



Essay

Ein Abschied ohne Ende?

100 Jahre Bürgerliches Gesetzbuch

Neurologie

Neue Nervenzellen

Zellersatz und Regeneration im Gehirn

Katalyse

Und läuft und läuft und läuft

Katalysatoren:
Schwerarbeiter in Chemie und Biologie

Altdeutsche Malerei

Neues zu Altdorfer

Die Bildtafel »Die beiden Johannes«
und ihr Stifter Johannes Trabolt († 1505)

Blickpunkt

Albrecht Dürers Landschaftsaquarelle

»so ist die kunst verborgen on den gebrauch.
Darumb muß es beieinander sein ...«

Feuersteinbergbau

Auf der Suche nach dem »Stahl der Steinzeit«

Ausgrabungen im
Feuersteinbergwerk von Abensberg

Zelluläre Immuntherapie

Mobilisierung im Reagenzglas

Hitze-Schock-Proteine
als Angriffspunkte für Natürliche Killerzellen

Computersicherheit

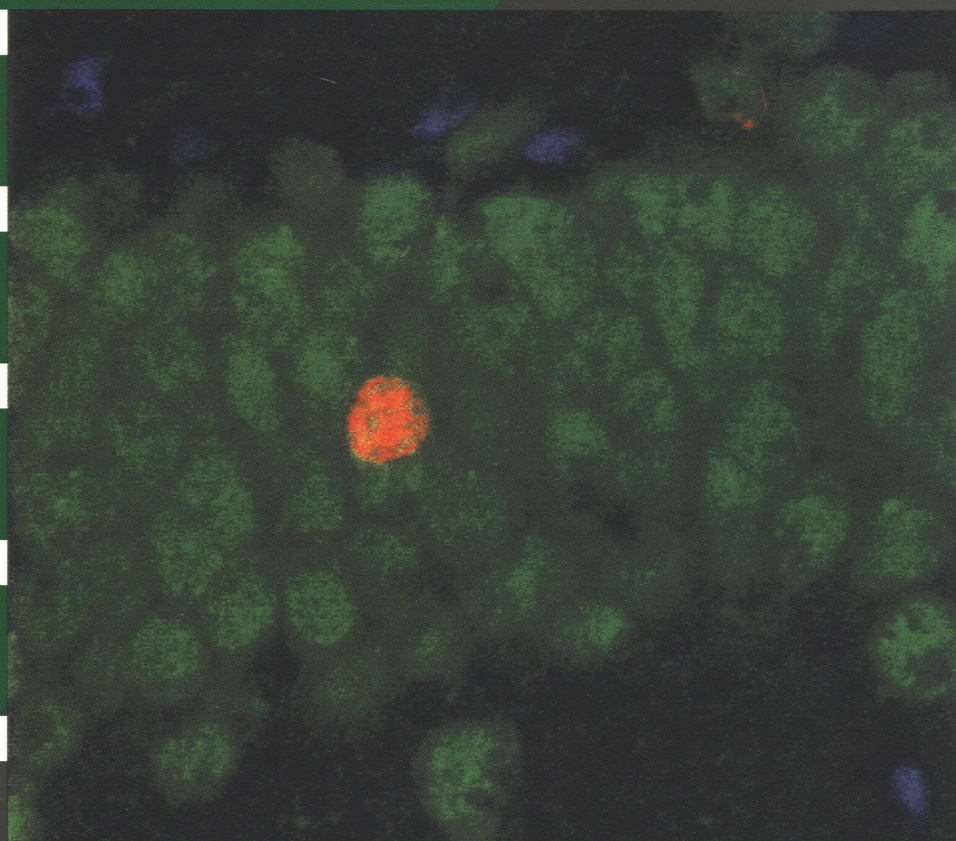
Passwort ade

Benutzerauthentisierung anhand des Tippverhaltens

Lehr-Lern-Forschung

Hilft Angst beim Lernen?

Leistungsempfinden in Schule und Studium



Neurologie

*Farbig markiert:
eine im Erwachsenenalter
neu gebildete
Nervenzelle – gibt
es ihn doch,
den »Jungbrunnen«
im Gehirn?*

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.

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

Herausgeber

Prof. Dr. rer. nat. Helmut Altner
Rektor der Universität Regensburg

Redaktionsbeirat

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 Traeger

Universität Regensburg
93040 Regensburg
Telefon (0941) 943-23 00
Telefax (0941) 943-33 10

Verlag

Universitätsverlag
Regensburg GmbH
93066 Regensburg
Telefon (0941) 207-433
Telefax (0941) 207-199
Geschäftsführung:
Peter Esser
Verlagsleitung:
Dr. Konrad M. Färber
(verantwort. für Inhalt und Anzeigen)
Lektorat:
Dr. Gerd Burger

**Vertrieb und
Abonnementverwaltung**

Zeitungs-Zustellung KG
93066 Regensburg
Telefon (0941) 207-234
Telefax (0941) 207-430

Anzeigenverwaltung

Mittelbayerische
Werbe-gesellschaft KG
i. A. Mathias Ott
93066 Regensburg
Telefon (0941) 207-308
Telefax (0941) 207-102
(Anzeigenpreisliste Nr. 99/1)

Herstellung

DONAU DRUCK
Regensburg GmbH

Druckvorstufe

Layoutsatz 2000, München

Gestaltung

Irmgard Voigt, München

Papier

MD Bavaria matt

Auflage 6 000

Erscheint jährlich Mitte November.

Einzelpreis DM 12

Jahresabonnement DM 10

ermäßigt DM 7

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

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

Autorenportraits

Uwe Moosburger, Regensburg

Titelfoto

Mit dem konfokalen Laser-
mikroskop aufgenommen:
neugeborene Nervenzelle
im erwachsenen Gehirn.
Dr. med. Gerd Kempermann,
Neurologische Universitätsklinik,
Regensburg.

*Die etablierte neurologische Lehrmeinung ging davon aus,
dass im erwachsenen Gehirn keine neuen Nervenzellen mehr
gebildet werden; neueste Forschungsergebnisse beweisen
jedoch, dass dies in zwei speziellen Hirnregionen sehr wohl
passiert. Ist hiermit jetzt eine Art 'Jungbrunnen im Gehirn'
gefunden, der eines Tages zur Behandlung neurologischer
Erkrankungen wie der Parkinsonschen oder der Alzheimerschen
eingesetzt werden könnte?
An der Regensburger Universitätsklinik forschen zwei Arbeits-
gruppen zu diesem Themenkomplex.*

PLUMPE REKLAME? Die Expo 2000 in Hannover war und ist ein
viel diskutiertes Ereignis. Dass die Besucher ausblieben, ist natürlich prekär.
Aber vielleicht ist auch anderes bedenklich. Eine große deutsche Wochen-
zeitung hatte kritisiert, wie sich die Wissenschaft auf der Expo darstellte.
Dem Verband der chemischen Industrie wird vorgeworfen, er verwechsle
»die Popularisierung von Wissenschaft mit plumper Reklame«. Aber auch
andere bekommen schlechte Noten. Der Max-Planck-Gesellschaft wird ins
Stammbuch geschrieben: »Für eine verständliche Aufbereitung fehlte die Zeit
(und bei manchem Institutsdirektor auch die Einsicht, dass Öffentlichkeits-
arbeit notwendig ist). So muss sich das Publikum selbst zusammenreimen,
was es von der Forschung zu halten hat.« Und so geht es weiter im Bericht
der ZEIT.

Ob es eine einzelne, noch dazu kleinere Universität mit ihrem Forschungs-
magazin eher schafft, neue Erkenntnisse verständlich zu vermitteln, und
ihren Lesern Wissenschaft nahe zu bringen, ohne Risiken zu verschweigen
und damit zur Urteilsfähigkeit hinzuführen?

Wir haben es mit diesem Heft einmal mehr versucht. Ein fachlich bunt
zusammengesetztes Redaktionsteam, das nach dem Motto »jeder liest (und
kritisiert) jedes« agiert, hat vielleicht die Chance, die Manuskripte in enger
Wechselwirkung mit den Autoren so durchzukneten, dass *Blick in die
Wissenschaft* nicht befürchten muss, mit der »goldenen Zitrone für Frucht-
losigkeit« ausgezeichnet zu werden, die die ZEIT den Organisatoren des
Wissenschaftsprogramms der Expo zuerkennen möchte.

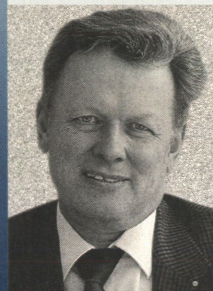
An den Themen jedenfalls sollte es nicht liegen. Der Bogen spannt
sich in unserer neuen Ausgabe von bemerkenswerten Erkenntnissen über
eine Bildtafel des Malers Albrecht Altdorfer bis zu den Stammzellen im
Nervensystem, die zwar nicht ewige Jugend verheißen, aber doch eine
bedeutsame Regenerationsfähigkeit; von einem Einblick in die Wirkung
von Katalysatoren bis zu der Frage, ob Angst beim Lernen abträglich
oder nützlich ist. Und wenn das Bürgerliche Gesetzbuch und die englische
Königinmutter 100 Jahre alt werden, ist ersteres für uns ein Anlass, einen
Blick zurückzuwerfen. Ohne Zorn, wie unser Essay zeigt.

Herausgeber, Redaktionsbeirat und Autoren hoffen, den richtigen Ton
gefunden zu haben. »Wie gewinnt man die Weltmeisterschaft der Wissens-
vermittlung? Mit der richtigen Mischung aus Werbung, Show und Inhalt.«
Ob die ZEIT damit Recht hat?

Editorial

**Helmut
Altner**

Prof. Dr. Helmut Altner
Rektor
der Universität Regensburg
Herausgeber

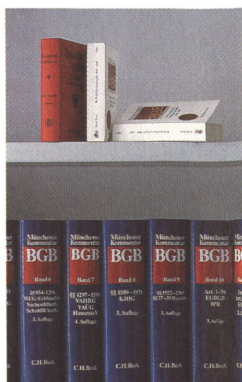


Blick in die Wissenschaft

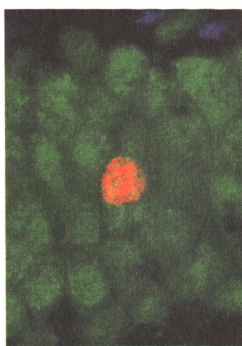
Forschungsmagazin der
Universität Regensburg
9. Jahrgang

12

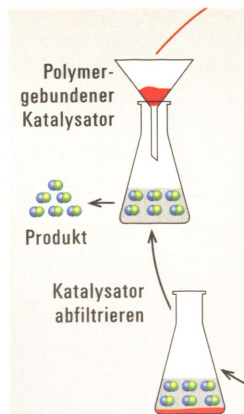
2000



Essay



Neurologie



Katalyse



Altddeutsche Malerei

Ein Abschied ohne Ende? 100 Jahre Bürgerliches Gesetzbuch

Seite 4

Langlebig trotz zahlreicher Anfeindungen und selbst auf dem Weg zum europäischen Privatrecht in seiner Existenz nicht gefährdet – das BGB ist ein munterer Jubilar, auch wenn um seinen hundertsten Geburtstag kaum Aufhebens gemacht wird.

Neue Nervenzellen Zellersatz und Regeneration im Gehirn

Seite 10

Entgegen der früheren Lehre entstehen auch im erwachsenen Gehirn noch neue Nervenzellen; für viele neurologische Erkrankungen könnte diese Entdeckung ganz neue Therapieoptionen eröffnen.

Und läuft und läuft und läuft Katalysatoren: Schwerarbeiter in Chemie und Biologie

Seite 14

Arzneimittel, Lacke, Halbleiter, Reinigung von Autoabgasen: All das braucht Katalysatoren. Ökonomie wie Ökologie erfordern die Verbesserung bewährter Verfahren und die Entwicklung neuer, multifunktionaler Katalysatoren.

Neues zu Altdorfer Die Bildtafel »Die beiden Johannes« und ihr Stifter Johannes Trabolt (†1505)

Seite 20

In einer Handschrift aus dem Kloster St. Emmeram wurden Verse entdeckt, die eine Identifizierung des Stifters und neue Erkenntnisse zum ikonographischen Programm dieses Gemäldes ermöglichen.

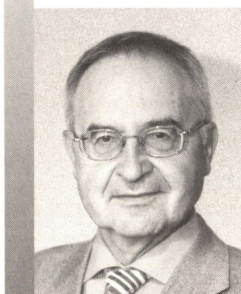
Peter Kreitmeier
Akad. Rat
Organische Chemie



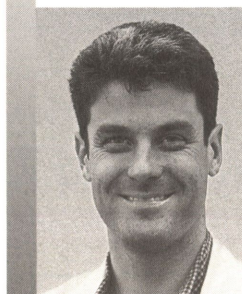
Heidrun Stein-Kecks
Professorin für
Kunstgeschichte



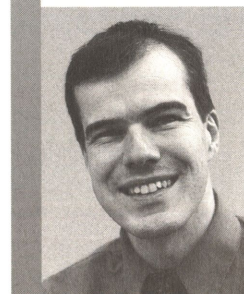
Dieter Schwab
Professor für
Bürgerliches Recht und
Deutsche Rechtsgeschichte



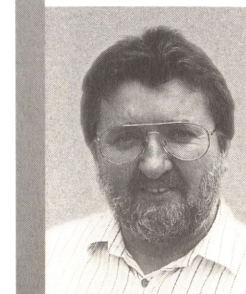
Gerd Kempermann
Wiss. Assistent
Neurologie

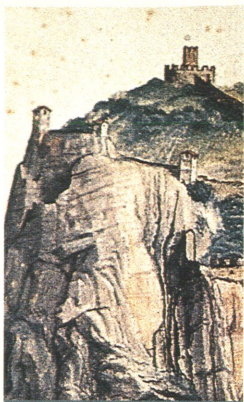


Oliver Reiser
Professor für
Organische Chemie



Franz Fuchs
Professor für
Geschichte





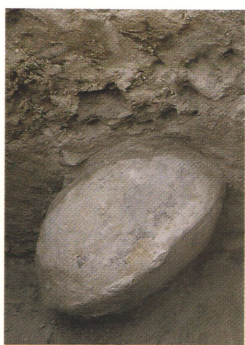
Blickpunkt

Albrecht Dürer Landschaftsaquarelle

»so ist die kunst verborgen
on den gebrauch. Darumb
muß es beyeinander sein ...«

Seite 30

Anhand der berühmten
Ansicht des Burgbergs der
Stadt Arco wird exemplarisch
aufgezeigt, wie virtuos Dürer
Abbildtreue, Proportions-
lehre und Bildkomposition
zu vereinen verstand.



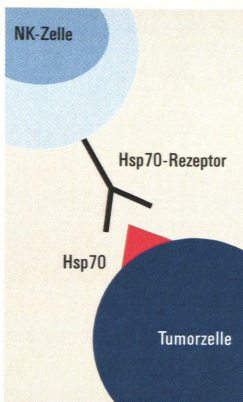
Feuersteinbergbau

Auf der Suche nach dem »Stahl der Steinzeit«

Ausgrabungen im Feuerstein-
bergwerk von Abensberg

Seite 32

In einer Kiesgrube wurden
mehr als hundert uralte
Schächte entdeckt: für die
Archäologen der Beweis dafür,
dass dort schon vor rund
6 500 Jahren wertvoller
Rohstoff für Werkzeuge und
Waffen abgebaut wurde.



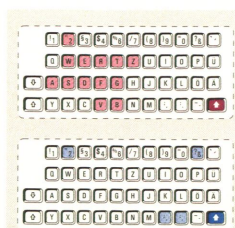
Zelluläre Immuntherapie

Mobilisierung im Reagenzglas

Hitze-Schock-Proteine
als Angriffspunkte
für Natürliche Killerzellen

Seite 42

Noch immer ist der Krebs
unbesiegt – in Regensburg
wird jetzt ein neues Modell
für den Einsatz körper-
eigener Abwehrzellen klinisch
erprobt: die »multiple Im-
mun-stimulation«.

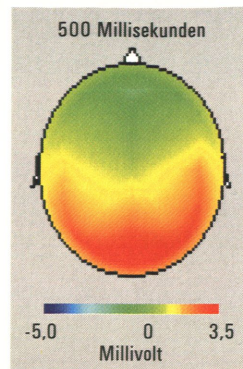


Computersicherheit

Passwort ade Benutzerauthentisierung anhand des Tippverhaltens

Seite 48

Passwort vergessen oder
aber von Unbefugten für
dunkle Zwecke missbraucht?
Diese Sicherheitslücken
könnten dank biometrischer
Verfahren schon bald
geschlossen werden.



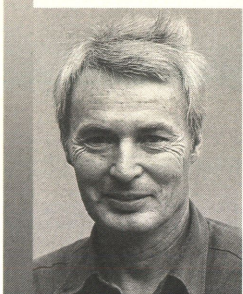
Lehr-Lern-Forschung

Hilft Angst beim Lernen? Leistungsemotionen in Schule und Studium

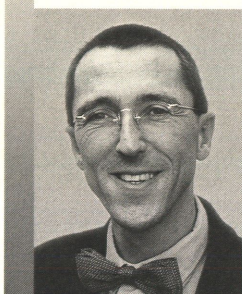
Seite 56

Prüfungsangst und Lei-
stungsdruck können lähmen
oder aber beflügeln. Welche
Gefühle erleben Schüler und
Studierende beim Lernen,
wie lassen sich diese messen
und welche Auswirkungen
sind nachweisbar?

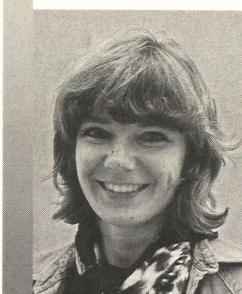
Hermann Leber
Professor für
Kunsterziehung



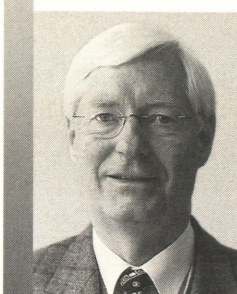
Michael M. Rind
Privatdozent
Vor- und Frühgeschichte



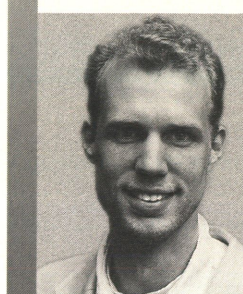
Gabriele Multhoff
Privatdozentin
Immunologie



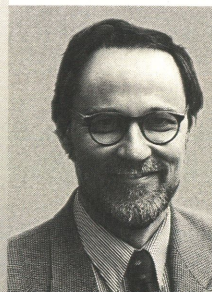
Dieter Bartmann
Professor für
Wirtschaftsinformatik



Wolfram Titz
Wiss. Assistent
Psychologie



Reinhard Pekrun
Professor für
Psychologie



Ein Abschied ohne Ende?

100 Jahre Bürgerliches Gesetzbuch

Essay

Am 25. Januar 1937 hielt der Staatssekretär im Reichsjustizministerium Dr. Franz Schlegelberger an der Universität Heidelberg einen Vortrag unter dem Titel »Abschied vom BGB«. Schlegelberger unterzog darin das Bürgerliche Gesetzbuch einer grundsätzlichen Kritik. Er sah das Gesetzbuch durch einen übersteigerten Individualismus gekennzeichnet. Er hielt ihm eine unzureichende Beachtung der »Lebensgüter« wie Persönlichkeit und Ehre, Ehe, Familie und Kindeswohl gegenüber Geld und Gut vor (»wie für ein Krämervolk geschrieben«). Schlegelberger übte auch Kritik an Stil und Sprache: »Das BGB ist ein Gesetzbuch der Konstruktionen und Abstraktionen«, eher ein Lehrbuch, das auf Volksnähe verzichte und sich nur an die Juristen wende. Der Staatssekretär legte zudem dar, dass auch Inhalt und System des Gesetzbuchs nicht den nationalsozialistischen Vorstellungen entsprächen, und verlangte die Ablösung des BGB. »Glücklich« konnte er am Ende seiner Rede mitteilen: »Der Führer und Reichskanzler hat sich ... damit einverstanden erklärt, daß das Reichsjustizministerium die Erneuerung des gegenwärtig im Bürgerlichen Gesetzbuch geregelten Rechts alsbald in Angriff nimmt ...«. Schlegelbergers Vortrag stand in einer Linie mit den Forderungen vieler dem Nationalsozialismus dienender Rechtslehrer, das Bürgerliche Gesetzbuch durch eine neue Gesetzgebung zu überwinden.

Aus dem Abschied vom BGB unter dem NS-Regime ist freilich nichts geworden. Das Gesetzbuch überlebte das »Dritte Reich«. Die Arbeiten an einem »Volksgesetzbuch« kamen über kümmerliche Teilentwürfe nicht hinaus, und nur einige Partien des Eherechts wurden 1938 im Zusammenhang mit dem Anschluss Österreichs aus dem BGB ausgegliedert und in einem »Ehegesetz« neu geregelt.

Der Ruf nach der Abschaffung des Bürgerlichen Gesetzbuchs wurde im »Dritten Reich« nicht zum ersten Mal laut, und es sollte auch nicht das letzte Postulat dieser Art sein. Vielmehr sieht sich das Gesetzbuch von Anfang an und durch das gesamte 20. Jahrhundert hindurch Anfeindungen ausgesetzt, die bei allen Unterschieden des politisch-ideologischen Hintergrundes in vielem miteinander korrespondieren.

