der Universität Regensburg 27

Herausgegeben vom Rektor der Universität Regensburg

Im Buchhandel oder über Bestell-Hotline 0800 / 33 44 33 0

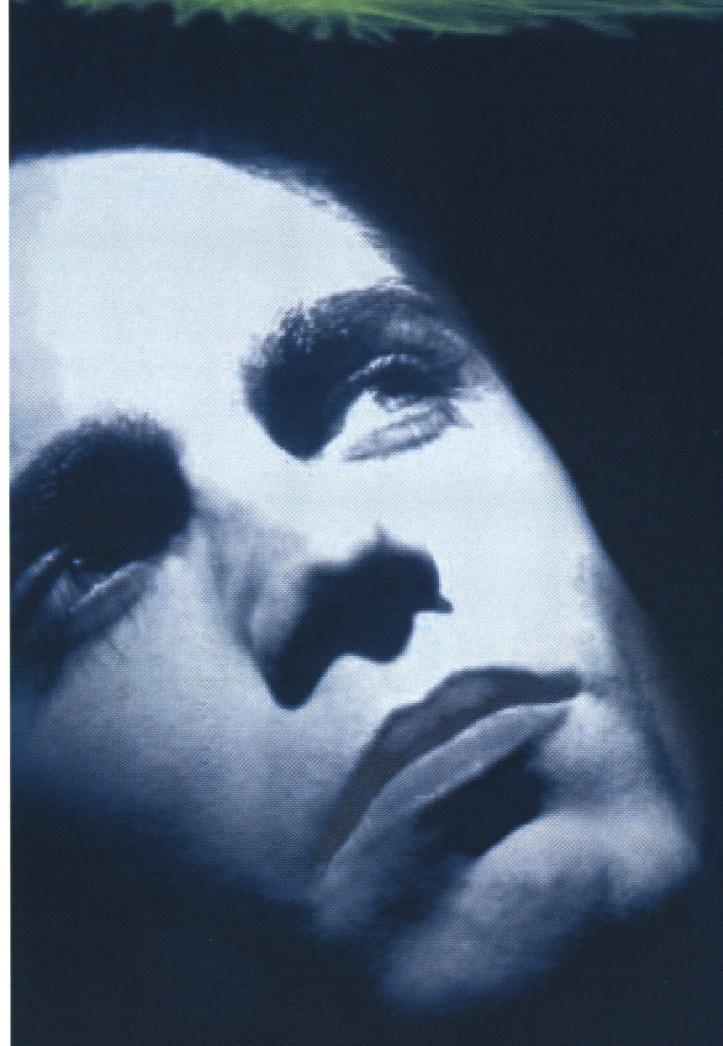
UNIVERSITÄTSVERLAG REGENSBURG [www.uni-verlag-rgb.de](http://www.uni-verlag-rgb.de)  
176 Seiten ISBN 3-930480-44-1 DM 39,80 ab 1. 1. 2001 € 20,-

Deutsche und japanische Experten beleuchten Japans Befindlichkeit zu Beginn des neuen Jahrhunderts. Sie analysieren mit Blick auf die deutsch-japanischen Beziehungen die aktuelle Lage der Innenpolitik und der Wirtschaft, die gegenwärtige Entwicklung des gesellschaftlichen wie kulturellen Selbstverständnisses und formulieren den Standort Japans im System der internationalen Beziehungen. Daraus ergibt sich ein schlüssiges Bild von Japans Zielen im 21. Jahrhundert.

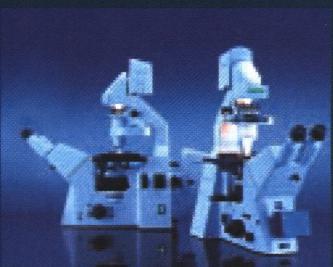
**U.R.**

Schriftenreihe  
der  
Universität Regensburg

**Es gibt wieder etwas  
zu entdecken.**



**Axiovert 200. Der neue  
Maßstab in der inversen Mikroskopie.**



Carl Zeiss · Mikroskopie  
D-37030 Göttingen  
Tel.: 0551/50 60 66 0  
Fax: 0551/50 60 46 4  
mikro@zeiss.de  
www.zeiss.de



# IT-Karriereleiter!

**MobilCom und ihre Tochterunternehmen bieten Ihnen in den unterschiedlichsten Geschäftsfeldern vielfältige Herausforderungen.**

MobilCom ist auf dem Weg in eine neue Dimension. Zusammen mit unserem Partner France Telekom sind wir nun Multimedia-Netzbetreiber. Unserer Vision, Vorreiter der deutschen Telekommunikationsunternehmen bei Multimedia/UMTS zu werden, sind wir mit der Ersteigerung der UMTS-Lizenz einen bedeutenden Schritt näher gekommen.

Wachsen Sie mit uns in einem der dynamischsten Märkte der Gegenwart und Zukunft!

Für unsere Standorte in **Büdelsdorf, Hallbergmoos** bei **München, Erfurt** und **Karlstein** suchen wir leistungsstarke und qualifizierte Mitarbeiter für die unterschiedlichsten IT-Berufsfelder:

- **Data Warehouse**
- **Software-Entwicklung**
- **Mediation Device**
- **Security**
- **Quality Management**
- **Projektmanagement**
- **Produktion/Applikation**
- **Billing**
- **LAN/WAN/NOC**
- **Client Management**
- **Finance & Logistik (JDE OneWorld)**
- **Technik (Funk- und Festnetztechnik, Netzbetrieb, Netzaufbau)**

Wenn Sie Ihr Studium in den Fachrichtungen Informatik, Wirtschaftsinformatik, Mathematik/Wirtschaftsmathematik oder Betriebswirtschaft erfolgreich absolviert haben, dann sind Sie bei uns genau richtig.

Zudem bieten wir Studenten in den oben genannten Fachrichtungen Praktikums- und Diplomanden-Arbeitsplätze an.

Sie erhalten bei uns die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Weiterentwicklung sowie interessante Sozialleistungen. Es erwarten Sie außerdem eine moderne Bürotechnik, hervorragende Infrastrukturen sowie ein dynamisches, teamorientiertes Umfeld in einer zukunftsträchtigen Branche.

Im Internet, unter [comm.mobilcom.de](http://comm.mobilcom.de), erfahren Sie noch mehr über uns und unsere Tochterfirmen. Haben wir Ihr Interesse geweckt? Dann freuen wir uns auf die Zusendung Ihrer vollständigen und aussagekräftigen Bewerbungsunterlagen unter Angabe Ihrer Gehaltsvorstellung und des frühestmöglichen Eintrittstermins an folgende Adresse:

**Cellway Kommunikationsdienste GmbH**  
- eine Tochter der MobilCom AG -  
Petra Scharf, Personalreferentin  
Lilienthalstraße 4 · 85399 Hallbergmoos  
E-mail: [personal@cellway.de](mailto:personal@cellway.de)

**Cellway** 