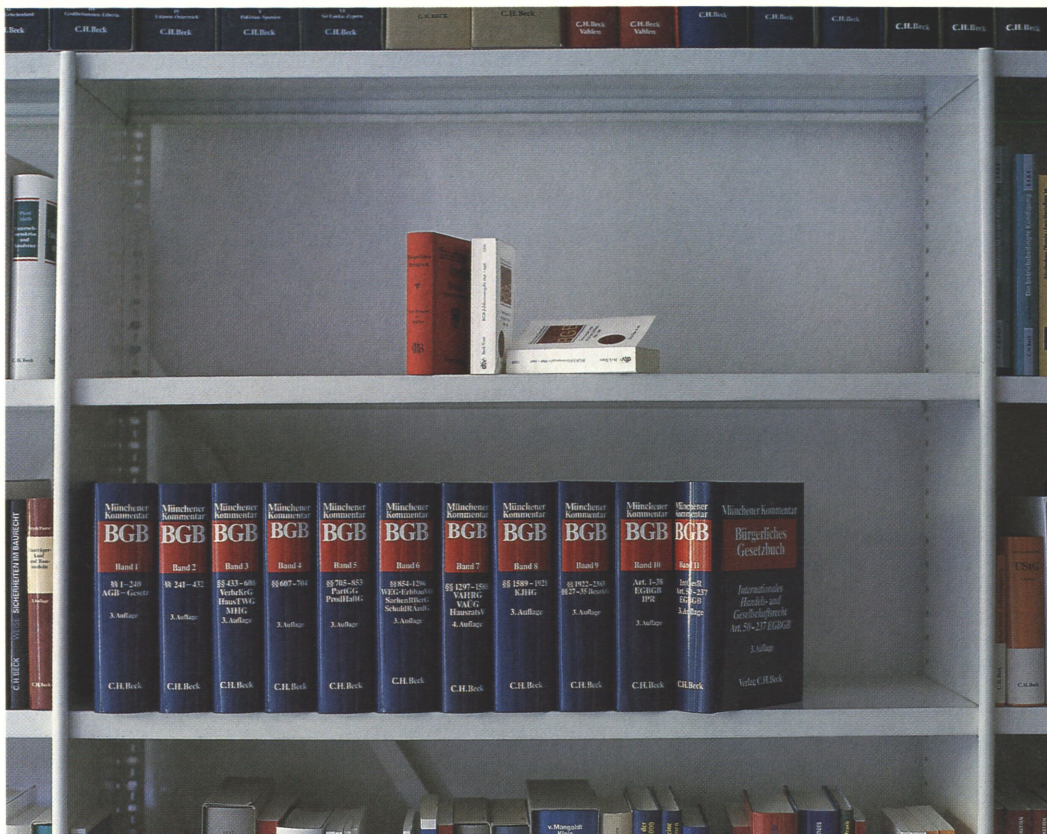
Zur Entstehung und Bedeutung des BGB

Das BGB vom 18. August 1896, in Kraft seit 1. Januar 1900, ist ein Produkt des aus dem deutsch-französischen Krieg von 1870/1871 hervorgegangenen »Zweiten Kaiserreichs«. Seine Bedeutung liegt vordergründig in der Herstellung der deutschen Rechtseinheit, mit der eine zentrale nationalstaatliche Forderung erfüllt wurde. Vorausgegangen war die Schaffung des Reichsstrafgesetzbuchs vom 15. Mai 1871 und der Zivilprozessordnung vom 30. Januar 1877. Auch die schon zur Zeit des Deutschen Bundes angebahnte Rechtseinheit im Handelsrecht fand mit dem Handelsgesetzbuch vom 10. Mai 1897 seine Vollendung. Mit diesen Gesetzbüchern verfügte das Deutsche Reich auf den wichtigsten Rechtsgebieten über einheitliches und kodifiziertes Recht. Der Bau dieses Rechts hat über alle politischen Katastrophen und Veränderungen hinweg die Zeiten bis heute überstanden.

Um die Bedeutung der Gesetzbücher zu begreifen, muss man sich die juristische Landkarte vor 1900 vor Augen führen. In Deutschland galt noch im 19. Jahrhundert eine kaum überschaubare Vielzahl regionaler Rechte. Die Zivilgesetzstatistik von Joseph Peißl (1868) zählt allein für das Königreich Bayern 114 partikuläre Rechte. Auch für den vorsichtiger zählenden Münchner Rechtsprofessor Paul Roth (1871) bleiben 43 unterschiedliche Rechte, darunter das Stadtrecht von Regensburg, dessen zivilrechtliche Ordnungen auch nach dem Heimfall der Reichsstadt an Bayern fortgalten.

Diese Rechtsvielfalt wurde durch eine große Klammer zusammengehalten, nämlich durch das an den Universitäten gelehrt »gemeine Recht«, ein umfassendes wissenschaftliches Rechtssystem, das hauptsächlich aus dem römischen Recht entwickelt worden war. Es gab Regionen, in denen das gemeine Recht noch im 19. Jahrhundert die hauptsächliche Rechtsquelle war (etwa 30 % Deutschlands). Das gemeine Recht behielt zudem auch in denjenigen Ländern Bedeutung, die wie Bayern und Preußen, bereits über kodifiziertes Recht verfügten. Diese Bedeutung ergab sich schon daraus, dass die Juristischen Fakultäten des 19. Jahrhunderts weiterhin das gemeine Recht in den Mittelpunkt der Lehre stellten, so dass sich mit der Zeit zwangsläufig Disharmonien zwischen der Universitätsausbildung und den Anforderungen der Rechtspraxis einstellten.

In diesem Zusammenhang ist die tief greifende Bedeutung des BGB für den Charakter der deut-



Das BGB:
Schlichte Textausgabe
(Erstausgabe in rotem Leinen) und
juristischer Großkommentar.

schen Rechtskultur zu sehen. Das bis zu seinem Inkrafttreten geltende Zivilrecht war hauptsächlich »Professoren-Recht« gewesen: ein Rechtssystem, das von gelehrten Juristen weithin unabhängig von staatlicher Rechtssetzungsautorität konzipiert, gelehrt, in Kompendien zusammengefasst und fortlaufend ausgebaut worden war. Dieses System war durch das BGB mit einem Schlage seiner Bedeutung beraubt: Was rechtens galt, brauchte nicht mehr im Corpus Juris des oströmischen Kaisers Justinian und sonstigen Rechtsaltertümern gesucht zu werden, sondern stand in einem handlichen, allen Interessierten zugänglichen Gesetzbuch zu lesen.

Das bedingte eine neue Rolle der Rechtswissenschaft, die sich an ihre veränderte Bedeutung nur zögernd gewöhnte. Ein neues Rechtsverständnis war die Folge: Das Recht hörte auf, Gegenstand exklusiven Wissens eines elitären Berufsstandes zu sein, es wurde allgemein zugänglich. In vielen Haushalten stand ein Exemplar des BGB neben den Werken von Goethe und Schiller als Grundausstattung bürgerlicher Bildung. So konnte Ernst Zitelmann, einer der führenden Juristen zu Beginn des 20. Jahrhunderts, bemerken: »Es kommt hinzu, daß, so wenig auch das Gesetzbuch ein Volkslesebuch ist, doch immerhin künftig jeder Deutsche leichter als bisher die Möglichkeit haben wird, sich über wichtige Rechtsfragen selbst durch Einsicht in dieses Buch Rats zu erholen. Mit der Möglichkeit wächst aber auch der Wunsch, dies zu tun. Sehen wir doch bereits seit Vollendung des Gesetzbuches, wie sehr die Beschäftigung der Nichtjuristen mit dem Privatrecht im Steigen begriffen ist.«

Auffällig ist der um 1900 aufblühende Markt für Vermittlungsliteratur, die nicht nur den Juristen die

Umgewöhnung erleichtern sollte. Buchtitel wie der folgende sprechen für sich: »Der Rechtsanwalt im Hause. Deutsches Gesetz- und Rechtsbuch. Ein Hand- und Hilfsbuch für Gewerbetreibende, Fabrikanten, Kaufleute, Beamte, Landwirte, Haus- und Grundbesitzer, Techniker ... Mit zahlreichen Formularen zur selbständigen Anfertigung aller möglichen Eingaben, Klagen, Gesuche, Verträge etc. ...« Das Buch erlebte im Jahre 1900 bereits seine sechste Auflage. Auch einzelne Berufe wurden mit leicht fasslichen Büchern über das neue Recht beglückt (»Das deutsche bürgerliche Recht für Forstmänner«).

In diesen Zusammenhang gehören auch die Versuche, den Gehalt des BGB mnemotechnisch aufzubereiten, in kurzen Sinnsprüchen wiederzugeben oder gar in Reime zu fassen. Die Art der Bemühungen mag aus einigen Kostproben deutlich werden.

*Rechtsfähigkeit bei einem Menschenkind
mit der Vollendung der Geburt beginnt.
Volljährigkeit nur denen kommt zustatten,
die ein und zwanzig Jahr vollendet hatten.*

(Aus: Das Geheimnis des Bürgerlichen Gesetzbuches in Reime gebracht. Zu fröhlichem Genuß in Tagesportionen für das Kalenderjahr von Landrichter Versemann, Berlin 1900)

*§ 1 Rechtsfähig ist der Mensch,
sobald er ganz geboren,
§ 2 Volljährig,
wenn die Kindheit durch vingt-un verloren.*

(Aus: Berthold Kann, Das »Neue Bürgerliche« in fröhlichen Versen, Berlin 1898)

Dass auch für die Juristen ein erheblicher Umschulungsbedarf gegeben war, versteht sich von selbst. Allenthalben fanden Vorträge, Kurse und

Zirkel statt, in denen nicht nur die Professoren eine Rolle spielten. Das heute gewohnte Bild des lehrenden Praktikers ist in der Entstehungszeit des BGB geformt worden.

Die Kritik am BGB in der Entstehungszeit

Die Aufnahme des BGB als die deutsche national-staatliche Kodifikation fiel in der Rechtspraxis durchaus positiv aus, zum Teil enthusiastisch. Das Gesetzbuch wurde als »Wendepunkt der deutschen Rechtsgeschichte« gefeiert. Die »Deutsche Juristen-Zeitung« begrüßte ihre Leser im ersten Heft des Jahres 1900 mit einem Gedicht von Ernst von Wildenbruch, in dem es heißt:

*O Deutschland, Du in Kampf vereint und Schlacht
Und nun geeint durch Rechtes Friedensmacht,
Erkenne, daß zu jedem höchsten Tun
In deiner eignen Brust die Mächte ruh'n.*

Auf der anderen Seite hatten sich seit Veröffentlichung des ersten Entwurfs viele kritische Stimmen vor allem aus der Rechtswissenschaft gemeldet, die über einzelne Regelungen hinaus grundlegende Defizite des Gesetzbuchs anprangerten. System und Sprache des Gesetzes wurden als volksfremd gekennzeichnet. Man kritisierte, dass sich die Terminologie, zwar auf Fremdwörter weitgehend verzichtend, dem juristischen Laien dennoch nicht erschließe. In der Tat bedient sich das BGB, von hochrangigen Juristen ausgearbeitet, einer speziellen Rechtssprache, die ihre begriffliche Höhe der Pandektenwissenschaft (Wissenschaft vom römischen Recht) des 19. Jahrhunderts verdankte und die von Beginn an als abstrakt und lebensfremd empfunden wurde. Offenkundig lebte die Illusion der Aufklärung fort, es könne ein einfach geschriebenes Gesetzbuch geben, aus dem Bürger und Bürgerin unschwer ihre Rechte und Pflichten ersehen könnten. Das entfachte zur Entstehungszeit des BGB die erste breite Diskussion um das Thema »Recht und Sprache«.

Anfeindungen anderer Art zielten auf den Inhalt. Hier waren es vor allem drei Richtungen, aus denen auf das Gesetzbuch geschossen wurde:

- von Seiten der Frauenbewegung, weil das BGB die patriarchalische Verfassung der Familie mit dem Ehemann und Vater als Oberhaupt weiterhin festschrieb;
- von Seiten der Sozialisten, für die das BGB das Gesetzbuch des besitzenden Bürgertums war;
- schließlich auch von Seiten eines Teils der Rechtswissenschaft, hauptsächlich der so genannten »Germanisten«, die nicht das römische, sondern das germanisch-deutsche Recht zum Objekt ihrer Forschung und Lehre genommen hatten.

Darunter betrafen die Einwendungen der Frauenbewegung hauptsächlich das Teilgebiet des Familienrechts. Diese Kritik ist durch die Rechtsentwicklung voll bestätigt worden: Die Einführung der Gleichberechtigung der Geschlechter als zwingendes Recht im Grundgesetz der Bundesrepublik

und die darauf fußende Gesetzgebung haben seit 1958 – allerdings in zeitlich lang gestreckten Schritten – das Familienrecht des BGB völlig verändert und die Diskriminierung sowohl der Ehefrau als auch der nicht ehelichen Kinder und ihrer Eltern beseitigt.

Die sozialistische Sicht findet sich vor allem in dem berühmten Buch des Wiener »Juristensozialisten« Anton Menger über »Das bürgerliche Recht und die besitzlosen Volksklassen« (1890). Diese Schrift charakterisierte die Regelungen des ersten BGB-Entwurfs (1888) als Ausdruck überwundener Machtverhältnisse, nämlich der Herrschaft der besitzenden Klassen. Durch alle Bücher des Gesetzbuchs hindurch versuchte Menger nachzuweisen, dass die Vermögensinteressen der »obersten Zehntausend« einseitig favorisiert, die Interessen der »besitzlosen Klassen« hingegen vernachlässigt würden. Zentrale Punkte seiner Argumentation waren unter anderem die unbeschränkte Vertragsfreiheit und die formale Rechtsgleichheit, in denen er Instrumente zur Ausbeutung sah: »Meistens wird diese Benachteiligung der besitzlosen Volksklassen dadurch bewirkt, dass die Gesetzgebung von ihrem formalistischen Standpunkt aus für Reich und Arm dieselben Rechtsregeln aufstellt, während die völlig verschiedene soziale Lage beider auch eine verschiedene Behandlung erheischt.«

Als besonders langlebig sollte sich die Gegnerschaft der »Germanisten« erweisen. Die deutsche Privatrechtswissenschaft des 19. Jahrhunderts hatte sich in zwei Hauptströmungen formiert, von denen die eine das römische Recht zur Grundlage ihres Systems, ihrer Technik und ihrer Begriffsbildung nahm (so genannte Romanisten, auch Pandektisten), die andere sich hingegen dem einheimisch-deutschen Recht zuwandte (so genannte Germanisten). Die konkurrierenden Schulen entwickelten sich zunächst in einem friedlichen Nebeneinander. In den Händen der Romanisten lag hauptsächlich das allgemeine Zivilrecht, insbesondere das Vertrags- und Schuldrecht. Die Germanisten lehrten hauptsächlich das Handels- und das Lehenrecht. Feindseligkeit zwischen den Lagern brach meist aus besonderen Anlässen aus, etwa im Umfeld der Revolution von 1848, dann bei der Schaffung des BGB. Denn im ersten Entwurf des BGB und letztlich auch in der schließlich verabschiedeten Fassung hatte die Wissenschaft vom römischen Recht den prägenden Einfluss, so dass man das BGB als »in Gesetzesparagrafen gegossenes Pandektenkompendium« bezeichnete.

Der Protest kam prompt und wortgewaltig durch den Berliner Germanisten Otto von Gierke, der gegen den ersten Entwurf drei fundamentale Einwände formulierte:

- die Sprache sei dem Volke nicht verständlich;
- das Gesetzbuch sei nicht aus deutschem Geist geschöpft, es sei überhaupt nicht schöpferisch und genüge daher auch nicht den Forderungen der Zeit;
- das Gesetzbuch sei nicht sozial.

Im Vorwort zu Gierkes Schrift »Der Entwurf eines bürgerlichen Gesetzbuches und das deutsche Recht« (1889) liest sich die Kritik wie folgt:

»Auf den Bürgermann ist auch das deutsche Gesetz (BGB) orientiert, aber es hat ihm etwas vom Spießbürger vorgeschwebt, und da, wo es kaufmännisch getönt ist (was in beträchtlichem Maße der Fall ist), fehlt ganz der Zuschnitt auf den Großkaufmann, den Großbankier, den Großkapitalisten. Es ist alles sorgsam auf kleinen Maßstab gemünzt. Beinahe ängstlich hat man jeden Ruck ins Große vermieden.« 1919

Justus Wilhelm Hedemann
(damals Professor der Rechte
und Prorektor der Thürin-
gischen Gesamtuniversität)

»So wurde das römische Gesetz auch uns zwangsweise aufgedrängt, und von Stund an gab es keine anerkannten Gründe des Gemeinwohls mehr, welche den Machtgierigen an der Handhabung und Ausübung seiner »Berechtigungen« hindern konnten, jetzt war er in die Lage versetzt, jedes Gelüst befriedigen zu können ... Das war die erste allgemeine Wirkung des uns aufgedrängten römischen Gesetzes, und leider hat unser »Bürgerliches Gesetzbuch«, das die Stirn hat, sich für eine Darstellung deutschen Rechts auszugeben, den gleichen Fehler übernommen.« 1921

Arnold Wagemann
(damals Richter
am Amtsgericht Bochum)

»Die Entstehung des Bürgerlichen Gesetzbuches fällt in die Zeit des siegreichen Liberalismus. Das Recht des Liberalismus war das römische Recht, gesehen mit den Augen des Pandektismus. Dieses stand durch seinen verstandesklaren, folgerichtigen und individualistischen Aufbau als Herrenrecht einer Anschauungswelt nahe, die den Verstand auf Kosten des Gefühls und den Einzelnen auf Kosten der Gesamtheit herrschen ließ. Der Pandektismus prägte es

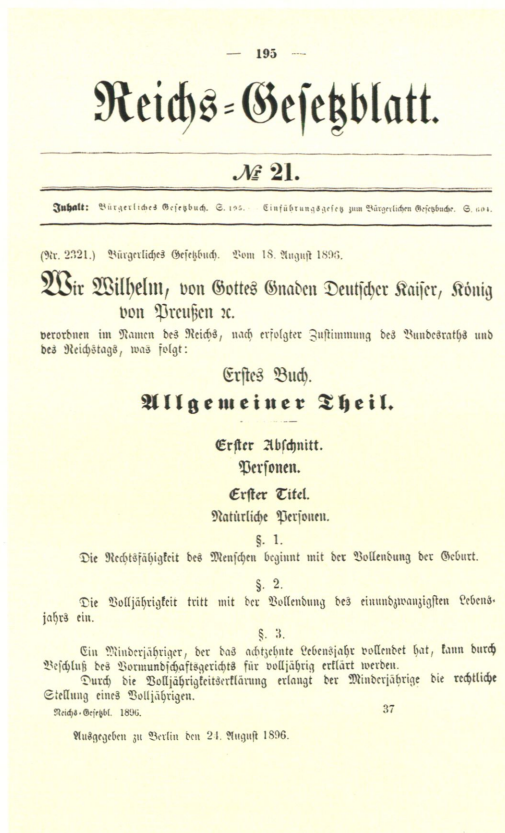
»Wird dieser Entwurf nicht in diesem oder jenem wohlgelungenen Detail, sondern als Ganzes betrachtet ..., so mag er manche lobenswerte Eigenschaft offenbaren. Nur ist er nicht deutsch, nur ist er nicht volkstümlich, nur ist er nicht schöpferisch – und der sittliche und sociale Beruf einer neuen Privatrechtsordnung scheint in seinen Horizont überhaupt nicht eingetreten zu sein! (...) Mit jedem seiner Sätze wendet dieses Gesetzbuch sich an den gelehrten Juristen, aber zum deutschen Volk spricht es nicht – nicht zu seinen Ohren, geschweige denn zu seinem Herzen ... Wohnt ihm dennoch etwa eine verborgene sociale Tendenz inne? Aber dann wäre dies die individualistische und einseitig kapitalistische Tendenz des reinsten Manchestertums, es wäre jene gemeinschaftsfeindliche, auf die Stärkung des Starken gegen den Schwachen zielende in Wahrheit antisociale Richtung, mit der im übrigen unsere neue deutsche Gesetzgebung so entschieden gebrochen hat!«

Besonders auffällig erscheint bei diesen Ausführungen die Annäherung an die sozialistische Kritik: Die »Germanisten« gerieten sich – wie übrigens schon aus Anlass der Revolution von 1848 – als die modernen Juristen, die der geschichtlichen Entwicklung Rechnung tragen, und etikettierten die Romanisten als rückwärts gewandte Doktrinäre.

Das Fortleben der Kritik

Die Kritik Gierkes bewirkte einige Änderungen in den weiteren Arbeiten am Gesetzbuch, jedoch keinen durchschlagenden Systemwechsel. Im Ganzen blieb das BGB eine Frucht der Wissenschaft vom römischen Recht. Den Anfeindungen von links war noch weniger Erfolg beschieden: Gegen die Stimmen der sozialdemokratischen Abgeordneten wurde das Gesetz im Sommer des Jahres 1896 durch den Reichstag mit Zustimmung des Bundestages verabschiedet. Doch stand ein Arsenal von Argumenten bereit, das für Kämpfe um das BGB auch in der Folgezeit benutzt werden konnte.

Die Diskussionen um das Gesetzbuch brachen in den Zeiten politischer Umwälzungen fast zwangsläufig aus. Zunächst stellte sich zur Zeit des Zusammenbruchs der Monarchie in den Jahren 1918/1919 die Frage, ob der neue, demokratische Staat nicht folgerichtig ein neues Zivilgesetzbuch benötige. In diesem Zusammenhang wurde die Kritik am BGB, die schon sein Entstehen begleitet hatte, wieder aufgegriffen. In einer Universitätsrede von 1919 zieht der damalige Prorektor der Thüringischen Gesamtuniversität Justus Wilhelm Hedemann das BGB der Charakterlosigkeit: »Es ist scheu und matt, es trägt einen anonymen Geist zur Schau, keine markige Persönlichkeit.« Doch stellte sich bald heraus, dass die sich aus den Revolutionswirren etablierende Weimarer Republik eine grundlegende Reform des Zivilrechts nicht zu leisten imstande, letztlich wohl auch nicht willens war – nicht einmal die fälligen Reformen des Familienrechts kamen zu einem Ende.



Die nächste, sehr viel mächtigere Welle der Anfeindungen hatte das Gesetzbuch, wie eingangs erwähnt, im Nationalsozialismus zu erdulden. Dass das BGB abzuschaffen sei, war Gemeingut der dem Nationalsozialismus zugewandten Juristen, nur der modus procedendi – eine Mehrzahl von Reformgesetzen oder ein neues einheitliches Gesetzbuch – war streitig. Die Argumente gegen das BGB bezogen die nationalsozialistischen Kritiker hauptsächlich von Otto von Gierke. Es versteht sich, dass darüber hinaus rassistische Elemente ins Spiel kamen. Währenddessen aber blieb, solange das Privatrecht keiner grundlegenden Gesetzesreform unterzogen war, der Rechtspraxis wie der Jurisprudenz nichts anderes übrig, als das ungeliebte Gesetzbuch weiterhin anzuwenden. Es geschah dies in einer Weise, die Bernd Rüthers als »die unbegrenzte Auslegung« beschrieben hat. Insbesondere wurden die Generalklauseln des Gesetzbuchs (»gute Sitten«, § 138 BGB; »Treu und Glauben«, § 242 BGB) mit der Ideologie des »Dritten Reiches« aufgefüllt und, so bewaffnet, gegen die schlichte Gesetzesanwendung mobilisiert. Auf diese Weise konnte fast jedes gewünschte Ergebnis mit dem Anschein der Legalität ausgestattet werden, wozu sich sehr viele, wenngleich nicht alle Juristen in jenen Jahren bereit fanden.

Das BGB überstand, wie eingangs gesagt, das »Dritte Reich« und galt in der Bundesrepublik wie zunächst auch in der Deutschen Demokratischen Republik fort. Doch wundert es nicht, dass die ideologische Ausrichtung des DDR-Rechts nach der Ersetzung des BGB durch ein Gesetzeswerk verlangte, das den Zielsetzungen des real existierenden Staatssozialismus verpflichtet war. Auch hier konnte an die sozialistische BGB-Kritik der

vollends in das Recht des Individualismus und Materialismus um. « 1933
Heinrich Lange
(damals Landgerichtsrat und Privatdozent an der Universität Leipzig)

»Wenn dieses BGB entlassen werden muß, so soll es nicht mit einem Fußtritt entlassen werden. Wenn es ins Grab sinkt, so wollen wir mit Ehrfurcht und die Älteren mit stiller Wehmuth am Rande stehen in dem Gefühl: Du sinkst zu Grabe, nachdem du deine geschichtliche Aufgabe einer ersten Einigung erfüllt hast. « 1938
Justus Wilhelm Hedemann
(damals Professor der Rechte in Berlin)

»Das Bürgerliche Gesetzbuch behält nur Sinn und Wert, wenn die deutschen Menschen Bürger bleiben wollen und bleiben können, selbstbewußte Menschen, selbstverantwortliche Menschen, Menschen, die ihren Lebensbereich in Freiheit selbst bestimmen können und wollen. « 1950
Bundesjustizminister
Dr. Thomas Dehler

»Das am 1. Januar [1900] in Kraft gesetzte Gesetzbuch mit seinen 2385 Paragraphen war geschaffen im Geiste und im Interesse des Großadels, des feudalen preußischen Junkertums und der aufstrebenden Bourgeoisie. In seiner für das Volk zutiefst unverständlichen Begriffswelt und Methodik stellte es in den Mittelpunkt nicht die Interessen des einfachen Menschen, sondern das Privateigentum an Produktionsmitteln, die Sicherung des bürgerlichen und junkerlichen Vermögens – somit die Grundlage der kapitalistischen Ausbeuterordnung. « 1975
Friedrich Ebert
(Stellvertreter des Präsidenten der Volkskammer der DDR)

»Muß man danach das Bürgerliche Gesetzbuch als das letzte Siegesmal des alten Bürgertums gelten lassen, so blieb es doch ein Pyrrhussieg ... Schon auf die Wiege des BGB fielen die ersten Schatten der bevorstehenden neuen Revolutionen in Europa, und diese Schatten wuchsen nach dem ersten Weltkriege, welcher das Signal für ihren Ausbruch wurde, ins Riesengroße. Ihm folgte eine stille, aber vollkommene Umwälzung des Sozialbildes, das dem heutigen Privatrecht zugrundeliegt.« 1952

Franz Wieacker
(damals Professor der Rechte
in Freiburg i. Br.)

»Dem »Bürgerlichen« Gesetzbuch fehlten im ersten halben Jahrhundert seines Bestehens die »Bürger«, für die es gemacht war. Die – damals anachronistische – Vision der Väter des BGB von der Gesellschaft freier und unabhängiger Bürger hat sich in einem Maße erfüllt, das um 1900 kaum vorhersehbar war.« 1996

Hans Schulte-Nölke,
Wissenschaftlicher Assistent

»Nach Jahrhunderten der Rechtszersplitterung wurde damit erstmals die Einheit des Privatrechts in Deutschland hergestellt. Geschaffen wurde ein großartiges Gesetzgebungswerk, das aufgrund seiner höchst präzisen und abstrakt-generalisierenden Normen die einschneidenden politischen, gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und sozialen Wandlungen unseres Jahrhunderts überdauert hat.« 1998

Bundesjustizminister a. D.
Prof. Dr. Edzard Schmidt-Jortzig

Entstehungszeit angeknüpft werden. »Die noch angewendeten umfangreichen Teile des Bürgerlichen Gesetzbuchs aus dem Jahre 1900 können die neuen persönlichen Beziehungen und Vermögensverhältnisse der Bürger eines sozialistischen Staates, aufbauend auf der Moral der Arbeiterklasse, nach den Grundsätzen des kameradschaftlichen Zusammenlebens und der gegenseitigen Hilfe nicht mehr erfüllen.« (Walter Ulbricht, 1958) Freilich zogen sich die bereits 1952 begonnenen Reformarbeiten in die Länge. Im Jahre 1965 war das Familienrecht, wie in anderen Ostblockstaaten, aus dem Zivilrecht ausgegliedert und gesondert kodifiziert worden. Das neue »Zivilgesetzbuch« hingegen ließ bis zum 19. Juli 1975, also rund zwanzig Jahre, auf sich warten. Ein langes Leben war ihm nicht beschieden: Mit dem Vollzug der deutschen Wiedervereinigung trat das Zivilgesetzbuch außer Kraft (3. Oktober 1990). In den Beitrittsgebieten bildet nun wiederum das BGB die maßgebliche Kodifikation des Bürgerlichen Rechts.

Die zeitlich jüngste Welle der Kritik erfuhr das BGB in den Jahren der Studentenrevolte ab 1967. Die von den Studenten gegen das »ausbeuterische« Privatrecht entwickelten Vorstellungen waren teils von der älteren sozialistischen Kritik, teils vom Kontrastbild des staatssozialistischen Systems in den östlichen Ländern gespeist. Die von vielen Studenten, auch Assistenten und Dozenten sehr ernsthaft geführten Auseinandersetzungen wirkten – je nach Fakultät unterschiedlich stark – in den Lehrbetrieb der Universitäten hinein. Ich erlebte diese für mich neue Universitätswelt als junger Professor in Gießen. Ich weiß noch, dass ich mir schleunigst die wichtigsten Werke von Marx und Engels besorgte, um für die oft endlosen Diskussionen um Privatautonomie und Eigentum gewappnet zu sein. Ein damals viel gelesener Text von Rudolf Wiethölter (Funkkolleg Wissenschaft und Gesellschaft) historisierte das BGB als das »privatrechtliche Grundgesetz des liberalen Bürgertums«, das die Sozialverfassung der Vergangenheit, nicht der Zukunft spiegle. Umso erstaunlicher war für mich, wie an der Universität nach einigen Jahren die Auseinandersetzungen um die richtige Privatrechtsordnung einfach aufhörten und nur noch in gelegentlichen Reminiszenzen einstiger Achtundsechziger einen eher resignierten Nachhall erzeugen. Das BGB hat dies alles überstanden.

Gleichwohl ist es nach wie vor kein geliebtes Gesetzbuch. Die negativen Charakteristiken, welche die Entstehung des BGB begleiteten und durch das ganze Jahrhundert hindurch immer wieder hervorgeholt wurden, liegen wie ein Schatten auf ihm. Damit scheint es zusammenzuhängen, dass das offizielle Deutschland im Jubiläumsjahr verhältnismäßig wenig Aufhebens von seinem berühmtesten juristischen Gesetzbuch macht. Oder wirkt die Tatsache im Bewusstsein nach, dass das BGB in einem Kaiserreich produziert wurde, das in den Schrecken des Ersten Weltkriegs endete? Vielleicht fällt es uns Deutschen, anders als Franzosen oder Italienern, überhaupt schwer, auf eine nationale Errungenschaft unbefangen stolz zu sein.

Das BGB zwischen Tradition und Fortschritt

Dass ein Zivilgesetzbuch die abruptesten Wechsel politischer Systeme überdauern kann, mag verwundern. Dies ist nur möglich, wenn der Gehalt seiner Normen von den verfassungsmäßigen Rahmenbedingungen möglichst abstrahiert. Den Verfassern des Gesetzbuchs ist das meisterhaft gelungen. Die Aussage des § 134 BGB, ein Rechtsgeschäft, das gegen ein gesetzliches Verbot verstößt, sei nichtig, lässt sich in jeder Staatsform anwenden – nur wird unter verschiedenen politischen Voraussetzungen ganz Unterschiedliches verboten sein.

Trotzdem kann heute ein noch so abstrakt gehaltenes Gesetzbuch auf kein langes Leben hoffen, wenn es nicht permanent reformiert wird. Die rasante Veränderung unserer zivilisatorisch-technischen Lebensbedingungen ruft fortlaufend neue Rechtsprobleme, ja ganze Rechtswelten hervor, von denen die Väter des BGB nicht den Schatten einer Vorstellung haben konnten. Ebenso rasch unterliegt auch das gesellschaftliche Bewusstsein fortgesetzten Schwankungen, und auch die kurzatmigen Gesinnungswechsel wollen durch Gesetze fixiert sein.

Die Langlebigkeit des BGB ist folglich durch permanente Reform erkaufte. Diese findet *innerhalb* des Gesetzbuches durch Änderung der Paragraphen oder durch Hinzufügungen statt, häufiger noch aber *außerhalb* des Gesetzbuches: Es werden besondere Gesetze geschaffen, deren Regelungen das BGB bildlich gesprochen von außen her überwuchern. So sind seit 1900 bis heute grundlegende Veränderungen unserer Zivilrechtsordnung dem Gesetzbuch selbst gar nicht anzusehen, sondern in Spezialgesetzen verankert, beispielsweise die meisten Tatbestände der Gefährdungshaftung und die meisten Regeln über den Verbraucherschutz, mit denen der Gesetzgeber auf brennende Probleme gerade unserer Zeit reagiert hat. Seine Langlebigkeit bezahlt das BGB gleichsam mit einem Verlust an inhaltlicher Vollständigkeit und auch mit einem Verblässen seines Inhalts.

Das zeigt sich auch darin, dass die Souveränität der Gerichte in der Behandlung des Rechtsstoffs mit zunehmendem Alter der Gesetze steigt – mit einem Gesetz aus fern liegenden Zeiten und Zuständen geht man anders um als mit einem jungen, dem noch sichtbar der Wille des gegenwärtigen Gesetzgebers auf die Stirn geschrieben steht. Auch das ist ein Preis der »Ewigkeit«: Die vielfältigen Veränderungen der Rechtsordnung können zunehmend am Text des Gesetzbuches nicht mehr erkannt werden. Wehe dem naiven Rechtssuchenden, der mit einem Blick bloß in das Gesetzbuch seine Rechtssache einschätzen möchte! Das deutsche Privatrecht hat sich dahin entwickelt, dass das BGB zunehmend nur noch den großen systematischen Rahmen und die allgemeine Rechtstechnik für eine komplexe, fortwuchernde, aus vielen Gesetzen und Gerichtsentscheidungen bestehende Rechtsmasse bietet. In dieser Funktion kann es allerdings noch sehr lange existieren. Das zeigt das Beispiel des französischen Code Civil, dessen 200. Geburtstag im Jahre 2004 gefeiert

Wird eine Änderung des Güterstandes eingetragen, so hat sich die Bekanntmachung auf die Bezeichnung des Güterstandes und, wenn dieser abweichend von dem Gesetz geregelt ist, auf eine allgemeine Bezeichnung der Abweichung zu beschränken.

§. 1563.

Die Einsicht des Registers ist Jedem gestattet. Von den Eintragungen kann eine Abschrift gefordert werden; die Abschrift ist auf Verlangen zu beglaubigen.

Siebenter Titel. Scheidung der Ehe.

§. 1564.

Die Ehe kann aus den in den §§ 1565 bis 1569 bestimmten Gründen geschieden werden. Die Scheidung erfolgt durch Urteil. Die Auflösung der Ehe tritt mit der Rechtskraft des Urteils ein.

§. 1565.

Ein Ehegatte kann auf Scheidung klagen, wenn der andere Ehegatte sich des Ehebruchs oder einer nach den §§ 171, 175 des Strafgesetzbuchs strafbaren Handlung schuldig macht. Das Recht des Ehegatten auf Scheidung ist ausgeschlossen, wenn er dem Ehebruch oder der strafbaren Handlung zustimmt oder sich der Teilnahme schuldig macht.

§. 1566.

Ein Ehegatte kann auf Scheidung klagen, wenn der andere Ehegatte ihm nach dem Leben trachtet.

(2) Wird eine Änderung des Güterstandes eingetragen, so hat sich die Bekanntmachung auf die Bezeichnung des Güterstandes und, wenn dieser abweichend von dem Gesetz geregelt ist, auf eine allgemeine Bezeichnung der Abweichung zu beschränken.

§ 1563

§ 1563
Die Einsicht des Registers ist jedem gestattet. Von den Eintragungen kann eine Abschrift gefordert werden; die Abschrift ist auf Verlangen zu beglaubigen.

Siebenter Titel Scheidung der Ehe

Überschrift eingefügt durch Erstes Gesetz zur Reform des Ehe- und Familienrechts vom 14.06.1976

I. Scheidungsgründe

§ 1564

§ 1564
aufgehoben durch Ehegesetz vom 06.07.1938
neu eingefügt durch Erstes Eherechtsreformgesetz vom 14.06.1976

§ 1564

§ 1564
Eine Ehe kann nur durch gerichtliches Urteil auf Antrag eines oder beider Ehegatten geschieden werden. Die Ehe ist mit der Rechtskraft des Urteils aufgelöst. Die Voraussetzungen, unter denen die Scheidung begehrt werden kann, ergeben sich aus den folgenden Vorschriften.

§ 1565

§ 1565
aufgehoben durch Ehegesetz vom 06.07.1938
neu eingefügt durch Erstes Eherechtsreformgesetz vom 14.06.1976

§ 1565

§ 1565
(1) Eine Ehe kann geschieden werden, wenn sie gescheitert ist. Die Ehe ist gescheitert, wenn die Lebensgemeinschaft der Ehegatten nicht mehr besteht und nicht erwartet werden kann, daß die Ehegatten sie wiederherstellen.
(2) Leben die Ehegatten noch nicht ein Jahr getrennt, so kann die Ehe nur geschieden werden, wenn die Fortsetzung der Ehe für den Antragsteller aus Gründen, die in der Person des anderen Ehegatten liegen, eine unzumutbare Härte darstellen würde.

§ 1566

§ 1566
aufgehoben durch Ehegesetz vom 06.07.1938
neu eingefügt durch Erstes Eherechtsreformgesetz vom 14.06.1976

§ 1566

§ 1566
(1) Es wird unwiderlegbar vermutet, daß die Ehe gescheitert ist, wenn die Ehegatten seit einem Jahr getrennt leben und beide Ehegatten die Scheidung beantragen oder der Antragsgegner der Scheidung zustimmt.

werden wird – sicherlich mit festlicherem Prunk, als er dem deutschen BGB in seinem Jubiläumsjahr zugebracht ist.

Überwindung des BGB durch europäisches Recht?

Die Zeiten der großen nationalen Gesetzbücher sind in Europa vorüber. Mehr und mehr werden Richtlinien für die Gesetzgebung durch die Organe der Europäischen Union vorgegeben. Besonders auf dem Gebiet des Verbraucherschutzes ist das nationale Recht durch eine Reihe von Richtlinien des Europäischen Rates geprägt. Ein einheitlicher Wirtschaftsraum verlangt nicht nur nach einer einheitlichen Währung, sondern auch nach einem gemeinsamen Recht, das unnötige Rechtsprobleme des grenzüberschreitenden Verkehrs vermeidet. Der Gedanke einer weit reichenden politischen Einheit Europas legt die Idee der Angleichung der nationalen Rechte, als Fernziel die Schaffung einheitlicher europäischer Gesetzbücher nahe. Schon seit geraumer Zeit hat sich die Rechtswissenschaft auf den Weg gemacht, um ein europäisches Privatrecht auf der Grundlage gemeinsamer Grundvorstellungen zu entwickeln. Steht nun heute ein Abschied vom BGB ins Haus?

Wenn der europäische Einigungsprozess in der bisherigen Dynamik weiter verläuft, so wird sich die Vorstellung eines einheitlichen Rechtsraumes mehr und mehr verstärken. Die Idee eines europäischen Zivilgesetzbuchs ist keine bloße Utopie. Eine Entschließung des Europäischen Parlaments vom 26. Mai 1989 forderte dazu auf, mit den Vorbereitungen zur Ausarbeitung einer einheitlichen europäischen Privatrechtskodifikation zu beginnen. Die Rechtswissenschaft hat die Herausforderung in vielfältiger Weise angenommen,

eine »Commission on European Contract Law« hat beispielsweise schon 1992 einen Entwurf über Prinzipien des Europäischen Vertragsrechts ausgearbeitet. Auch die Regensburger Juristische Fakultät nimmt an den Bemühungen um ein europäisches Privatrecht lebhaften Anteil: Hier hat sich eine Forschungsgruppe für Europäisches Privatrecht gebildet, ein Fakultätsmitglied ist Herausgeber der neu gegründeten »Zeitschrift für Europäisches Privatrecht«, und die Symposien für Europäisches Familienrecht versuchen, die Chancen der Rechtsangleichung auf diesem Gebiet auszuloten.

Es besteht indes Einigkeit darüber, dass der Weg zur europäischen Rechteinheit im gesamten Privatrecht weit und steinig ist. Es gibt Skeptiker, manche fürchten auch um die kulturelle Vielfalt. Juristische Traditionen pflegen sehr zäh zu sein, wie selbst feurigste Reformatoren und Revolutionäre haben leidvoll erfahren müssen. Die nationalen Rechte unterscheiden sich nicht nur durch die Inhalte einzelner Regelungen, sondern durch ihre Systeme und durch die Sprache, mit der die Systemzusammenhänge ausgedrückt werden. Es gälte also, ein gemeinsames System und eine gemeinsame Sprache zu finden. Erwägt man diese schwierige Lage, so wird man für die absehbare Zeit zwar einen Zuwachs an gemeinsamen europäischen Rechtsvorschriften und an wissenschaftlicher Verständigung, aber noch nicht die Abschiedsstunde des BGB erwarten.

links:
Ehescheidung 1900
rechts:
Ehescheidung 2000

Prof. Dr. iur. utr.

Dieter Schwab

geb. 1935 in Würzburg.

Studium der Rechtswissenschaft in München und Würzburg, 1960 Promotion, 1966 Habilitation an der Ruhr-Universität Bochum, ab 1968 Lehrstuhl für Bürgerliches Recht und Deutsche Rechtsgeschichte an der Universität Gießen, seit 1974 Lehrstuhl für Bürgerliches Recht und Deutsche Rechtsgeschichte an der Universität Regensburg, emeritiert zum 1.10.2000.

Neue Nervenzellen

Zellersatz und Regeneration im Gehirn

Neurologie

Das Gehirn ist flexibler als bisher angenommen. Entgegen mancher Vermutung und früherem – nun überholtem – Wissen ist es sogar in der Lage, im vollen Betrieb noch neue Nervenzellen, seine entscheidenden funktionellen Bausteine, zu bilden und in Abhängigkeit von äußeren Reizen in die bereits bestehenden Netzwerke einzubauen. Dieser »Jungbrunnen im Gehirn«, wie eine Zeitung treffend formuliert hat, verändert unsere Vorstellung von Bau und Funktion des Gehirns und eröffnet neue Perspektiven für die Behandlung neurologischer Erkrankungen.

Die uns heute nahe liegende Vorstellung, dass das Gehirn eine Art Computer sei, hat sich in der Öffentlichkeit weitgehend durchgesetzt, ohne dass dieser vorschnelle Vergleich in letzter Konsequenz gerechtfertigt wäre; dies könnte daran liegen, dass das Gehirn vieles kann, was auch ein Computer kann. Und da wir sehr genau wissen, wie Computer funktionieren, mag dies zu einem nicht unproblematischen Analogieschluss verführen. Dabei können Computer vieles, was Gehirne nicht können – Kopien des gesamten Speicherinhaltes anlegen, beispielsweise, Farbausdrucke hinausschicken, im Netzwerk arbeiten und auch abstürzen und sich neustarten lassen. Trotz beeindruckender und fragloser Überlegenheit des Computers in vielfacher Hinsicht, vor allem, wenn große Datenmengen verarbeitet werden müssen, kann das Gehirn aber problemlos Leistungen vollbringen, von denen »künstliche Intelligenz« bis heute nur träumen kann. Vor allem kann es Bewusstsein hervorbringen, und es erlaubt Kreativität und Willen. Unser Gehirn kann aber zum Beispiel auch so verblüffende Dinge tun wie sehr mühelos komplexe Muster wie etwa Gesichter erkennen, Assoziationen zwischen den Eindrücken unterschiedlicher Sinneskanäle herstellen, gleichzeitig Funktionen wie Essen, Musikhören und Zeitunglesen erfüllen und (wenn auch in sehr seltenen Fällen) so komplexe Fertigkeiten vollbringen wie Mahlers Symphonie der Tausend auswendig zu dirigieren.

Es ist noch nicht bekannt, was das Gehirn letztlich so extrem leistungsfähig macht. Seine ganz unbestreitbare, bewundernswerte Flexibilität aber, die es ihm erlaubt, »an Aufgaben zu wachsen«, beständig Neues erkennen und in die laufende Funktion integrieren zu können und ein kontinuierliches »Update« auch siebzig oder, wenn es hoch kommt,

achtzig Jahre nach Betriebsbeginn mühelos zu ermöglichen, liegt nicht zuletzt in einer strukturellen Eigenschaft begründet, die man »Plastizität« nennt.

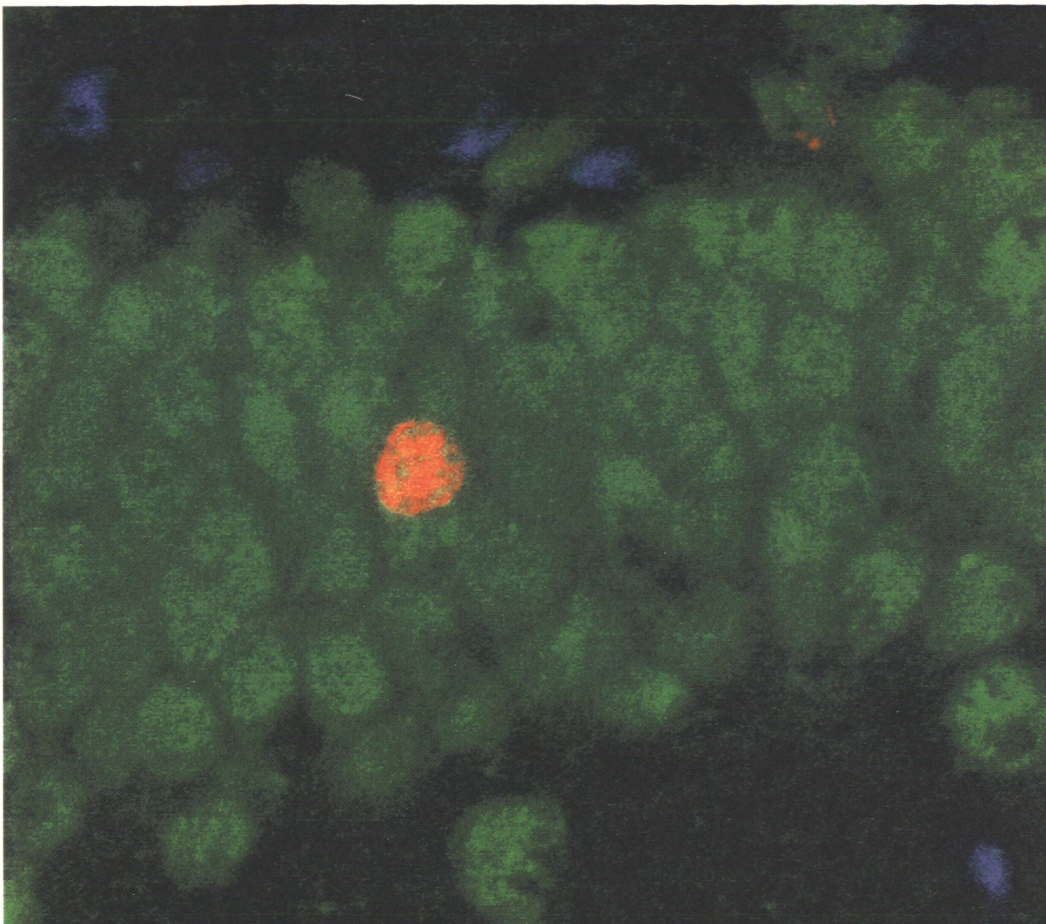
Die wunderbare »Plastizität« des Gehirns

Unter »Plastizität« im neurobiologischen Sinne versteht man die Fähigkeit des Nervensystems, seine Anatomie entsprechend funktionellen Anforderungen zu verändern. Je jünger das Gehirn, desto plastischer ist es. Während der ersten Lebensjahre ist das Gehirn geradezu in einem Rausch von Plastizität. Die gängige Theorie lautet, dass das Gehirn dabei Nervenzellen im Überfluss produziert, von denen nur die übrig bleiben, die sich in funktionell notwendigen Netzwerkverbindungen bewährt haben. Die Kommunikation zweier Nervenzellen findet an anatomisch und physiologisch hochkomplexen Schnittstellen statt, den so genannten Synapsen. Nervenzellen, die keine funktionell notwendigen und sinnvollen Synapsen ausbilden, werden wieder »aus dem Verkehr gezogen«.

Wenn mit dem Abschluss der embryonalen Entwicklung die extreme Plastizität nachlässt, die in den frühen Lebensabschnitten notwendig ist, um das junge Gehirn für seine vielfältigen Aufgaben in einer komplexen Welt einzurichten, verlagert sich der Ort, an dem Plastizität noch stattfindet. Da keine Nervenzellen mehr neu gebildet würden (so lautete bis vor nicht allzu langer Zeit die Theorie) und entsprechend also auch keine großen Zahlen von Zellen mehr eliminiert werden müssten, die nach dem »Trial-and-Error«-Verfahren im Überschuss produziert wurden, verbliebe Plastizität vor allem an Bestandteilen der bereits vorhandenen Nervenzellen, den Verzweigungen ihrer Fortsätze beispielsweise, und eben den Synapsen.

Folgerichtig konzentrierte sich die Forschung weitgehend auf die Plastizität von Zellfortsätzen und deren Kontakten, den Synapsen. Im Zentrum dieses bedeutenden Paradigmas steht die »Hebb'sche Synapse«, benannt nach Donald Hebb, der 1949 postulierte, dass eine Synapse, die auch wirklich gebraucht wird, verstärkt wird, während ungenutzte Kontakte, wie im richtigen Leben, schließlich abgebrochen werden und verschwinden.

So unstrittig bedeutend und richtig, so verdienstvoll und aufregend diese Theorie auch war und ist, führte sie doch auch zu einem leicht schiefen Bild und begünstigte mit ihrer impliziten Betonung der »Verschaltung« auch die problematische Analogie, das Gehirn entspräche letztlich einem Computer.



1 Neue Nervenzelle, mit einem orangefarbenen Spezialfarbstoff leuchtend eingefärbt, im Gehirn einer erwachsenen Maus. Die Hirnregion, in der diese Nervenzellneubildung beobachtet wurde, heißt »Hippocampus« und ist von großer Bedeutung für Lernen und Gedächtnisvorgänge.

Seit den Entdeckungen des großen, ja genialen spanischen Neurobiologen Santiago Ramon y Cajal, der vielleicht nur in dieser einen Einschätzung nicht ganz richtig lag, galt eigentlich, dass es im erwachsenen Gehirn keine neuen Nervenzellen geben könne. Man hat, was man hat, und für das gilt dann noch »use it or loose it« in zumindest teilweise sehr zutreffender Verallgemeinerung des Hebb'schen Postulats und den geltenden Regeln für die embryonale Entwicklung. Weil dieser Mechanismus so suggestiv an Darwins »survival of the fittest« erinnert, hat der amerikanische Biologe und Nobelpreisträger Gerald Edelman hierfür die These vom »neuralen Darwinismus« aufgestellt.

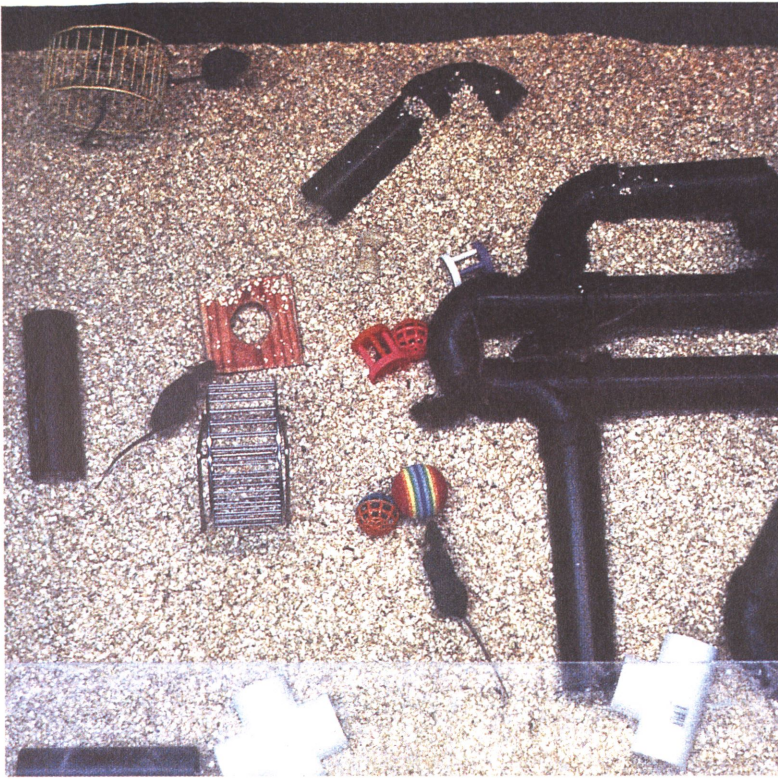
Für das erwachsene Gehirn besagt diese Theorie im Wesentlichen, dass sich Plastizität nur einem – allerdings letztlich unterstellten und nur teilweise wirklich beobachtbaren – ständigen Verlust an Nervenzellen entgegenstemmen kann und dabei mehr oder vor allem minder erfolgreich ist. Das Spektrum neurologischer Erkrankungen, die oft chronisch sind und selten spontan ausheilen, macht deutlich, wie gering die Fähigkeit des erwachsenen Gehirns zur Regeneration in der Tat ist. Und also hatte Ramon y Cajal mit seinem Pessimismus, nichts im erwachsenen Hirn könne regenerieren, in gewissem Maße durchaus Recht. Es zeigt sich aber, dass er »im Prinzip« dennoch Unrecht hatte und dass das Gehirn ein viel größeres Potenzial zur Regeneration aufweist, als er vermuten konnte, dieses Potenzial aber irritierenderweise wenig oder nicht nutzt.

Plastizität hat also zwei Seiten. Zum einen reflektiert sie einen Aspekt normaler Hirnfunktion,

indem sie dem Gehirn erlaubt, in gewissem Rahmen seine Netzwerkstrukturen an funktionelle Anforderungen anzupassen. Zum anderen stellt sie das Potenzial dar, das dem Gehirn zur Verfügung steht, um im Falle von Schädigungen zu regenerieren. Diese beiden Seiten sind sehr eng miteinander verknüpft.

Neue Nervenzellen im erwachsenen Gehirn

Neuere Forschung hat gezeigt, dass auch das erwachsene Gehirn neue Nervenzellen hervorbringen kann, dies aber, obwohl das Potenzial dazu möglicherweise im gesamten Gehirn besteht, nur in zwei privilegierten Hirnregionen auch wirklich tut. Eine dieser Regionen ist der »Hippocampus« **1**, in den Schläfenlappen des Gehirns gelegen und von funktioneller Bedeutung für Lernvorgänge. Patienten mit Schäden im Hippocampus können keine neuen Informationen lernen, können sich aber noch an Inhalte erinnern, die sie vor dem Schaden gelernt haben. Dem Hippocampus kommt damit eine Filterfunktion zu, er ist eine Art von Tor zum Gedächtnis. Und obwohl die relative Übersichtlichkeit der Anatomie und Verschaltungen in dieser Region sicher begünstigt hat, dass sich die Neurowissenschaft des Hippocampus so besonders ausgiebig angenommen hat, so reflektiert diese Aufmerksamkeit doch auch die Einschätzung, dies sei eine außerordentlich wichtige Region für höhere Hirnfunktionen. Ein Großteil der Studien über synaptische Plastizität und beinahe alle elektrophysiologischen Untersuchungen, auf denen die Kenntnisse der Vorgänge an der pla-



2 Wenn man Mäuse in einem so abwechslungsreichen (im Vergleich zum Laborstandard) »Luxuskäfig« hält, wird die Bildung neuer Nervenzellen im Hippocampus stark angeregt.

stischen Synapse beruhen, sind am Hippocampus durchgeführt worden.

Ausgerechnet in dieser, seit Jahrzehnten bestens untersuchten Region werden, so stellt sich jetzt heraus, auch im Erwachsenenalter noch neue Nervenzellen geboren. Erstes Wissen darüber stammt bereits aus den sechziger Jahren, aber erst 1998 wurde gezeigt, dass diese »Neurogenese im erwachsenen Gehirn« auch beim Menschen vorkommt. Gleichzeitig ergab in den letzten Jahren eine wachsende Zahl von Studien, dass die neuen Nervenzellen nicht nur Potenzial für Plastizität bergen, sondern auch tatsächlich in funktionelle Plastizität involviert sind. Abbildung 1 zeigt eine neu gebildete Nervenzelle im Hippocampus der Maus. Die Zelle wurde, als das Tier bereits erwachsen war, mit einer speziellen Substanz (Bromodesoxyuridin) markiert, die sich nur in unreifen, sich teilenden Zellen anreichert. Von allen Nervenzellen leuchtet im mikroskopischen Bild nur eine gelb-orange. Dies bedeutet, dass sie vier Wochen zuvor, als die Markersubstanz verabreicht wurde, noch unreif war und gerade im Begriff, sich zu teilen. Allerdings überleben nicht alle neugeborenen Zellen, und so sieht man nicht notwendigerweise, wie man nach einer Zellteilung annehmen sollte, zwei markierte Zellen.

Stammzellen

Neue Nervenzellen entstehen nicht aus dem Nichts und, wie eben Cajal schon wusste, reife Nervenzellen teilen sich nicht mehr, um für Zellnachschub im erwachsenen Gehirn zu sorgen. Das Potenzial für Plastizität auf der Ebene der Nervenzellen liegt in der Existenz von so genannten Stammzellen. Stammzellen sind Zellen, die selbst noch auf keine Entwicklung zu einem speziellen Zelltyp festgelegt sind, sich aber teilen können und aus diesen Zellteilungen einerseits neue Stammzellen und

andererseits Zellen hervorgehen lassen können, die sich ihrerseits zu spezielleren, festgelegteren Zelltypen weiterentwickeln. Da aus einer Stammzelle verschiedene Zelltypen entstehen können, bezeichnet man Stammzellen als »multipotent«. Nicht zuletzt diese Multipotenz macht diese Zellen so interessant für die neurobiologische Forschung.

Seit bekannt ist, dass sich im erwachsenen Gehirn noch Stammzellen finden lassen, aus denen neue Nervenzellen hervorgehen können, hat sich eine völlig neue Perspektive für die Therapie neurologischer Erkrankungen aufgetan. Hatte man zuvor mit Cajal geglaubt, dem Gehirn fehle das Potenzial zur Neubildung von Nervenzellen gänzlich, so verlegt sich die Frage jetzt zusehends dahin, dass zu klären sei, warum das Gehirn normalerweise keinen Gebrauch von diesem Potenzial zu machen scheint, oder wie man ihm möglicherweise eben doch dazu verhelfen könnte. In diesem Zusammenhang kommt der zellulären Plastizität im Hippocampus, die man beobachten kann, eine sehr wichtige Bedeutung zu. Wenn im ganzen Gehirn neuronale Stammzellen mit ihrem wundervollen Potenzial vorkommen, erhebt sich die große Frage, warum sie nur im Hippocampus (und in einer weiteren bekannten Region im Riechhirn) neue Nervenzellen hervorbringen. Was macht den Hippocampus »neurogen«, wenn es nicht das Vorhandensein des neurogenen Potenzials in Gestalt der Stammzellen ist?

Stammzellen und ihre Regulierung durch Aktivität

Hält man Mäuse in einer sehr abwechslungsreichen Käfigumgebung **2** statt in normalen Laborkäfigen und erhalten sie so die Möglichkeit zur sozialen Interaktion, zur körperlichen Aktivität und zur Erforschung einer sich ständig ändernden Umwelt, bietet man ihnen also eine komplexere Welt, so haben diese Mäuse nach einer gewissen Zeit im Hippocampus mehr Nervenzellen als die benachteiligten Mäuse in den normalen Käfigen. In Fred H. Gages Labor am Salk Institut in La Jolla in Kalifornien haben wir mit diesen Experimenten erstmals gezeigt, dass auch im erwachsenen Gehirn erfahrungs- und funktionsabhängig noch neue Nervenzellen gebildet werden können. Und dies ist sogar bei sehr alten Mäusen noch so. Die Mäuse, die in den abwechslungsreichen Käfigen gehalten werden, können auch bestimmte Aufgaben besser lernen als Tiere, die in »normalen«, vergleichsweise spartanischen Käfigen leben müssen. Der Schluss liegt nahe, dass es die neuen Nervenzellen sind, die die Tiere besser lernen lassen. Das ist allerdings bis heute noch nicht bewiesen. Der zu Grunde liegende Mechanismus aber ist in jedem Fall hochinteressant. Denn hier folgt im Gehirn die Struktur der Funktion: Leben in einer komplexeren Umwelt bedingt die Produktion neuer Nervenzellen.

Aufschlussreicherweise reicht schon körperliche Aktivität allein aus, um die Stammzellen im Hippocampus anzuregen und die Produktion neuer Nervenzellen zu fördern. Die Notwendigkeit, lernen zu müssen, um dadurch mit der größeren Komplexität der Welt fertig zu werden, scheint

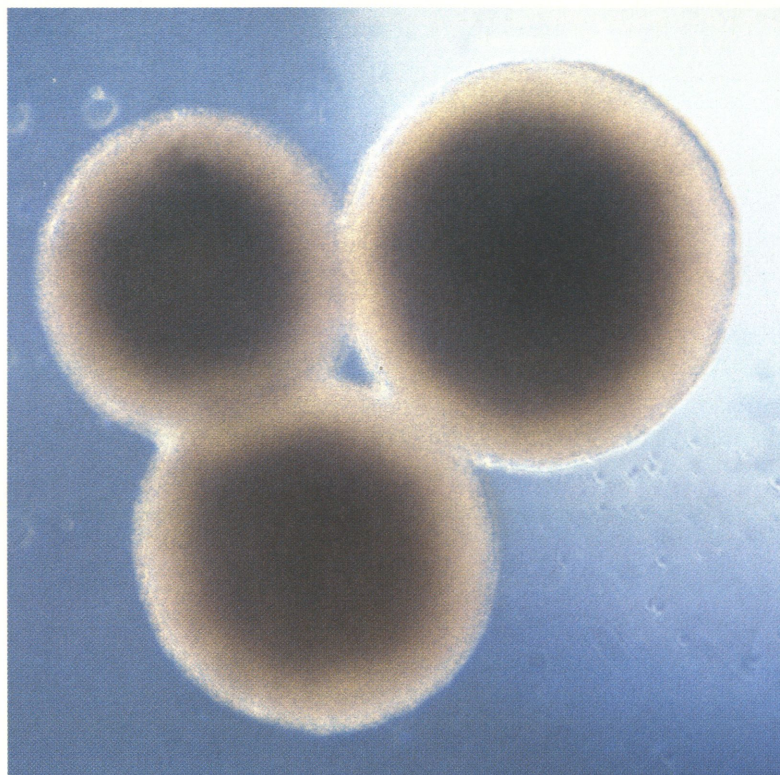
einen notwendigen Reiz darzustellen, damit die Nachkommen der sich teilenden Stammzellen überleben und auch wirklich in das Netzwerk des Gehirns eingebunden werden. Man sieht an diesen Unterschieden, dass sich die Produktion neuer Nervenzellen aus Stammzellen im Gehirn nicht mit einem einfachen An/Aus-Schalter steuern lässt. Vielmehr setzt die Regulation an mehreren Stellen an. Ein Regulationsschritt mag auf die Zellteilung der Stammzellen wirken, ein anderer auf die Selektion der neugeborenen Zellen und ihr Überleben, ein dritter auf die Entscheidung, welcher Typ Zelle entstehen soll, ein vierter auf die Ausbildung der Charakteristika dieses Zelltyps, ein fünfter auf die Einbindung der neuen Zellen in das bestehende Netz. Wie das geschieht, wie viele Stufen der Regulation es gibt und wie diese Unterregulationen elegant und flexibel miteinander interagieren, ist noch weitgehend unbekannt. Auch in Regensburg wird daran gearbeitet, diese Geheimnisse aufzudecken.

Aktuelle Regensburger Forschung über Stammzellen im Gehirn

An der Neurologischen Universitätsklinik Regensburg, die von Prof. Dr. Ulrich Bogdahn geleitet wird, beschäftigt sich eine Arbeitsgruppe mit der Biologie neuronaler Stammzellen. Diese Aktivitäten wurden initiiert von Dr. Jürgen Winkler, der in den vergangenen Jahren den Aufbau einer Arbeitsgruppe vorangetrieben hat, in der in enger Kooperation zwei verschiedene Aspekte der Stammzellbiologie des Gehirns bearbeitet werden. Eine Nachwuchsgruppe, gefördert aus Mitteln der Volkswagen-Stiftung, unter der Leitung von Dr. Ludwig Aigner untersucht Stammzellen aus dem Gehirn in der Zellkultur. Stammzellen lassen sich aus dem Gehirn von Tieren und Menschen isolieren. Sie teilen sich in der Nährflüssigkeit, vermehren sich und wachsen zu kugelförmigen Kolonien heran **3**. An den in der Kultur gehaltenen Zellen kann eine Vielzahl von Experimenten durchgeführt werden, um herauszufinden, was das Besondere an ihnen ist, wie sie sich beeinflussen lassen und wie man erreichen kann, dass aus ihnen Nervenzellen eines gewünschten Typs entstehen. Viele derartige Versuche kann man nur in der Zellkultur mit ihren definierten Bedingungen durchführen. Andere Untersuchungen sind nur im Gehirn selbst möglich.

Der andere Zweig der Regensburger Arbeitsgruppe beschäftigt sich deshalb mit den Stammzellen in ihrer natürlichen Umgebung des Gehirns und wird von Dr. H. Georg Kuhn geleitet. Hier ist einer der Forschungsschwerpunkte die Frage, nicht nur, was die Stammzellen im Gehirn leben lässt, sondern auch, was sie sterben lässt. Das Gehirn nutzt das Potenzial der Stammzellen, so scheint es, ja nur begrenzt, und eine Vielzahl der Zellen, die Nervenzellen hätten werden können, werden eliminiert.

In diesen zweiten Bereich fallen auch unsere eigenen Untersuchungen zur Regulation der Produktion neuer Nervenzellen durch Umweltreize und körperliche Aktivität, die sich der Frage der Plastizität des erwachsenen Gehirns durch neue Nervenzellen ganz direkt annehmen.



Die Ansiedlung der Arbeitsgruppe an der Neurologischen Universitätsklinik verfolgt auch das ehrgeizige Ziel, das große Potenzial der Stammzellen eines Tages zur Therapie von neurologischen Erkrankungen zu nutzen, vor allem solchen, die mit dem Untergang von Nervenzellen einhergehen. Gerade für die Behandlung der Parkinson'schen Erkrankung, bei der der Verlust einer bestimmten Gruppe von Nervenzellen für die behindernden Symptome verantwortlich ist, könnten neue Therapien erfolgreich sein, die darauf abzielen, die Funktion dieser verlorenen Nervenzellen wiederherzustellen, indem man die Zellen ersetzt. Stammzellen wären Quelle dieses Zellersatzes, sei es in der Zellkultur als Vorstufe zur Transplantation in das Gehirn oder direkt »vor Ort« im Gehirn, wo sie offensichtlich untätig ruhen. Es gilt zu erforschen, wie die Regulation dieser Zellen funktioniert und wie man sie für die Therapie nutzen könnte. Dabei wird man nicht ganze Gehirnbezirke ersetzen können, aber das Beispiel des Morbus Parkinson, bei dem der Verlust bereits relativ weniger Zellen so deutliche Folgen hat, lässt hoffen, dass in vielen Fällen auch der gezielte Ersatz von sehr wenigen Zellen ausreichend sein würde, um die Krankheit zu lindern oder gar zu heilen.

Diese zielorientierte Forschung geht in Regensburg Hand in Hand mit Grundlagenforschung – einerseits, weil anwendungsbezogene Wissenschaft immer des Rückhalts in der Grundlagenforschung bedarf, andererseits aber auch um deren selbst willen. In diesem Zusammenhang interessiert uns besonders, welche Rolle die neuen Nervenzellen für die Funktion des erwachsenen Gehirns spielen. Diese Frage ist letztlich elementar für das Verständnis, wie Struktur und Funktion des Gehirns zusammenhängen.

3 Neue Nervenzellen im erwachsenen Gehirn bilden sich aus neuronalen Stammzellen. Diese Stammzellen kann man auch in der Zellkultur wachsen lassen. Sie bilden dann solche charakteristischen, kugelförmigen Kolonien, so genannte *Neurospheres*.

Dr. med.

Gerd Kempermann

geb. 1965 in Köln.

Studium der Medizin in Köln und Freiburg i.Br., Staatsexamen und Promotion 1993. Arzt im Praktikum in Freiburg (Neuropathologie).

1995–1998 Postdoktorand bei Fred H. Gage am Salk Institut, La Jolla, USA.

1998–2000 Wiss. Assistent an der Universität Regensburg, Neurologische Universitätsklinik. Seit September 2000 Arbeitsgruppenleiter Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin, Berlin.

Forschungsgebiete:

Erfahrungs- und aktivitätsabhängige Regulation der Produktion neuer Nervenzellen im erwachsenen Gehirn und ihre Genetik.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 68

Und läuft und läuft und läuft

Katalysatoren: Schwerarbeiter in Chemie und Biologie

Katalyse

Was sorgt dafür, dass ein Auto Benzin sauber verbrennt? Wodurch werden in unserem Körper unerwünschte Stoffe, wie z. B. Alkohol, schnell und effektiv abgebaut? Warum sind schon geringe Mengen an Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKWs) für die Ozonschicht unserer Atmosphäre so gefährlich? Obwohl hier ganz unterschiedliche Prozesse ablaufen, ist doch allen gemeinsam, dass Katalysatoren dabei eine entscheidende Rolle spielen.

Aller Anfang ist schwer!

Im Jahre 1812 beobachtete der aus der Nähe von Hof stammende Chemiker Johann Wolfgang Döbereiner, dass die recht reaktionsträgen Gase Wasserstoff und Sauerstoff sich bei Kontakt mit einem Platinblech heftig und unter Feuererscheinung zu Wasser umsetzen. In diesem »Berührungsphänomen«, wie Döbereiner es nannte, wurde allerdings noch nicht das Prinzip der Katalyse erkannt. Immerhin entstand durch diese Entdeckung bereits eine praktische Anwendung: die ersten Feuerzeuge.

Der Begriff Katalyse wurde 1836 von Jöns Jacob Berzelius, dem großen schwedischen Chemiker des 19. Jahrhunderts, für die Beschleunigung einer chemischen Reaktion durch scheinbar nicht an ihr teilnehmende Stoffe geprägt. Diesen Stoffen sprach Berzelius eine *katalytische Kraft* zu, die *allein durch ihre Anwesenheit und nicht durch ihre eigene Affinität in der Lage ist, Affinitäten zu wecken, die sonst ... schlummern*.

Wie widersprüchlich und schwer zu verstehen diese Vorgänge damals waren, zeigt ein Zitat Justus von Liebig aus seiner Zeit am chemischen Laboratorium der Universität München fast dreißig Jahre später: *Es gibt kaum etwas, was gegen die Regeln echter Naturforschung mehr streitet, als die Erfindung und der Gebrauch des Wortes Katalyse oder katalytische Kraft; wir alle wissen, daß in diesem Worte keine Wahrheit liegt ...*

Trotzdem konnte dieses vernichtende Urteil des bedeutendsten Chemikers jener Zeit den Siegeszug der Katalyse durch alle Bereiche der Chemie nicht aufhalten. Das 20. Jahrhundert war durch viele revolutionäre Entdeckungen gekennzeichnet: Arzneimittel, Kunststoffe, Farben, Lacke, Halbleiter, Kosmetika, Waschmittel oder die Abfallreinigung in modernen Kläranlagen – dies sind nur einige Beispiele, bei denen der Einsatz von Katalysatoren unverzichtbar ist.

Was sind Katalysatoren und wie funktionieren sie?

Ein Katalysator ist ein Heiratsvermittler – jedenfalls verwenden die Chinesen das gleiche Schriftzeichen für die auf den ersten Blick so unterschiedlichen Begriffe **1**. Tatsächlich kommt einem Katalysator die Rolle eines Vermittlers zwischen zwei Partnern zu, die sich ohne dessen Anwesenheit nur langsam oder auch gar nicht miteinander verbinden würden. Bei einer chemischen Reaktion werden nämlich in der Regel zwei Ausgangsverbindungen in ein Produkt umgewandelt. Hierfür muss eine Barriere überwunden werden, vergleichbar mit einem Berg, der zwischen Start (Ausgangsverbindungen) und Ziel (Produkt) liegt und auf verschiedenen, unterschiedlich beschwerlichen Wegen überschritten werden kann. Durch einen Katalysator wird ein Reaktionspfad eröffnet, der besonders leicht zu begehen ist **2**. Es kommt so zu einer Beschleunigung der Reaktion, oder die Reaktion kommt dadurch überhaupt erst in Gang. Keinesfalls kann jedoch ein Katalysator die Lage des Start- und Zielpunktes und damit die Triebkraft *Energiegewinn* einer Reaktion verändern. Moleküle sind konsequenter als Menschen: Eine Verbindung zwischen zwei Partnern, die aus energetischen Gründen ungünstig ist, kann auch durch den besten Katalysator nicht angetrieben werden.

Behalten wir bei den folgenden Ausführungen weiterhin das Bild des Heiratsvermittlers als Hilfestellung im Gedächtnis. Ein Katalysator nimmt an einer chemischen Reaktion zwar teil, wird aber dabei nicht verbraucht. Somit sollte ein Katalysator ein unverwüstliches Arbeitsvehikel sein, das seine Aufgaben ohne Verschleiß und Entstehung von Abfällen erfüllt – leider ist dies nur theoretisch der Fall. Ein Katalysator leistet Schwerstarbeit, um eine erfolgreiche Reaktion zu ermöglichen: Er aktiviert und arrangiert die Partner in einem geeigneten Abstand zueinander, so dass sie sich verbinden können. Nach erfolgreicher Arbeit – ein Reaktionszyklus ist abgeschlossen – ist er wieder frei und beginnt sofort aufs Neue, an einer Liaison zwischen zwei neuen Partnern zu arbeiten. Wie viele Reaktionszyklen absolut (man spricht von Wechsel- oder Turnover-Zahlen) und wie viele Reaktionszyklen pro Zeit (man spricht von Wechsel- oder Turnover-Frequenzen) ein Katalysator leisten kann, bestimmt seine Wirksamkeit. Mit der Zeit ermüdet ein Katalysator, insbesondere dadurch, dass er seinerseits dem Charme eines Reaktionspartners nicht widerstehen kann und sich mit Letzterem verbindet: Von nun an steht er nicht mehr als Vermittler zur Ver-

触 媒

1 Diese chinesischen Schriftzeichen (phonetische Aussprache *tsao mei*) bedeuten sowohl *Heiratsvermittler* als auch *Katalysator*.

fügung. Anders als in Literatur und Film fasst der Chemiker diesen Vorgang keineswegs als Happy End auf: Man sagt, *der Katalysator sei vergiftet!*

Es gibt katalytische Prozesse, bei denen eine Million und mehr Reaktionszyklen erreicht werden. Bei der Synthese von Natur- und Wirkstoffen zur Herstellung neuer Arzneimittel gelten dagegen hundert Reaktionszyklen oft schon als gut, diese Zahl ist für viele Reaktionen aber noch deutlich kleiner. Auch die Geschwindigkeit, mit der Katalysatoren arbeiten, ist oft gering: Wechselfrequenzen von einem Reaktionszyklus pro Stunde und Katalysatormolekül sind keine Seltenheit. Trotzdem ist der Einsatz von Katalysatoren aus ökologischen und ökonomischen Gründen prinzipiell außerordentlich attraktiv. Reduzierung von Abfall und Energieverbrauch sowie Schonung der Ressourcen bei chemischen Prozessen sind die wesentlichen Vorteile, die das Streben nach Verbesserung und Neuentwicklung von Katalysatoren verständlich machen.

Edelmetalle – Schmuckstücke unter den Katalysatoren

Platin wird nicht nur in Form von Schmuck geschätzt, das Edelmetall leistet auch als Katalysator gute Dienste. Rhodium, Ruthenium und Palladium haben bisher noch nicht Verwendung in Ringen, Halsketten oder Armreifen gefunden, und das ist aus Sicht ihrer Bedeutung in der Chemie auch gut so. Die genannten Metalle, die hundertmal seltener als Gold und damit auch wesentlich teurer sind, katalysieren eine Vielzahl von nützlichen chemischen Prozessen.

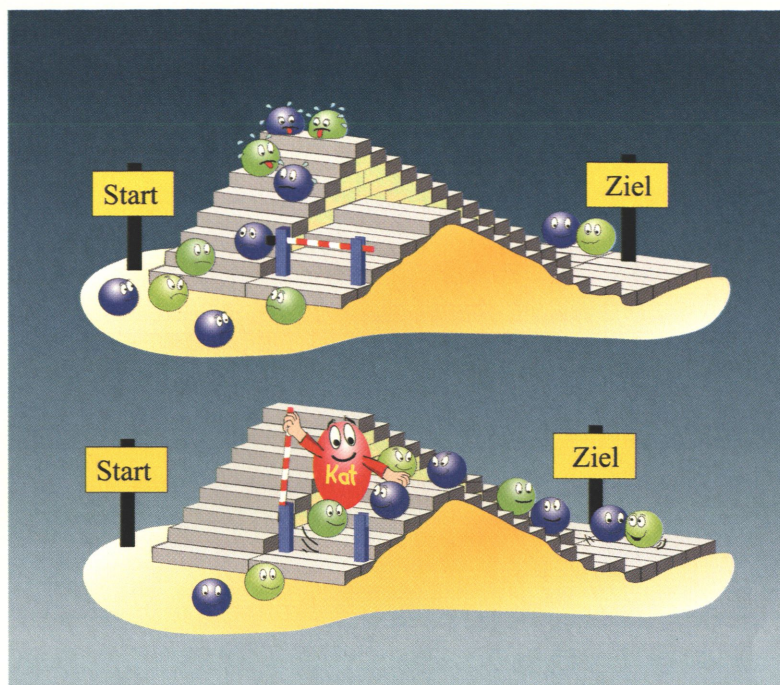
Bei der Verbrennung von Benzin in den Motoren unserer Autos entstehen zum größten Teil Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O) **3**. Weitere Abgase sind unverbranntes Benzin, Stickoxide (NO_x) und vor allem das hochgiftige Kohlenmonoxid (CO). Diese Stoffe werden beim Durchleiten durch die in den Auspuffanlagen eingebauten Katalysatoren **4**, die im Wesentlichen aus Platin, Palladium und Rhodium bestehen, vollständig zu den natürlichen Luftbestandteilen Stickstoff und Kohlendioxid umgesetzt. Das Prinzip hierbei ist, Moleküle wie Kohlenmonoxid an die Edelmetalle zu binden und dadurch für eine Verbrennung mit Sauerstoff zu aktivieren. Betrug vor Einführung der Katalysatortechnik in Automobilen der Kohlenmonoxid-Gehalt der Luft in Großstädten noch bis zu 200 ppm* (die für Menschen tödliche Konzen-

tration entspricht etwa 750 ppm = 0,075 Prozent), so liegt der Wert heute nur noch bei durchschnittlich 5 ppm. Damit dürfte eine der stärksten Belastungen durch Kohlenmonoxid für den Menschen heutzutage von den Rauchern ausgehen – Zigarettenrauch enthält etwa 5 Prozent (!) Kohlenmonoxid, das durch die Umgebung glücklicherweise schnell verdünnt wird. Ein Katalysator für Zigaretten wäre jedoch nicht nur aus Kostengründen unpraktikabel, denn Zigaretten enthalten weitere Stoffe, die außer Menschen auch Katalysatoren vergiften. Katalysatortgifte für Platin und Palladium sind zum Beispiel Schwefel- und Bleiverbindungen, weswegen bei der Einführung der Autokatalysatoren höhere Anforderungen an die Reinheit des Benzins gestellt werden mussten: Bleifreies Benzin war das für unsere Umwelt positive Ergebnis. Für einen Abgaskatalysator werden etwa 1,5 bis 3 Gramm der genannten Edelmetalle benötigt. Bei insgesamt über einer halben Milliarde registrierter Fahrzeuge werden für Katalysatoren ungefähr 2000 Tonnen Edelmetalle benötigt, die glücklicherweise wieder zurückgewonnen werden können.

Kohlenmonoxid hat aber nicht nur die eben geschilderten toxischen Eigenschaften, sondern

2 Prinzip der Katalyse: Ohne Katalysator (oben) muss ein hoher ›Energieberg‹ (=Aktivierungsenergie) überwunden werden. In Gegenwart eines Katalysators kann ein alternativer Reaktionsweg mit einem niedrigen ›Energieberg‹ beschritten werden. Die Reaktion verläuft leichter.

3 Verbrennungsprozesse bei der Abgasreinigung.
oben: Verbrennung von unverbranntem Benzin.
mitte: Oxidation von Kohlenmonoxid.
unten: Redoxprozess zur Umwandlung von Stickoxiden und Kohlenmonoxid.



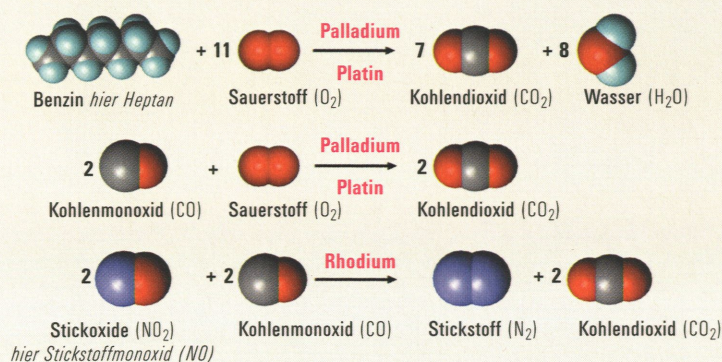
* Definition ppm

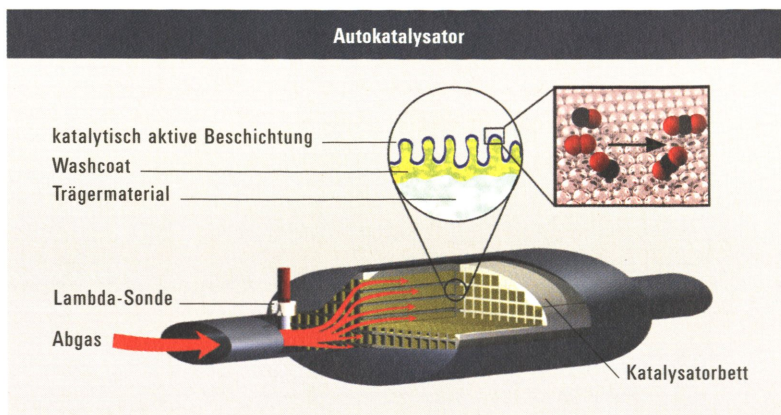
ppm = parts per million

200 ppm Kohlenmonoxid bedeuten eine Konzentration von 200 Molekülen Kohlenmonoxid pro einer Million Luftmoleküle (entspricht $200/1000000 = 0,0002$ oder 0,02 %).

Eine gute Eselsbrücke für die Einheit ppm ist **Preußen pro Million Münchner**, wobei nach Schätzungen des Statistischen Landesamts München die Zahl der Norddeutschen in München bei etwa 80 000 ppm liegen dürfte.

Reinigung von Autoabgasen



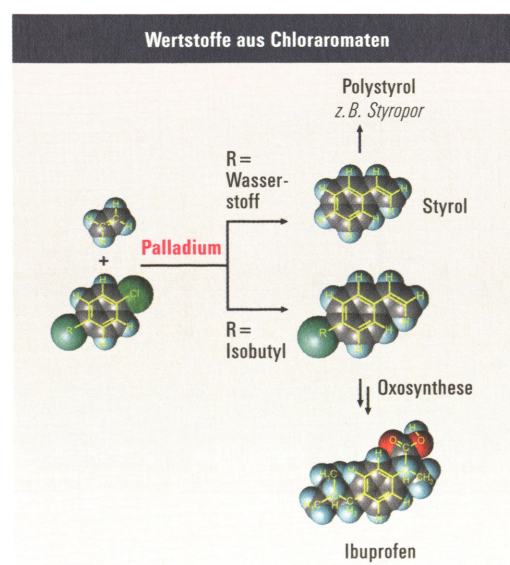
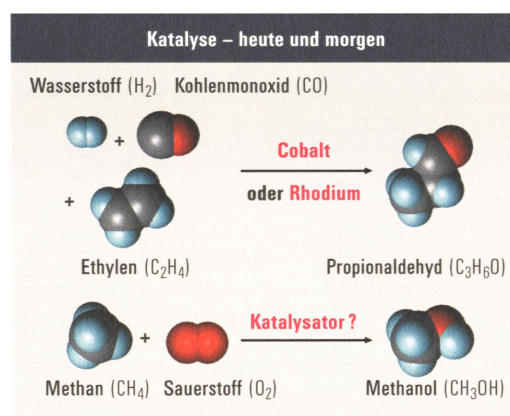


4 Abgasreinigung mit dem 3-Wege-Katalysator: Auf einem keramischen oder metallischen Träger mit feinen Kanälen ist der ›Washcoat‹, eine Bindeschicht, aufgetragen, auf dessen Oberfläche z. B. Platin als katalytisch wirksame Beschichtung fein verteilt aufgebracht wird. Die Schicht katalysiert die in **3** beschriebenen Prozesse. Die Lambda-Sonde sorgt für den optimalen Sauerstoffgehalt im Abgas.

5 Wirklichkeit und Wunsch für katalytische Prozesse.
oben:
Oxosynthese
unten:
Oxidation von Methan zu Methanol durch Sauerstoff, der ›Heilige Gral‹ in der Chemie.

6 Metallkatalysierte Prozesse an der Schwelle zur industriellen Anwendung: Synthese von Styrol (oben) und Ibuprofen (unten) aus billigen Chloraromaten.

dient auch als wertvolles Ausgangsmaterial für chemische Synthesen. Eines der bedeutendsten metallkatalysierten Verfahren ist die 1938 von Otto Roelen bei der Ruhrchemie/Oberhausen entdeckte Oxosynthese, mit der jährlich über 7 Millionen Tonnen an chemischen Verbindungen zur Herstellung von Lacken, Lösungsmitteln, Aromastoffen, Arzneimitteln und vielem mehr produziert werden. Bei diesem Prozess reagiert ein Olefin, etwa aus Erdöl gewonnenes Ethylen, mit Kohlenmonoxid und Wasserstoff zu einem Aldehyd **5**. Als Katalysatoren verwendet man industriell vor allem das preiswerte Cobalt, wesentlich effizienter sind jedoch die sehr viel teureren Rhodiumkatalysatoren. Vom Standpunkt der Ökologie und Ökonomie betrachtet, ist die Oxosynthese unschlagbar: Es findet



eine restlose Vereinigung der Ausgangsstoffe zum gewünschten Produkt statt, ohne dass bei diesem Vorgang Abfallprodukte entstehen. In der chemischen Forschung sucht man intensiv nach ähnlichen Prozessen: Ein durchaus realisierbarer Traum wäre die direkte Umsetzung von Methan (= Erdgas oder Biogas) mit Luftsauerstoff zu Methanol, einem wichtigen Lösungsmittel und möglichen Ersatzstoff für Benzin. Solche Oxidationen gelten als der ›Heilige Gral‹ der Chemie, der durch die Fortschritte bei der Entwicklung neuer Katalysatoren durchaus erobert werden könnte.

Palladium ist wie kein anderes Metall in der Lage, eine große Zahl chemischer Reaktionen zu katalysieren. Vor allem für den so wichtigen Aufbau von Kohlenstoffgerüsten, die – analog zu den Grundmauern eines Hauses – das Fundament in der Organischen Chemie bilden, leistet Palladium unschätzbare Dienste. Beispiele sind die Synthese von Styrol oder von Ibuprofen aus Chloraromaten und Ethylen **6** – Polystyrol findet Verwendung als Isoliermaterial, z. B. Styropor als Dämmschutzmaterial in Häusern oder für Wärme- und Kühlboxen für Lebensmittel, Ibuprofen dient als Schmerzmittel in mehr als vierzig in Deutschland zugelassenen Medikamenten, z. B. in Tonalin gegen Kopfschmerzen. Obwohl solche Reaktionen im Labor schon gut funktionieren, verhindert die insgesamt zu geringe Reaktivität und Lebensdauer der Palladiumkatalysatoren derzeit noch eine Anwendung in der Industrie. Aus diesem Grunde wird intensiv nach Verbesserungen gesucht. Neben der Entwicklung neuer Katalysatoren überprüft man den unterstützenden Einsatz von Mikrowellen (Experimente werden in für den Laborgebrauch umgebauten haushaltsüblichen Mikrowellenherden durchgeführt) und Ultraschall (bekannt als Technik in der Schwangerschaftsuntersuchung, für chemische Synthesen werden allerdings sehr viel leistungsstärkere Geräte verwendet). Überkritisches Kohlendioxid als umweltfreundliches Lösungsmittel (die bekannteste Anwendung für überkritisches Kohlendioxid ist momentan die Entkoffeinierung von Kaffee) für den Einsatz in Katalysen ist ebenfalls ein vielversprechender Ansatz. Wir konnten in unseren Arbeiten zeigen, dass bei bestimmten Palladium-katalysierten Reaktionen durch die Anwendung von hohen Drücken bis zu 10 kbar* deutlich höhere Reaktionsgeschwindigkeiten (Faktor 100) und längere Lebensdauern der Katalysatoren (Faktor 1000) erreicht werden können als bei Normaldruck. Die höhere Aktivität des Katalysators wurde hier durch Anwendung einer zusätzlichen Technik erreicht, die grundsätz-

* Definition kbar

10 kbar = 1 t/cm^2

dies entspricht etwa dem Druck, den man mit einem Wagenheber mit einer Anhebefläche von $1 \times 1 \text{ cm}$ ausüben müsste, um einen Personenkraftwagen anzuheben.

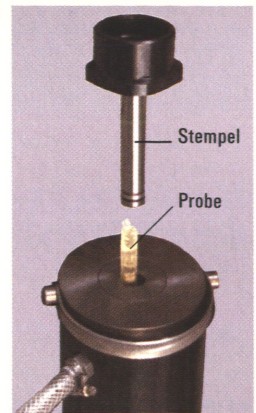
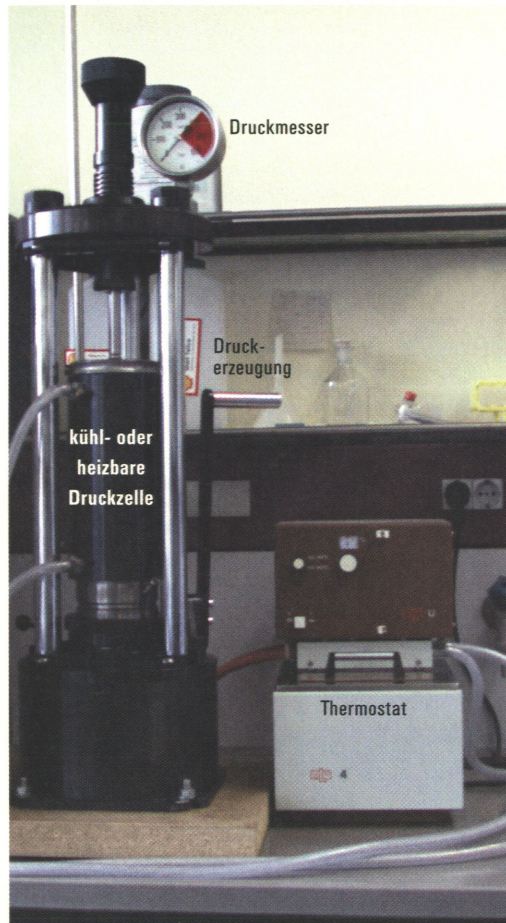
Zum Vergleich:

Der Luftdruck auf der Erde (= Normaldruck) beträgt etwa 1 bar.

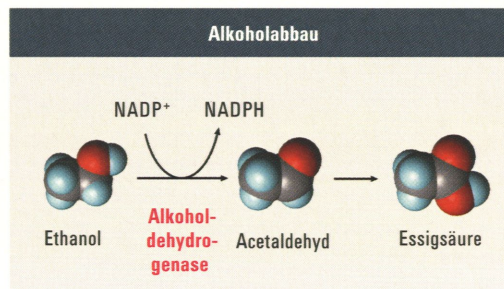
lich leicht handhabbar und verfügbar ist **7**, aber für chemische Prozesse in großem Maßstab angepasst werden müsste. Dieser Aufwand würde sich nur lohnen, wenn der Einsatz von Hochdruck eine Vielzahl katalysierter Prozesse durchschlagend verbessern könnte. Hierfür ist aber zunächst eine grundlegende Erforschung der Möglichkeiten nötig, die solche Techniken bieten – ein gutes Beispiel für das sinnvolle Zusammenspiel aus Grundlagenforschung an den Universitäten und angewandter Forschung in der Industrie.

Enzyme – Katalysatoren der Natur

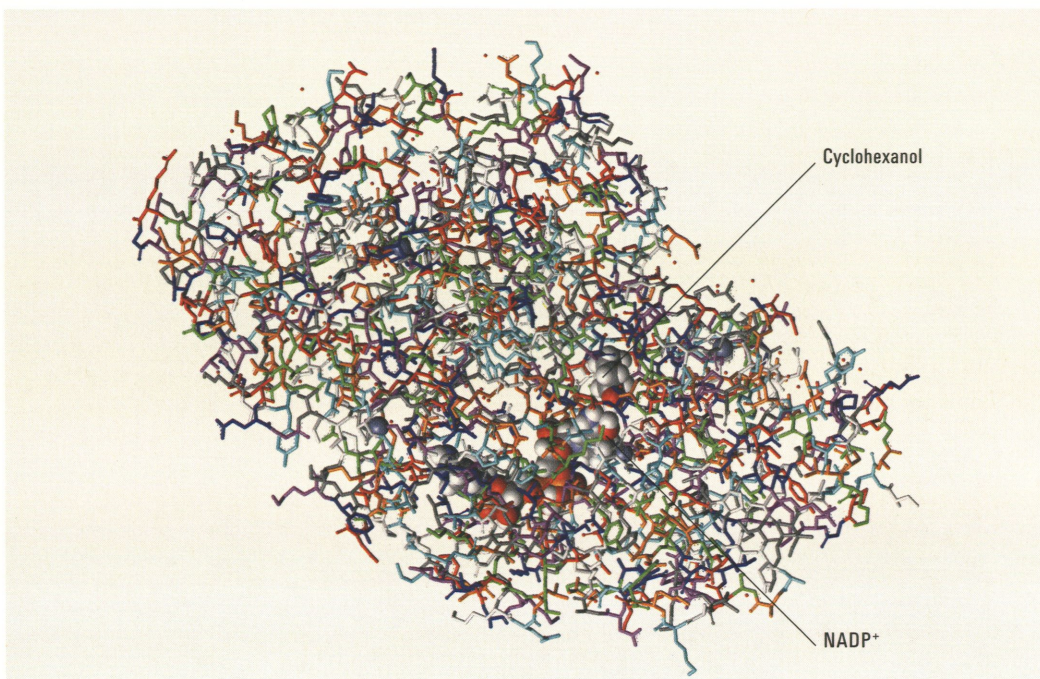
Auch wenn das Konzept der Katalyse erst im vorigen Jahrhundert durch den Menschen erkannt worden ist, nutzt die Natur Katalysatoren in Form von Enzymen seit Urzeiten meisterhaft: Leben ohne Katalyse wäre nicht denkbar! Besonders beeindruckend sind die Reaktionsgeschwindigkeiten von Enzymen, die mit bis zu 10 Millionen Zyklen pro Sekunde die durch den Menschen geschaffenen Katalysatoren wie lahme Enten erscheinen lassen. Enzyme übernehmen wichtige Funktionen in unserem Körper, z. B. sorgt die Alkoholdehydrogenase dafür, dass ein mäßiger Alkoholenuss ohne Folgen bleibt. Durch das Enzym wird Alkohol zu Acetaldehyd und letztendlich zu Essigsäure oxidiert (hierdurch erklärt sich die Übersäuerung des Bluts nach starkem Alkoholkonsum, was durch das Einnehmen von Mitteln wie Alka Seltzer gemildert wird) und in dieser Form aus dem Körper ausgeschieden **8**. Diese Reaktion erfolgt jedoch für einen enzymatischen Prozess vergleichsweise langsam mit 90 bis 480 Reaktionszyklen pro Minute, woraus eine Abbaurate von etwa 0,1 Promille Alkohol pro Stunde resultiert. Das verwendete Prinzip ist das gleiche wie beim Autokatalysator: Ein Alkoholmolekül bindet sich an ein Metallzentrum, in diesem Fall an Zink, und wird dadurch für die Oxidation aktiviert. Ein Blick auf die Alkoholdehydrogenase **9** zeigt die unvergleichlich hohe Komplexität ihrer Struktur, die die Natur über



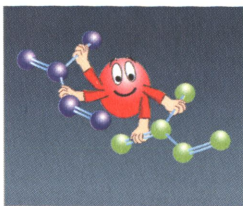
7 Apparatur zur Durchführung von Reaktionen unter hohen Drücken (bis zu 10 kbar) in Lösung. Die Reaktionsansätze werden in Teflonbeutel eingeschweißt und in die mit Petroleum gefüllte Druckzelle gegeben; die Druckerhöhung erfolgt hydraulisch.



8 Abbau von Ethanol (=Alkohol) zu Acetaldehyd und Essigsäure.



9 Die Alkoholdehydrogenase mit gebundenem NADP^+ und Alkohol (hier Cyclohexanol).



10

Ein multifunktionaler Katalysator erkennt sowohl das Substrat als auch das Reagenz und bringt sie in eine für die Reaktion günstige Anordnung.

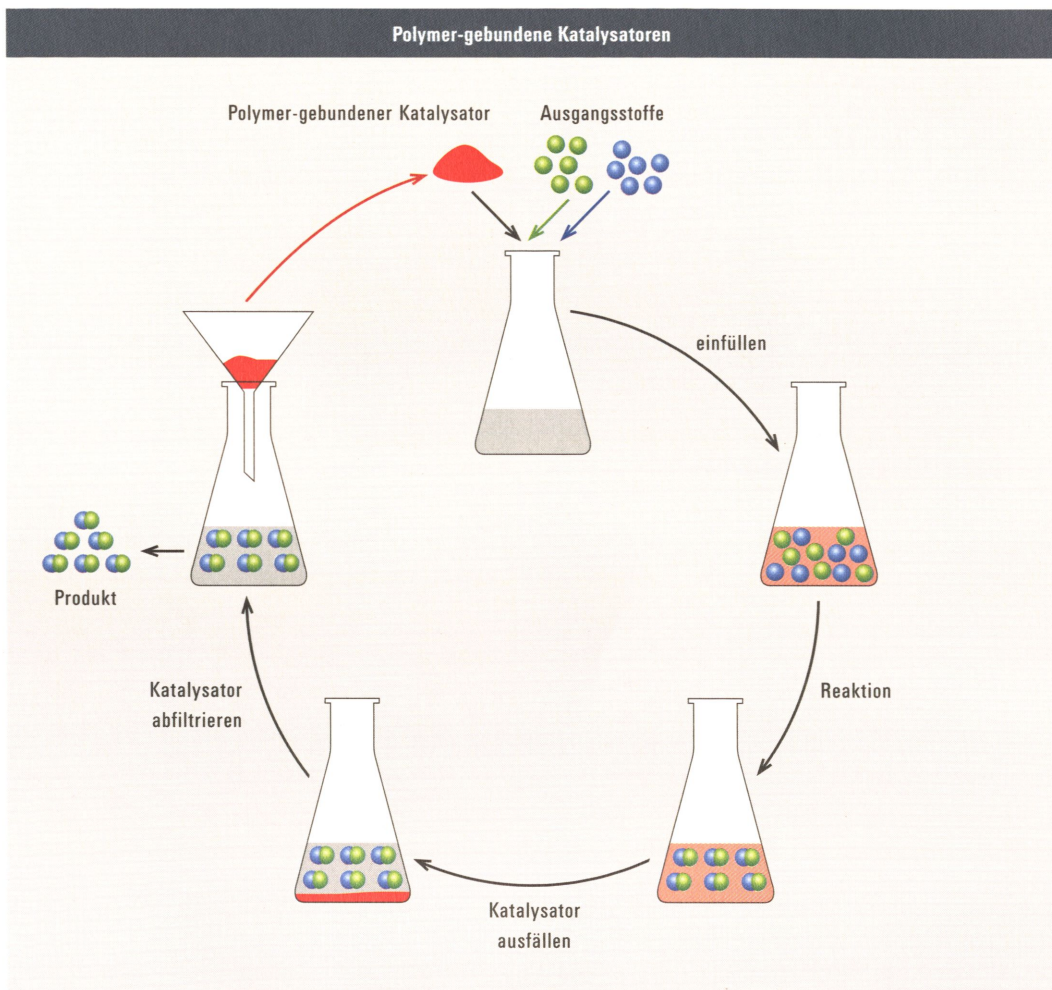
11

Bindet man Katalysatoren an Polymere, so lassen sie sich aus einem Reaktionsansatz leichter wieder abtrennen und für den nächsten Reaktionszyklus verwenden.

Jahrtausenden durch geduldiges Ausprobieren im Rahmen der Evolution gefunden hat. Im so genannten aktiven Zentrum des Enzyms findet eine exakte Erkennung und eine präzise Positionierung des Substrats (hier Alkohol) und der für die Umsetzung benötigten Reaktionspartner (hier NADP^+) statt. In dieser Multifunktionalität liegt der entscheidende Unterschied zu den meisten von Chemikern erdachten Katalysatoren, die in der Regel nur eine Komponente für eine Reaktion aktivieren können. Unser stetig wachsendes Verständnis vom Ablauf chemischer Reaktionen sollte in naher Zukunft strukturell einfache Katalysatoren hervorbringen können, die wie Enzyme mehrere Funktionen gleichzeitig ausüben können. Mit un-

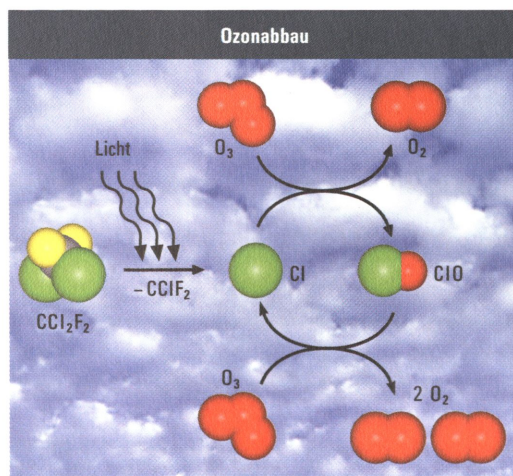
seren Arbeiten zur Entwicklung von Katalysatoren, die außer dem aktiven Metallzentrum über funktionelle Seitenarme zur Positionierung des Substrats verfügen **10**, versuchen wir, zu diesem interessanten Forschungsgebiet beizutragen.

Neben einem gezielten Vorgehen durch Herstellung einzelner Katalysatoren gewinnen seit neuestem kombinatorische Methoden mehr und mehr an Bedeutung. Hierbei synthetisiert man eine große Anzahl von Verbindungen, die möglicherweise Reaktionen katalysieren können. In groß angelegten, parallel durchgeführten Tests (Hochdurchsatz-Screening) werden solche so genannten Substanzbibliotheken dann auf ihre katalytische Wirksamkeit hin überprüft. Geeignete Kandidaten



12

Katalysezyklus eines Chloratoms im Ozonabbau: Durch UV-Strahlung wird ein FCKW-Molekül gespalten. Das dadurch freigesetzte Chloratom reagiert mit einem Molekül Ozon zu einem Sauerstoffmolekül und einem ClO-Radikal, das sich mit einem weiteren Ozonmolekül umsetzt. Dadurch entstehen wieder zwei Sauerstoffmoleküle, das Chloratom wird freigesetzt und steht für einen weiteren Katalysezyklus zur Verfügung.



werden weiter optimiert, indem man neue Bibliotheken aufbauend auf den gerade eben erkannten Strukturtypen synthetisiert. Das Wissen über prinzipiell geeignete Katalysatorstrukturen wird also mit den großen Variationsmöglichkeiten von chemischen Molekülen verbunden. Auf diese Weise sollten sich komplexere Katalysatoren finden lassen, die mehrere Funktionen ausüben können. Gleichzeitig muss jedoch nach einfach handhabbaren, wieder verwendbaren Katalysatoren gesucht werden, mit denen man verschiedene chemische Prozesse rasch und zuverlässig testen kann. Hierfür bindet man die Katalysatoren an Polymere, die man aufgrund ihrer Lösungseigenschaften aus einem Reaktionsansatz zurückgewinnen und wieder einsetzen kann. In unserer Gruppe werden Polymer-

gebundene Katalysatoren entwickelt, die sich in bestimmten organischen Lösungsmitteln gut lösen und so Reaktionen effektiv bewirken. Nach Beendigung der Umsetzung kann man die Katalysatoren durch Zugabe eines zweiten Lösungsmittels quantitativ ausfällen und so vollständig zurückgewinnen **11**.

Kleine Moleküle – große Wirkung

Hohe strukturelle Komplexität, wie eben bei den Enzymen vorgestellt, ist keineswegs eine Voraussetzung für einen effizienten Katalysator. Auch kleine Moleküle und sogar einzelne Atome können chemische Reaktionen katalysieren. Ein eher unerfreuliches Beispiel hierfür ist der Abbau der Ozonschicht durch Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs), die man in der Vergangenheit als Treibmittel in Spraydosen oder als Kühlmittel in Kühlschränken eingesetzt hat. Die eigentlichen Übeltäter sind gar nicht die FCKWs, sondern Chloratome, die durch UV-Strahlung aus den FCKWs abgespalten werden. Ein solches Chloratom zersetzt Ozon zu Sauerstoff, ohne dabei selbst verbraucht zu werden: Es wirkt also lediglich – aus Mangel an geeigneten Reaktionspartnern in der Stratosphäre, die es deaktivieren könnten – als sehr langlebiger Katalysator **12**. Die Wirkung der FCKWs wird durch den Katalysatoreffekt also verstärkt, so dass bereits geringe Mengen (ein einzelnes

Chloratom kann eine Million Ozonmoleküle zerstören!) eine nachhaltige Schädigung der Ozonschicht bewirken.

Fazit

Katalysatoren und chemische Reaktionen, die durch sie ermöglicht werden, findet man in allen Bereichen der Chemie und Biologie. Erst in den letzten hundert Jahren hat man konsequent damit begonnen, die Funktionsweise von Katalysatoren aufzuklären und neue Katalysatoren zu entwickeln. Trotz beachtlicher Erfolge in der Anwendung sind noch weit reichende Verbesserungen bekannter und die Entdeckung neuer katalytischer Prozesse unumgänglich, um bei steigenden Bevölkerungszahlen und gleichzeitig knapper werdenden Ressourcen die Weiterexistenz der Menschheit zu sichern. Die Forschung auf diesem Gebiet dürfte damit noch lange Zeit zu den aktuellsten und am intensivsten behandelten Themen in der Chemie gehören. Katalysatoren tragen ganz wesentlich zur Entwicklung von ökologischen und ökonomischen Prozessen bei, einem Ziel, dem sich Chemiker bereits seit langer Zeit verschrieben haben, ohne dass ein Begriff wie *green chemistry* dafür erfunden und strapaziert werden musste.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 69

Dr. rer. nat.

Peter Kreitmeier

geb. 1960 in Neuburg a. d. Donau.
Studium der Chemie an der Universität Regensburg, Promotion 1990. 1991 Wiss. Angestellter, 1992 Wiss. Assistent, seit 1998 Akad. Rat am Institut für Organische Chemie der Universität Regensburg.

Prof. Dr. rer. nat.

Oliver Reiser

geb. 1962 in Hamburg.
Studium der Chemie an den Universitäten Hamburg, Jerusalem und Los Angeles (UCLA), Promotion 1989. Postdoc-Aufenthalte 1989/90: IBM Research Center, San José, USA. 1990/91: Harvard University, Boston, USA. Wiss. Assistent Universität Göttingen 1992–1996, Habilitation 1995. 1996 Professor an der Universität Stuttgart, seit 1997 Professor an der Universität Regensburg.
Forschungsgebiete:
Katalyse, stereoselektive Synthese, Wirkstoffe.

Neues zu Altdorfer

Die Bildtafel »Die beiden Johannes« und ihr Stifter Johannes Trabolts (†1505)

Altdeutsche Malerei


Albrecht Altdorfer (um 1480–1538), Maler, Architekt und Ratsherr der Reichsstadt Regensburg, gilt mit Recht als ein Hauptmeister der altdeutschen Malerei neben dem freilich überragenden Albrecht Dürer. Vor allem auf dem Gebiet der Landschaftsmalerei kommt dem Werk Altdorfers höchster Rang zu. Eindrucksvoll dokumentiert dies auch die Darstellung der beiden Heiligen Johannes, des Täufers und des Evangelisten. In der Zusammenarbeit von Geschichtswissenschaft und Kunstgeschichte konnte nun die ursprüngliche Bestimmung der Bildtafel geklärt werden, die die außergewöhnliche künstlerische Form verständlich macht. Neue Erkenntnisse ergeben sich daraus auch für die Datierung dieses Altdorferschen Hauptwerkes, die durch den jüngsten restauratorischen Befund gestützt werden.

»Mit Blaulicht zurück an die Donau« – unter dieser Schlagzeile informierte eine große Münchener Tageszeitung am 6. November 1968 ihre Leser über einen herben Verlust der Alten Pinakothek. Denn wenige Tage zuvor war ein Meisterwerk Albrecht Altdorfers, die große Bildtafel »Die beiden Johannes«, unter Polizeischutz von München nach Regensburg zurückgebracht worden: »Traurige Gesichter der Münchner Konservatoren – lachende Mienen der Regensburger Museumsleute, die nunmehr ein Kunstwerk von Weltrang ihrer bisher schon hochbeachtlichen Kunstsammlung einverleiben konnten.« Die Verwaltung des St.-Katharinenspitals in Stadthof hatte nämlich als Eigentümer des Kunstwerkes verfügt, dass die 1925 zur Restaurierung nach München abgegebene und danach als Leihgabe in der Pinakothek verbliebene Tafel künftig im Historischen Museum der Stadt Regensburg aufbewahrt werden solle. Seitdem gehört das Bild zu den Zimelien dieser Institution. Ungeklärt ist allerdings, wie das bedeutende Werk in den Besitz des Katharinenspitals gelangt ist, wo es sich 1846 erstmals nachweisen lässt.

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts befand sich das Gemälde – wohl als Eigentum des Magistrats – noch im Regensburger Rathaus, »in dem Zimmer, wo bisher das Stadtgericht war«, wie Carolin Schmuck jüngst nachweisen konnte. Von dort wurde es im August 1811 in das Schottenkloster gebracht, wo es gemeinsam mit anderen Kunstwerken den Grundstock für eine geplante, aber nicht zur Ausführung gelangte Galerie bilden sollte. In das Blickfeld der kunsthistorischen Forschung

rückte das Bild allerdings erst im Jahre 1938, als es auf der großen Ausstellung »Albrecht Altdorfer und sein Kreis« in München zu sehen war. Schon die Bearbeiter des Ausstellungskatalogs wiesen nach, dass die Tafel ursprünglich für das Reichsstift St. Emmeram bestimmt war. Man berief sich dabei auf die Chronik des Regensburger Komponisten Andreas Raselius, der das Bild 1599 im Südflügel der Klosterkirche gesehen und folgendermaßen beschrieben hatte: *zu allernechst dabey [nämlich beim Grabe Bischof Tutos] oberhalb der thur, wie man zum creuzgang hinein geht, ist ein schöne und kunstreiche taffel, daran die zwen S. Johannes, der Teuffer und Evangelist artig abgemahlen sambt einer hubschen landschafft; hats ein alter doctor und canonicus dahin gestift, es hats aber Albrecht Altdorfer, weilandt burger und des raths alhie gemalet.* (Text nach der Handschrift in der Bayerischen Staatsbibliothek München, Cgm 3019, fol. 83) Wer allerdings der Stifter war und welche Funktion dem Tafelbild in der Emmeramskirche zukam, blieb bislang ungeklärt. Doch bevor wir uns diesen Fragen zuwenden, soll das Gemälde selbst in Augenschein genommen werden.

Beschreibung der Tafel »Die beiden Johannes«

Die Bildtafel (Öl/Laubholz), die heute die Maße 133 x 173 cm aufweist, ist am linken Rand beschnitten . Die Malschicht ist stark beschädigt und an vielen Stellen abgerieben. Schon mit bloßem Auge sind die von der Ausführung teilweise deutlich abweichenden Linien der Entwurfszeichnung zu sehen. Die genaueren Ursachen für diesen weit reichenden Substanzverlust sind nicht mehr zu klären, doch spricht einiges dafür, dass das Bild unter anderem den großen Kirchenbrand von St. Emmeram im August 1642 nicht unbeschadet überstanden hat.

Eingebettet in üppige Vegetation sitzen die beiden Heiligen ganz vorne im Bild auf dem Boden. Es scheint ein bühnenartig schmaler Platz auf einer Anhöhe zu sein, die, vom Standpunkt des Betrachters aus nicht einsehbar, nach hinten steil abfällt. Tief unten breitet sich hier ein offenes Gewässer aus. Eine zerklüftete Hügelkette säumt das linke Ufer und führt den Blick bis an den Horizont, wo Felsen, Wolken und Wasser in Farbe und Form zu verschmelzen scheinen.

Johannes der Täufer am rechten Bildrand hat einen erdig-roten, fellgefütterten Umhang um den nackten Körper geschlungen und blickt, das bärtige, von braunen Haarlocken wild umrahmte Haupt



1
Die beiden Johannes,
Öl/Laubholz, 133 x 173 cm,
um 1507.
(Regensburg, Historisches Museum,
Leihgabe des Katharinenspitals).

halb ins Profil gewandt, nach links zum Evangelisten hinüber. Die bloßen Füße auf dem Gras aufgestellt, hat er auf dem rechten Knie ein Buch liegen, das er mit der zur Faust geballten linken Hand geschlossen hält. Mit seiner Rechten zeigt er auf ein Lamm, das sich an sein Bein schmiegt. Die hoch aufragende Fahne weist das Tier als das Lamm Gottes aus, als das der Täufer Jesus von Nazareth erkannt hat (Johannes 1,29).

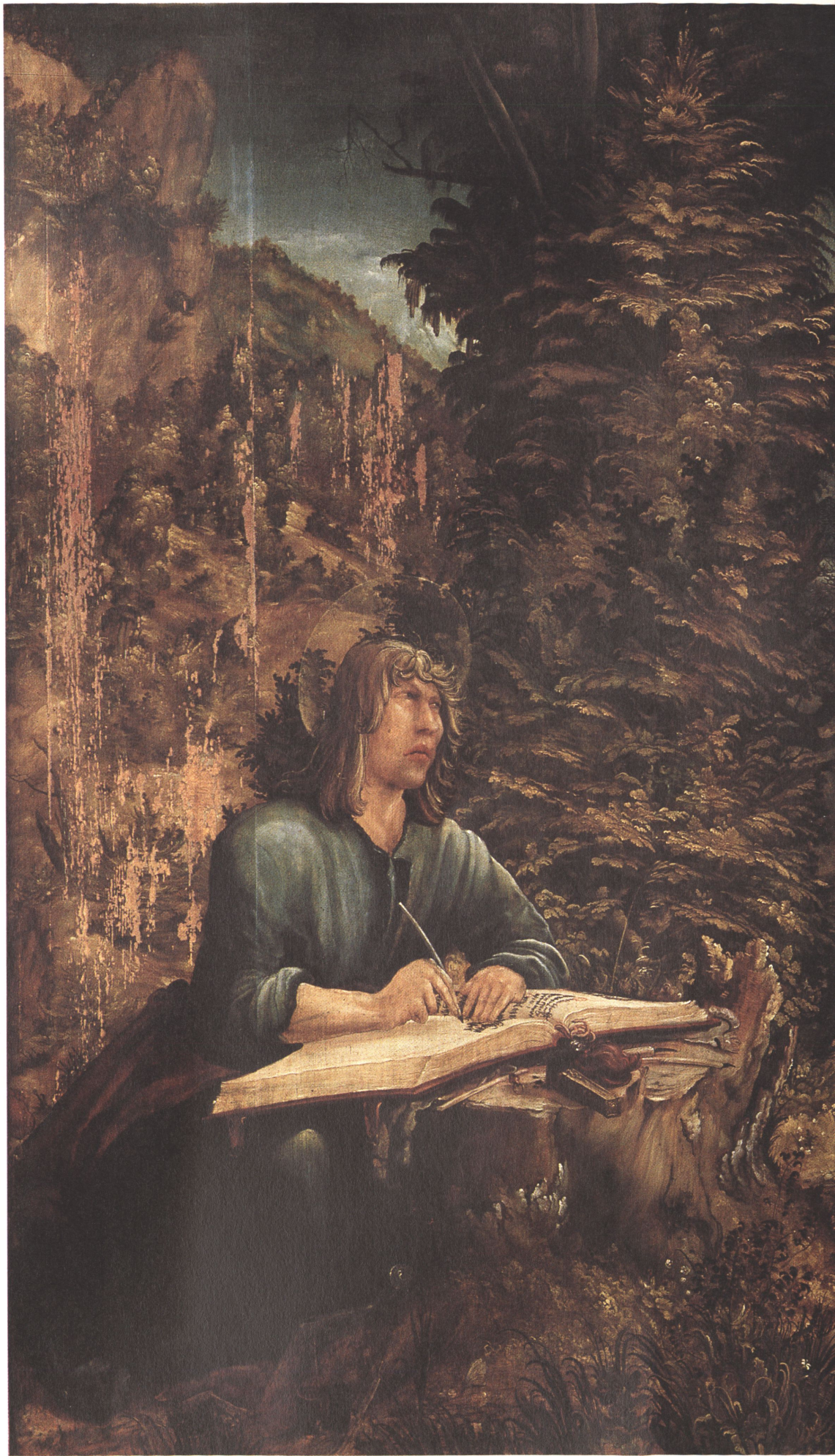
Der Evangelist hockt am linken Bildrand hinter einem Baumstumpf, den er als Schreibpult benutzt. In einem aufgeschlagenen Buch zeichnet er eine Vision auf, deren er soeben ansichtig wird: In einer lichten Wolke erscheint am weiten Himmel Maria, umgeben von Engeln, von Sternen bekrönt und auf der Mondsichel stehend. Dies ist die bekannte mariologische Auslegung eines Bildes aus der Apokalypse (12,1), der geheimen Offenbarung, als deren Autor der zusätzlich noch mit dem Lieblingsjünger Jesu gleichgesetzte Johannes der Evangelist gemeinhin galt. Er hat das jugendliche, von blonden Haaren umrahmte Gesicht vom Buch erhoben und blickt auf den Täufer. Die Vision nimmt er eher in seinem Inneren wahr als sie tatsächlich am Himmel zu schauen. Das Licht, das von den Buchseiten reflektiert wird und sein einfaches grünes Gewand stark aufhellt, scheint von der himmlischen Vision herzurühren. Ein Strahl verband im ursprünglichen Bestand tatsächlich den inspirierten Schreiber mit der Gloriele. Die in die Bildtiefe geführte Bucht in den Farbtönen des Gewandes erscheint ebenfalls wie in dieses überirdische Licht getaucht.

Die waldreiche, hügelige Landschaft führt die beiden Heiligen an einem gemeinsamen Ort zusammen. Licht, Farbe und Malweise verbinden die Figuren mit der Natur. Dennoch ist der einheitliche Bildraum zwischen den beiden Heiligen,

deren Begegnung ja nicht als historisches Faktum wiedergegeben werden kann, aufgeteilt. Dem Evangelisten sind steil ansteigende Hügel zugeordnet, der ihm zugewiesene Raum findet seine natürliche Begrenzung in der noch weit über den oberen Bildrand hinausragenden »Pflanzenfontäne«, wie Achim Hubel den gleichsam hochschießenden, dichten Laubbuschen in seiner grundlegenden Untersuchung der Bildtafel nannte. Die Silhouette des Täufers erscheint dagegen vor dem offenen Gewässer, im Rücken »stützt« ihn eine ebenfalls vom oberen Bildrand noch überschrittene Baumgruppe. Sein Platz wird zusätzlich von einer Königskerze und dem Kreuzstab des Lammes abgesteckt. Nur das Lamm, also das Christussymbol, und die Marienerscheinung durchkreuzen die abgegrenzten Sphären der beiden Figuren. Es sind mithin die göttlichen bzw. eschatologischen Motive im Bild, die eine formale, aber auch eine inhaltliche Verbindung schaffen zwischen dem Täufer, dem Vorläufer Christi am Ausgang des Alten Bundes, dessen Buch geschlossen und dessen Wachstum abgestorben ist (Johannes 3,30), und dem Evangelisten, dem am Beginn des Neuen Bundes der eschatologische Himmel offenbart wurde (Apokalypse 21). Einige aus der Vielfalt der wiedererkennbaren Pflanzen unterstreichen den zugleich symbolischen Charakter der so natürlich erscheinenden Landschaft, die den Visionär von der Insel Patmos und den Täufer am Jordan in einem für den Betrachter erfahrbaren Bildraum vereint.

Die verlorene Inschrift auf dem Rahmen des Bildes

Die bislang letzte ausführliche Analyse unserer Bildtafel ist der dänischen Kunsthistorikerin Ursula Fugmann zu verdanken, die in ihrer 1990 abgeschlossenen, leider noch ungedruckten Kopen-





hagener Dissertation vor allem den geistigen Hintergrund für die Naturauffassung und Kosmosvorstellung des Bildes zu klären versuchte. Eine Zusammenfassung ihrer Ergebnisse konnte sie 1995 im Katalog der Mittelaltersammlung des Regensburger Historischen Museums sowie jüngst in einer dänischen Fachzeitschrift veröffentlichen. Darin hat sie erstmals darauf hingewiesen, dass auf dem ursprünglichen Rahmen des Gemäldes (der sich nicht erhalten hat), eine Aufschrift angebracht war, die in lateinischen Hexametern den Bildinhalt erörtert und kommentiert. Leider waren in der von ihr herangezogenen Textvorlage – einer Handschrift der lateinischen Raselius-Chronik – nur vier der insgesamt neun Verse umfassenden Aufschrift enthalten, so dass sowohl der Name des Stifters als auch sein unmittelbarer Bezug zu den beiden Johannes unbekannt blieben. Der

vollständige Wortlaut ist indessen in zwei heute in der Bayerischen Staatsbibliothek aufbewahrten Codices abschriftlich überliefert; den besten Text bietet dabei eine im Jahre 1560 von dem späteren St. Emmeramer Abt Ambrosius Mayrhofer angelegte Handschrift, in München unter der Signatur Clm 14 900 aufbewahrt, die neben einem Schatzverzeichnis des Klosters St. Emmeram auch ein Verzeichnis der Messstiftungen und Weiheinschriften der Klosterkirche und ihrer Altäre enthält. (Ein etwas jüngerer Überlieferungsträger ist in der Handschrift mit der Signatur Clm 27 072 p. 124 erhalten geblieben, der die älteste Fassung der lateinischen Raselius-Chronik tradiert.) Im Folgenden wird der vollständige Text der ursprünglich auf dem Rahmen verzeichneten Verse nach Clm 14 900 fol. 32 wiedergegeben **2**:

2

Ursprüngliche Rahmenaufschrift von Altdorfers Bildtafel
»Die beiden Johannes« (um 1507),
jüngst gefunden in einem
Verzeichnis von 1560, das
Schätze und Inschriften der
Klosterkirche St. Emmeram enthält
(Bayerische Staatsbibliothek
München, Clm 14 900):

Während der »gottweise« Johannes
die geschauten Geheimnisse
niederschreibt,
erstrahlt am Himmel das Weib
unter dem Mantel der Sonne.
Der andere ist der heilige und be-
rühmte Täufer Johannes, der auf
das Lamm zeigt und erstrahlt,
indem er die Völker belehrt.
Ebenso möge [ein weiterer Johannes]
mit Beinamen Trabolz,
ein herausragender Doktor,
der die Dekrete der Väter und die
heiligen Gesetze gelehrt hat,
im Himmel erstrahlen und
für immer und ewig dort leben.
Er ruht hier sanft unter dem
behauenen Marmor begraben.
Achtzig Jahre hatte er in dieser
Welt gelebt.

tari S. Jacobi singulis diebus dormiis. Insep di
Amuerlari sui cum Vigiliis et mrisa defunctor
Anno dñi .M. cccc. lxxxvij.
Dñs Iohannes Trabolz doctor denotus et sacer
dos tradidit nobis. mñ. Florens minus. xxx.
pro quia tibi perit legi in Altari S. Apolorum Vira
Missa infra eadem tunc tunc. Insep et Amua
lariu. Cum offitio defunctorum mñit. M. D. vij.
Sepultus ad S. Emmeram Circa Altare Sancti
apoli Jacobi Habens Hoc Epitaphium ~
Mistica theosophus dum scribit visa Ioannes
Emicat in celo mulier sub solis amictu
Alter erat sacer et celebris Baptista Ioannes
Agnum demonstrans populosque docendo refulgens
Non secus egregius doctor cognomine Trabolz
Fulgeat in celis et vivat ingiter evo
Qui docuit decreta patrum legesque sacratas

Dulciter hic recubat sculpto sub marmore humato
Octoginta annis in mundo vixerat isto.
Anno 1505 die 28. mensis octobris Obijt ve
nerabilis et egregius Dñs Iohannes Trabolz de
notorum doctor Hic sepultus eius Anima re
quiescat in pace.

Dñs Hilprandus Starkhauser plebanus Inam
spredimiliter instituit singulis diebus legi missa
in capella S. Abdon et Sennie Instituit mñ super lu
me lampadis ibidem singulis noctibus ardens
pro quibus tradidit s. t. t. Grat. Quod si pradi
ta missa temerarie obmissa fuerit ad .vi. men
tium teneatur dare ppena peditam pecuniam
Ad eccliam cathedralen ut ibide constitutur Vi
carius ppetuus q. eantem ibidem expediat. Anno
Dñi .M. ccc. xij. Sepultus ante Altare mñ
dista capella S. Abdon et Sennie Epitaphium
Anno dñi .M. ccc. xix. Dñs Hilprandus de

Mistica theosophus dum scribit visa Ioannes,
Emicat in celo mulier sub solis amictu.
Alter erat sacer et celebris Baptista Ioannes
Agnum demonstrans populosque docendo refulgens.
Non secus egregius doctor cognomine Trabolz
Fulgeat in celis et vivat ingiter evo,
Qui docuit decreta patrum legesque sacratas,
Dulciter hic recubat sculpto sub marmore humatus.
Octoginta annis in mundo vixerat isto.

Diese neu entdeckten Verse liefern eine ganze Reihe von bislang unbekannten Informationen zu Altdorfers Bildtafel. Sie nennen uns den Namen des Stifters, den Doktor des Kirchenrechts Johannes Trabolz, dessen Gedächtnis das Gemälde für die Nachwelt bewahren sollte. Sodann ermöglichen es diese Verse, die ursprüngliche Funktion des Bildes zu rekonstruieren: Es diente als eine *tabula ad sepulturam*, eine Grabtafel also, die in unmittelbarer Nähe des Bestattungsortes aufgehängt war. In der Tat ist der in Vers 8 genannte *marmor sculptum* erhalten geblieben. Im südlichen Seitenschiff der Kirche von St. Emmeram, genau bei der Stelle, wo Andreas Raselius 1599 »Die beiden Johannes« gesehen hatte, findet sich noch heute eine aus Rotmarmor angefertigte Grabplatte **3**, die einen Priester darstellt und folgende Inschrift aufweist:

Anno 1505 die 28 mensis octobris obiit
venerabilis et egregius dominus Johannes Trabolz
decretorum doctor hic sepultus cuius anima
requiescat in pace.

Ferner macht erst der vollständige Wortlaut auf dem Rahmen das ikonographische Programm der Bildtafel verständlich. Der Stifter, der den Vornamen Johannes trägt, ließ seine beiden Namenspatrone darstellen, weil er sich deren Fürbitte erhoffte und in Ewigkeit mit ihnen vereint sein wollte. Der Bestattete versichert sich durch das Grabbild aber nicht nur des Beistandes seiner Namensheiligen, sondern er gesellt sich gleichsam selbst als Dritter zu den beiden Johannes und deren ja ebenfalls imaginärer Begegnung an einem gemeinsamen Schauplatz. Der so einheitlich erscheinende Bildraum, in dem sich die Natur zu einer Weltlandschaft weitet, ist zugleich auch ein Zeitenraum, der Altes und Neues Testament sowie eschatologische Heilserwartung miteinander verbindet. Der Verstorbene fügt sich hierin ein



3 Grabstein des
Doktor Johannes Trabolt
in der Kirche St. Emmeram,
Regensburg.
Die Übersetzung der lateinischen
Inscription:

*Im Jahre 1505, am 28. Oktober,
starb der verehrungswürdige
und ausgezeichnete Herr
Johannes Trabolt, ein Doktor
des Kirchenrechts, der hier
begraben ist; seine Seele möge
ruhen in Frieden.*

Domenico Ghirlandaio,
Die himmlische Erscheinung
der Madonna mit Kind
und die hll. Dominikus, Michael,
Johannes der Täufer und
Johannes der Evangelist
(München, Alte Pinakothek,
ursprüngliches Hochaltarbild von
S. Maria Novella, Florenz).



in der Hoffnung auf Erlösung durch das Lamm Gottes und die Vermittlung Mariens jetzt und am Ende der Zeiten. In der künstlerischen Gestaltung transponiert Albrecht Altdorfer die seit der frühchristlichen Kunst geläufige Darstellung der beiden namensgleichen Heiligen in eine neue Dimension, indem er deren inhaltliche Bedeutung in der außergewöhnlichen Bilderfindung anschaulich werden lässt.

Der Bildaussage vergleichbar ist ein in der Kunstgeschichte wenig präzise als »sacra conversazione« bezeichneten Altarbildtyp, der seit dem 15. Jahrhundert in der italienischen Kunst Verbreitung gefunden hat. Trotz der formal ganz unterschiedlichen Gestaltungen ist beiden gemeinsam die Darstellung von Heiligen in einem kohärenten Bildraum, die aber jeglicher Zeit und Handlung enthoben ist. Der Grund für das Zusammentreffen der Heiligen im Bild ist ihr Bezug zum Stiftergrab bzw. zum Altar, für den das Bild gestiftet wurde. Die Heiligen gruppieren sich als Garanten für die Erlösungshoffnung des Stifters um ein zentrales Bild der thronenden Madonna mit dem Kind, aber auch um die himmlisch erhöhte Maria. Neben einem architektonisch gestalteten Bildraum ist es auch die Landschaft, die den als himmlisch bzw. paradiesisch gedachten Raum der Heiligen bildet ⁴. Beispiele aus dem Werk der großen altniederländischen Maler Jan van Eyck und Rogier van der Weyden ebenso wie Albrecht Dürers zeigen, dass der Bildtypus den Künstlern nördlich der Alpen geläufig war. Bei den engen Handelsbeziehungen des Donauraumes zu Venedig ist auch nicht auszuschließen, dass Altdorfer – bevor er sich im Jahre 1505 endgültig in Regensburg niederließ – vielleicht doch selbst in Italien gewesen ist.

Durch die Auffindung der ursprünglich am Bildrahmen angebrachten Aufschrift ist es möglich geworden, das Rätsel um die Bestimmung der Bildtafel zu lösen; die Verse erklären aber auch Altdorfers außergewöhnliche Bilderfindung, die ohne offensichtliche Vorbilder die beiden Johannes in einem Raum vereint.

Zur Biografie des Stifters

Wer aber war dieser Doktor Johannes Trabolt, der 1505 in Regensburg verstarb und zu dessen Gedächtnis Altdorfers Bild in Auftrag gegeben wurde? Zwar fehlt bislang eine biografische Untersuchung zu diesem Juristen, aber die reiche Überlieferung der städtischen und kirchlichen Archive Regensburgs erlaubt eine vergleichsweise lückenlose Rekonstruktion seines Lebenswegs. Von den bislang ermittelten über fünfzig Belegen zu seiner Vita sollen im Folgenden nur die wichtigsten Zeugnisse vorgestellt werden.

Da Trabolt nach Ausweis seiner Grabinschrift bei seinem Tod am 28. Oktober 1505 im achtzigsten Lebensjahr stand, lässt sich sein Geburtsjahr auf die Jahre 1425/1426 festlegen. Einiges spricht dafür, dass er mit jenem Johannes Trabolt aus Bruchsal in der Speyrer Diözese identisch ist, der am 13. Juli 1455 an der Universität Heidelberg immatrikuliert wurde und zwei Jahre später an dieser Universität die Prüfung zum *baccalaureus artium* ablegte. Zehn Jahre später, am 15. August 1467, war er – versorgt durch die Pfründe eines *plebanus in Pladinis* (Pfarrer von Plattling) – an der Universität Padua anzutreffen, wo er im Jahr darauf das Studium des kanonischen Rechts mit dem *Licentiat* abschloss. An dieser berühmten Universität knüpfte er Kontakte mit zwei bekannten deutschen Frühhumanisten, Johann Tröster aus Amberg, einem Schüler und Freund des Enea Silvio Piccolomini (des späteren Papstes Pius II.), und dem Eichstätter Kanzler Johann Mendel. Entscheidend für seine weitere Karriere dürfte die ebenfalls in Padua geschlossene Freundschaft mit dem späteren Regensburger Ratskonsulenten und Domherrn Kaspar Kantner geworden sein, mit dem Trabolt in den folgenden Jahren noch öfter zusammenarbeiten sollte.

Nach seiner Rückkehr aus Italien ließ sich Trabolt in Regensburg nieder und war hier zunächst als Schreiber am domkapitelischen Gericht sowie als Notar tätig. Daneben ist er auch vielfach in Verwaltungsangelegenheiten seiner Pfründe, der Pfarrei Plattling, bezeugt. 1476 trat Trabolt als gelehrter Jurist in den Dienst der Reichsstadt Regensburg. In den folgenden Jahren finden wir ihn häufig im Auftrag des Regensburger Rates tätig, den er in mehreren Gesandtschaften am kaiserlichen Kammergericht und am Hofe des Habsburgers Friedrich III. vertrat. 1482 verließ er die Donaustadt für ein Jahr, um an der bayerischen Landesuniversität in Ingolstadt eine frei gewordene Professur für Kirchenrecht (*lectura in decretis*) zu übernehmen, wofür er das Doktorat in diesem Fach erhalten zu haben scheint. Als sich die Reichsstadt Regensburg im Jahre 1486 dem Münchener Herzog Albrecht IV. unterwarf, gehörte Trabolt zu den Gegnern der bayerischen Partei in der Stadt; er begegnet uns jetzt als juristischer Vertreter des Regensburger Bischofs, der gegen Übergriffe der bayerischen Beamten auf das bischöfliche Propstgericht Verwahrung einlegte. Nach der Rückkehr Regensburgs zum Reich ist Trabolt wieder im Dienste des Rates nachzuweisen; 1495 begleitete er als juristischer Beistand die Regensburger Ratsgesandtschaft zum großen Wormser Reichstag. Nach Ausweis der Stadt-

rechnung ließ ihm noch 1501 der Rat der Reichsstadt Fische als Ehrengeschenk überreichen. Im Jahr darauf ist er zum letzten Mal an der Universität Ingolstadt bezeugt.

Gerade Trabolts letzte Lebensjahre sind in der Regensburger Überlieferung dicht belegt: Urkunden, Quittungen, Ewiggeltregister und Steuerverzeichnisse ermöglichen eine Rekonstruktion seiner Vermögenslage und seiner juristischen Tätigkeit. Er wohnte als *hospes* (d. h. ohne Verpflichtung, das Bürgerrecht nehmen zu müssen) in der Paulswacht in der Nähe des Damenstiftes St. Paul, wo eine Magd (*Peytlerin ancilla*) seinen Haushalt versah. Eine besondere Nähe zum Kloster St. Emmeram lässt sich auch schon zu seinen Lebzeiten nachweisen; mit dem bedeutenden Abt Erasmus Münzer (1493–1517), bei dessen Wahl er als Zeuge fungierte, scheint er freundschaftlich verbunden gewesen zu sein. Leider ist der Wortlaut seines Testaments, in dem er sein nicht unbeträchtliches Vermögen in Stiftungen anlegte, noch nicht aufgefunden worden, doch sind einige Aktenstücke über die Tätigkeit seiner Testamentsvollstrecker erhalten geblieben. Die mit der Ausführung seines letzten Willens betrauten Hans Hauer, Pfarrer von Plattling, Georg Hornecker, Stadtkämmerer von Regensburg, und Hans Schwäbl, Bürger von Regensburg, stifteten für ihn Ewigmessen im Kloster St. Emmeram, in der Ahakirche beim Rathaus und in der Sigmundkapelle im Hause Hans Schwäbls. Allein das Kloster St. Emmeram, in dessen Kirche Trabolt vor einem dem hl. Jakob und den zwölf Aposteln geweihten Altar beigesetzt wurde, erhielt für Jahrtagsstiftungen und Totenoffizien 370 Gulden; zweimal in der Woche, am Montag und am Samstag, wurden hier bei seinem Grab Messen gelesen. Darüber hinaus musste der mit dieser Aufgabe be-

traute Priester zusätzliche Totengebete verrichten: *er soll auch alle sambstags abents bei dem grabe ein Placebo peten pro defunctis sambt einer collecten pro defuncto sacerdote*. Für den Apostelaltar ließen die Testamentsvollstrecker eine silberne Plastik des hl. Jakob herstellen, die zwar nicht erhalten geblieben ist, wohl aber der Wortlaut eines Schriftbandes, der ebenfalls in Ambrosius Mayrhofer's Aufzeichnungen von 1560 tradiert wird: *Dominus Iohannes Trabolt iuris doctor me dedit anno Domini MDVII*. Dieselben Testamentsvollstrecker dürften auch Albrecht Altdorfer den Auftrag für die Tafel der »beiden Johannes« erteilt haben.

Von Trabolts Büchersammlung sind einige spärliche Reste in der Bayerischen Staatsbibliothek in München erhalten geblieben. Einen Frühdruck mit Werken des Thomas von Aquin vermachte er der Pfarrei Plattling. Zwei weitere Bände mit juristischen Texten gelangten in die Bibliothek des Regensburger Augustinerklosters.

Zur Datierung von Altdorfers Tafel »Die beiden Johannes«

Die zeitliche Einordnung des Bildes ist in der kunsthistorischen Forschung umstritten – Datierungen zwischen 1510 und 1520 wurden vorgeschlagen. Eine Entstehungszeit im Jahre 1520 schien zunächst durch eine Datierung im Bild selbst festgelegt. Sie ist zusammen mit dem Monogramm Albrecht Altdorfers auf einem ca. 5 x 6 cm großen, am linken unteren Bildrand gemalten Zettel verzeichnet **5**. Allerdings liegt die Signatur, wie Annette Kurella, Restauratorin am Historischen Museum der Stadt Regensburg, kürzlich festgestellt hat, auf einer Fehlstelle und erweist sich auch im Vergleich mit authentischen Signaturen Altdorfers eindeutig als spätere Ergänzung **6**. Zudem konnten an der Stelle der inschriftlichen Datierung Reste des ur-

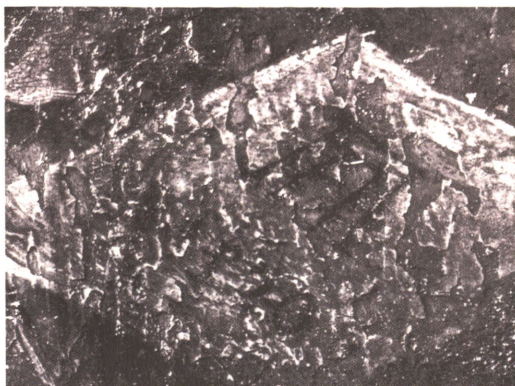


5
Detail aus Altdorfers Bildtafel
»Die beiden Johannes«.
Hervorgehoben ist die Stelle
der Signatur Albrecht Altdorfers
und die Datierung, die in
den Aufnahmen auf der
nächsten Seite zu sehen ist.

6

Detail am unteren Bildrand. Auf einem gemalten Zettel sind in dieser *Auflicht*-Fotografie (links) das Monogramm und eine Datierung »1520« zu sehen. Die *Infrarot*-Aufnahme (rechts) zeigt, dass unter der mit bloßem Auge erkennbaren Schrift ein vermutlich älterer Schriftzug mit gleicher Datierung liegt.

In der Detailaufnahme unter *Streiflicht* (links) zeigt sich das Ausmaß der Fehlstellen in der Bildschicht. Die *Umzeichnung* (rechts) illustriert den tatsächlich erhaltenen ursprünglichen Bestand. Die Reste der Jahreszahl in der originalen Bildschicht sprechen gegen die frühere Lesung als »1520«. Weitere Untersuchungen müssten klären, ob die vermutete Datierung 1507 sich tatsächlich bestätigt.



Prof. Dr. phil.

Heidrun Stein-Kecks

geb. 1956 in Salzburg, Österreich. Studium der Kunstgeschichte und Romanistik in Regensburg und Wien, 1985 Magister Artium und Promotion in Regensburg. 1985/86 Stipendiatin am Zentralinstitut für Kunstgeschichte in München, 1986–1989 beim Forschungsprojekt »Die Kirchen von Siena« am Kunsthistorischen Institut Florenz, 1989–1997 Wiss. Assistentin und DFG-Stipendiatin am Institut für Kunstgeschichte der Universität Regensburg; 1997 Habilitation. Seit 1999 Professur für Kunstgeschichte an der Universität Erlangen.
Forschungsgebiete: Kunst des Mittelalters und der Renaissance, Ikonographie und Ikonologie.

Prof. Dr. phil.

Franz Fuchs

geb. 1953 in Würth an der Donau. Studium der Fächer Geschichte, Deutsch und Sozialkunde an den Universitäten Regensburg und Wien. Promotion 1986 an der Universität Regensburg, Habilitation 1993 an der Universität Mannheim. Seit 1995 Professor am Institut für Geschichte an der Universität Regensburg.
Forschungsgebiete: Deutsche Geschichte und Quellenkunde im hohen und späten Mittelalter, Buch- und Bibliotheksgeschichte des Mittelalters, Epigraphik des Mittelalters.

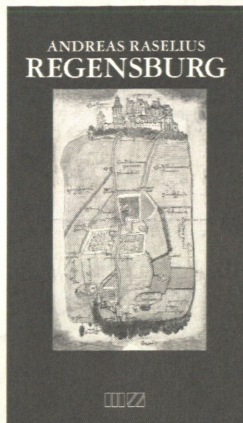
sprünglichen Bestandes ausgemacht werden, die zwar kein gesichertes Datum, aber möglicherweise eine Lesung als »1507« ergeben. Es wäre wünschenswert, wenn die bislang noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen am Bild fortgeführt werden könnten.

Das Datum 1520, das zuletzt noch von Ursula Fugmann übernommen wurde, ist auch aus stilistischen Gründen nicht zu halten. Die beiden Johannes sind eher den früher datierten Werken Altdorfers zuzuordnen, wobei vor allem die Jahre um 1510 bis 1512 als Entstehungszeit angenommen wurden. Lediglich Franz Winzinger plädierte in seinem grundlegenden Övrekatalog der Gemälde Altdorfers für eine spätere Datierung zwischen 1513 und 1515. Die nun durch die Identifizierung des Stifters nahe gelegte zeitliche Einordnung des Bildes nicht lange nach dessen Tod wirft auch auf die Chronologie des Altdorfer'schen Gesamtwerkes ein neues Licht. Doktor Johannes Trabolt starb am 28. Oktober 1505, und mit der Ausgestaltung seiner Grabstätte dürften die drei Testamentsvollstrecker nicht allzu lange gewartet haben. Eine Vollendung der Tafel im Jahr 1507 wird

auch durch die Reste der Datierung gestützt 6. Hans Hauer, Georg Hornecker und Hans Schwäbl betrauten mit Altdorfer einen noch relativ unbekannten Maler, der erst wenige Monate vor dem Tod des Stifters in Regensburg ansässig geworden war, mit der Schaffung der Grabtafel.

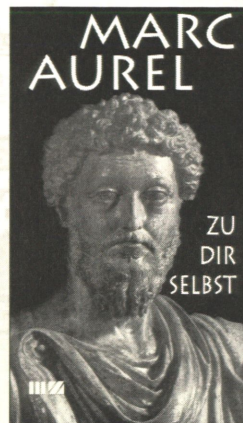
Nach dem bisherigen Stand der Altdorfer-Forschung scheint der Künstler zu diesem Zeitpunkt vor allem mit der Herstellung kleinformatiger Täfelchen beschäftigt gewesen zu sein. Erst als er im Jahre 1509 den Auftrag erhielt, für das Augustinerchorherrenstift St. Florian (Oberösterreich) ein repräsentatives Altarretabel zu malen, soll er sich der Aufgabe großflächiger Tafeln gestellt haben. Es erscheint einleuchtend, dass er davor bereits eine Probe seines Könnens abgelegt haben muss, um die Chorherren von seiner Befähigung auch für das große Format zu überzeugen. Die Tafel »Die beiden Johannes« könnte seine Qualifikation für einen solchen Großauftrag eindrucksvoll veranschaulicht haben.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 69



Geleitet von seinem Reiseführer, Andreas Raselius, erkundet der Leser vertraute Straßen und Plätze, Kirchen und Paläste, Stadtmauern und „Antiquitäten“ der ehemaligen Reichsstadt Regensburg im Jahre 1599. Der Historiker Peter Wolf hat das handschriftliche Original „ausgegraben“, in ein verständliches Deutsch übersetzt und lädt uns ein, zum Spaziergang in die Vergangenheit ...

Andreas Raselius. Regensburg – Ein Stadtrundgang im Jahre 1599. 120 Seiten, Leineneinband, ISBN 3-931904-62-8 zahlreiche Abbildungen, DM 29,80 / € 15,24



Die „Selbstbetrachtungen“ Marc Aurels, aus denen dieses Buch wesentliche Stücke präsentiert, sind ein beeindruckendes Dokument leuchtender Humanität. Ulrich Hommes hat im Blick auf die Erfahrungen des gegenwärtigen Menschen eine Auswahl aus den „Selbstbetrachtungen“ getroffen und stellt sie dem Leser gewissermaßen als eine „Lektion in Lebenskunst“ vor.

Marc Aurel. Zu dir selbst. 156 Seiten, gebunden, ISBN 3-931904-48-2 DM 29,80 / € 15,24

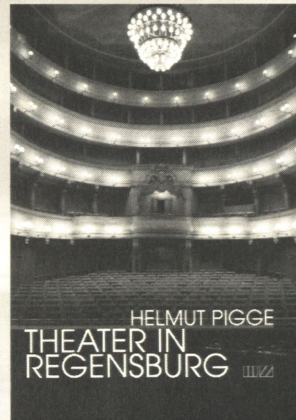
BUCHVERLAG
DER MITTELBAYERISCHEN ZEITUNG

Geschichte & Philosophie



„Die literarische Überlieferung und die Literatur der Jahrhunderte über Regensburg und die Oberpfalz bilden den Schwerpunkt dieser eindrucksvollen Aufsatzsammlung; und so unterschiedliche Namen wie Agnes Bernauer, Johannes Aventinus, Johann Andreas Schmeller, Georg Britting oder Albert von Schirnding zeigen die vielfältigen Wurzeln der heutigen Oberpfalz auf“ (Die neue Bücherei).

Eberhard Dünninger. Oberpfalz und Regensburg. 192 Seiten, kartoniert, ISBN 3-931904-49-0 DM 29,80 / € 15,24



Aus einem Mosaik von Archivalien, Zeitungsartikeln, Magistratsbeschlüssen, Kassenrapporten, Kritiken, und zeitgenössischen Erlebnisberichten entwirft der Autor ein lebendiges Bild der Regensburger Theatergeschichte mit ihren Höhen und Tiefen. Abgerundet wird es durch farbige Porträts der Theaterkünstler und anekdotische Begebenheiten rund ums Theatergeschehen.

Helmut Pigge. Theater in Regensburg. 240 Seiten, Schutzumschlag, ISBN 3-931904-40-7 DM 39,80 / € 20,35

BUCHVERLAG
DER MITTELBAYERISCHEN ZEITUNG

Literatur & Regensburg

Albrecht Dürers Landschaftsaquarelle

»so ist die kunst verborgen on den gebrauch.

Darumb muß es beyeinander sein ...«

Blickpunkt

Die Landschaftsaquarelle Dürers gelten als reine Naturstudien stupender Abbildtreue. Entschiedene Gegenpositionen wie die Dissertation Maria Herrmann-Fiores (1971), in der Dürers Aquarelle als komponierte Kunstwerke gedeutet werden, findet man selten. Allerdings bezog Herrmann-Fiore die Topographieforschung nicht in ihre Untersuchung mit ein, und die bei früheren Identifizierungen bereits bemerkten, aber nicht weiter untersuchten Differenzen zwischen topographischer Vorgabe und künstlerischem Bild wurden lediglich als »Fehler«, als »Zufall« oder als »künstlerische Freiheit« hingenommen.

Tatsächlich weichen Dürers Aquarelle gerade auch im Vergleich zu den Naturdarstellungen der Impressionisten und Cézannes auffallend vom perspektivisch richtigen Bild der Dinge ab. Dies gilt für Dürers berühmtes Aquarell von Arco (1495) in besonderem Maße. Innerhalb der Felsformationen des Burgberges sieht man eine markante anthropomorphe Form in Gestalt eines Felsengesichts, die verschiedentlich die Aufmerksamkeit der Forschung erregt hat. Die Frage, ob hier lediglich ein Spiel künstlerischer Phantasie vorliege oder ob eine konkrete Vorgabe durch Dürer in das Bild einbezogen worden sei, musste bisher für »Arco« und die übrigen Beispiele von Dürers »physiognomischem Stil« (etwa »Verfallene Berghütte« oder der Kupferstich »Der heilige Hieronymus«) unbeantwortet bleiben.

Mit der Entdeckung des Naturmotivs für dieses Felsengesicht, das die gesamte Rückseite des Burgberges von Arco beansprucht, der Vorgaben für alle charakteristischen Teilmotive der Landschaft und für ein zweites, darauf antwortendes Felsengesicht ist ein interessanter Fund geglückt, da die Felsengesichter sich nicht an den im Aquarell dargestellten Orten, sondern an weit voneinander entfernt liegenden und von einem einzigen Standpunkt aus nicht einsehbaren Stellen der Landschaft befinden. Die offenkundigen Abweichungen vom Naturvorbild bei gleichzeitig realer Existenz der Teilmotive enthalten den Schlüssel zum Verständnis der absichtsvollen Komposition anfänglich getrennter Motiv- und Bildteile zu einem einzigen einheitlichen Bild.

Die Präzisierung der topographischen Daten erlaubt mit dem Nachweis des Entstehungsprozesses des Bildes zugleich Einblick in das komplexe Hervorbringungswissen eines der größten Künst-

ler des Abendlandes. Besondere Aufmerksamkeit muss der spezifischen Verwendung perspektivischer und geometrischer Mittel gewidmet werden, wie sie Dürer selbst in seinen kunsttheoretischen Schriften entwickelt hat. Die Erweiterung des Vergleichsgefüges um die Frage nach der Verbindung von Dürers kunsttheoretischen Äußerungen mit der bisher nicht damit im Zusammenhang gesehenen Landschaftsmalerei legt zwingend den Schluss nahe, dass die ästhetischen Schriften Dürers, die vor allem eine Proportionslehre der menschlichen Gestalt (einschließlich Physiognomik) enthalten, in engem Bezug zu seiner Landschaftsmalerei gesehen werden dürfen. Diese Entdeckung eröffnet den Vergleich zu Leonardo: Dürer hat geometrisch nachweisbar das Arco-Bild mit den Maßen seiner nach Vitruv – und mit Hilfe Barbaris – entwickelten Proportionsfiguren der »Adam-Apollo-Gruppe« durchdrungen. Also nicht »einfache Naturnachahmung« (Goethe), sondern Vergesetzlichung der Natur war Dürers Ziel von seinen künstlerischen Anfängen an.

Die Überprüfung der übrigen Landschaftsaquarelle Dürers von den frühesten Beispielen (»Drahtziehmühle«) über die nun identifizierten und sämtlich mit »Arco« zusammenhängenden Steinbruchstudien bis zu den späten fränkischen Landschaften (»Kalchreuth«) bestätigt die Arco-Befunde umfassend: Innerhalb einer künstlerischen Entwicklung von etwa fünfzehn Jahren bleiben die für »Arco« erkannten Gestaltungsprinzipien (extremer Bildumfang, Verbindung unterschiedlicher Ansichten und Teilmotive zu einer einheitlichen Bildkomposition, Überhöhung der Teilformen bei gleichzeitiger Verminderung der Breitenausdehnung, anthropomorphe Gestaltbildung und Bezug der Landschaft auf die innere und äußere Gestalt des Menschen) prinzipiell nachweisbar.

Dürers Satz zu der von ihm geforderten Einheit aus künstlerischer Praxis und theoretischem Wissen – *Denn Gebrauch und Verstand muss beyeinander sein* – gilt für die Gesamtheit seines Werks.

Prof.

Hermann Leber

geb. 1941 in Ludwigshafen.

Studium der Kunsterziehung und Kunstgeschichte in Mainz und Braunschweig, 1980 Professur für bildende Kunst/Kunsterziehung an der Pädagogischen Hochschule Hildesheim, seit 1981 Lehrstuhl für Kunsterziehung an der Universität Regensburg.

Forschungsgebiete:

Probleme der Nachahmung der Natur durch die Kunst (Renaissance, 19. und 20. Jahrhundert).

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 70



Albrecht Dürer,
Arco. 1495
(Paris, Louvre).
Gegenüber des großen
Felsengesichts auf der
Talseite des Burgbergs von Arco
ist links ein etwas kleineres Profil
im oberen Bereich des Felsens
zu erkennen.
Die (seitenverkehrte) Naturvorgabe
für das große Felsengesicht
befindet sich auf der Rückseite
des Burgbergs, die Naturvorgabe
für das kleinere Gesicht liegt in
250 Meter Entfernung.

unten:
Naturvorgabe (Hauptansicht)
für Dürers Arco-Bild.
Die Naturvorgaben für die beiden
Felsengesichter sind aus dieser
Blickrichtung nicht einsehbar.



Auf der Suche nach dem ›Stahl der Steinzeit‹

Ausgrabungen im Feuersteinbergwerk von Abensberg-Arnhofen

Feuersteinbergbau

Gab es vor 7000 Jahren in Bayern während des ältesten Abschnittes der Jungsteinzeit bereits Organisationsformen wie auf Feuerstein spezialisierten Bergbau und Tausch oder möglicherweise sogar Handel mit daraus gefertigten Werkzeugen? Ausgrabungen in Deutschlands größtem Feuersteinbergwerk in Abensberg-Arnhofen lassen derartige Zusammenhänge vermuten.

Archäologie

Die ältesten sesshaften Siedler in Süddeutschland waren Ackerbauern und Viehzüchter der Jungsteinzeit (Neolithikum). Die Archäologen unterscheiden im Zeitraum zwischen etwa 5500 und 3800 v. Chr., dem so genannten Alt-, Mittel- und Jungneolithikum, mehrere Kulturgruppen, die nach zeittypischen Keramikverzierungen wie Linienband- und Stichbandkeramik oder nach Fundorten wie Oberlauterbacher und Münchshöfener Gruppe benannt sind. Neben Landwirtschaft und Viehzucht scheint es in diesem Zeitabschnitt auch schon andere Handwerkszweige gegeben zu haben. Geeignetes Rohmaterial zur Werkzeugherstellung war Mangelware und konnte nur an wenigen ausgewählten Stellen abgebaut werden. Zwar lassen sich in Deutschland bisher mindestens 46 Abbaustellen von Feuerstein belegen, aber viele davon hatten nur lokale und zeitlich befristete Bedeutung. Rohmaterial und Werkzeuge von besonders ergiebigen Lagerstätten wurden offenbar auch exportiert, wie die Verbreitung der Funde aus gebändertem Plattenhornstein aus dem Bergwerk von Abensberg-Arnhofen zeigt. Dieses seit fast 30 Jahren bekannte Feuersteinbergwerk von Arnhofen im Landkreis Kelheim ist nicht nur das wohl größte »archäologische Industriedenkmal« Deutschlands, sondern auch eines der wenigen in Teilen ergrabenen Bergwerke.

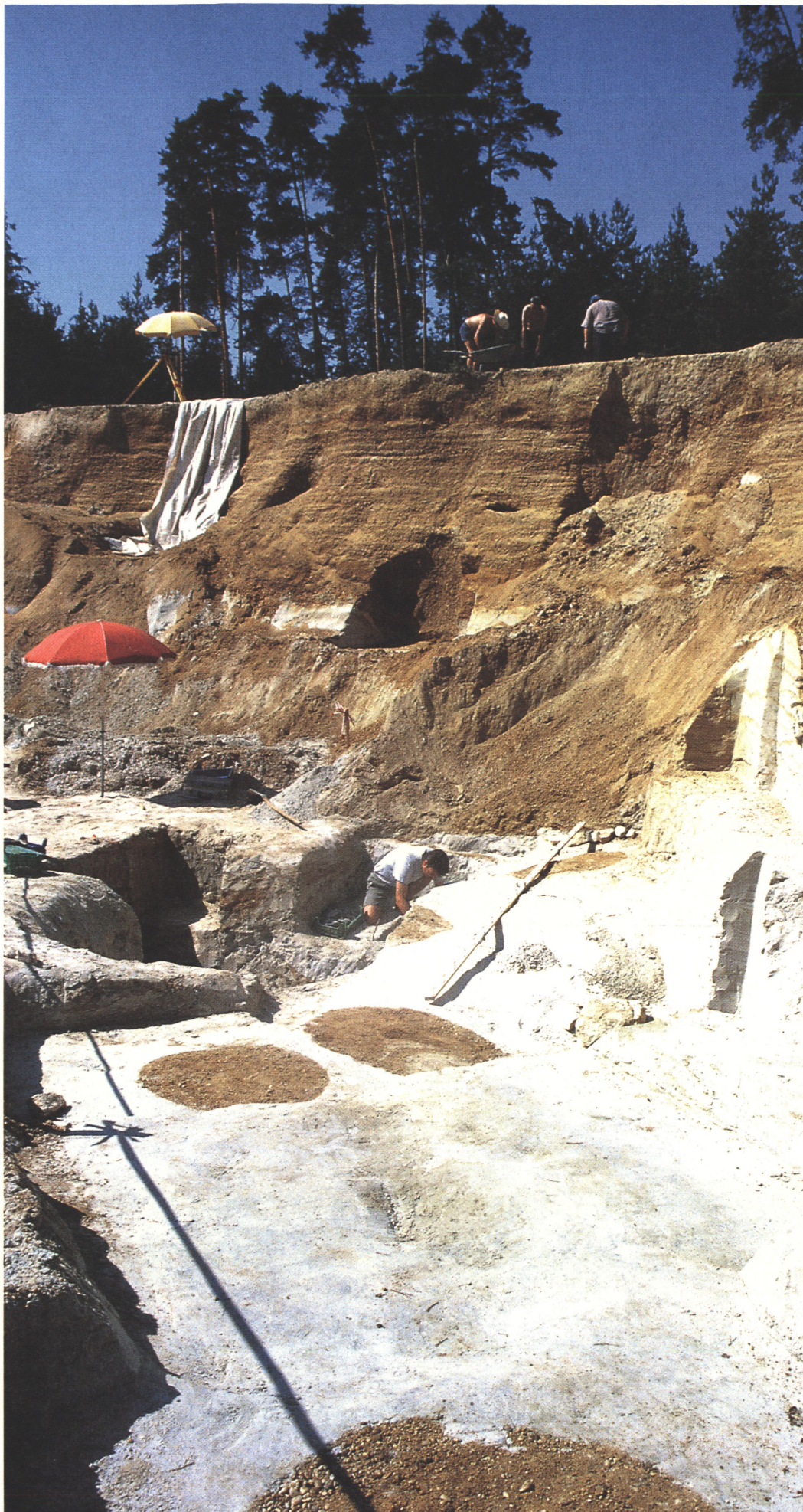
Nachdem durch Notgrabungen des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege in den achtziger Jahren erste Schächte des untertägigen Abbaues von Feuerstein (Hornstein) nachgewiesen werden konnten, zwingt moderner Kiesabbau die Kreisarchäologie Kelheim seit 1998 erneut zu archäologischen Ausgrabungen. Mehr als 100 in Duckelbautechnik abgeteufte Schächte, die von unseren Vorfahren der Jungsteinzeit vermutlich wegen hoher Einsturzgefahr unmittelbar nach der Ausbeute wieder verfüllt wurden, müssen vor ihrer Zerstörung so sorgfältig wie möglich dokumentiert werden.

Forschungsgeschichte

Kies- und Sandabbau in Arnhofen bei Abensberg im Landkreis Kelheim sind der Anlass für Rettungsgrabungen der Kreisarchäologie Kelheim seit Juli 1998 **1**. Die archäologische Ausgrabung gilt dem größten Feuersteinbergwerk Deutschlands, in dem jungsteinzeitliche Siedler zwischen etwa 5000 und 4000 v. Chr. in untertägigen Schächten bis zu 8 Metern Tiefe das Rohmaterial zur Herstellung der wichtigsten Werkzeuge gewonnen haben. Schon vor anderthalb Jahrzehnten haben erste Notgrabungen des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege (BLfD) stattgefunden. Manfred Moser aus Regensburg hatte die Abbauspuren in der Kiesgrube Buchenrieder entdeckt. Durch den neuen, unmittelbar benachbarten Kiesgrubenbetrieb Brandl wurden 1998 zahlreiche Schächte neu angeschnitten, die nun ausgegraben und dokumentiert werden müssen. Das Bergwerk ist nicht nur das größte Bodendenkmal in der Region, sondern ein archäologisches Denkmal von internationalem Rang und eines der größten Hornsteinbergwerke in Mitteleuropa.

Die geologischen Grundlagen

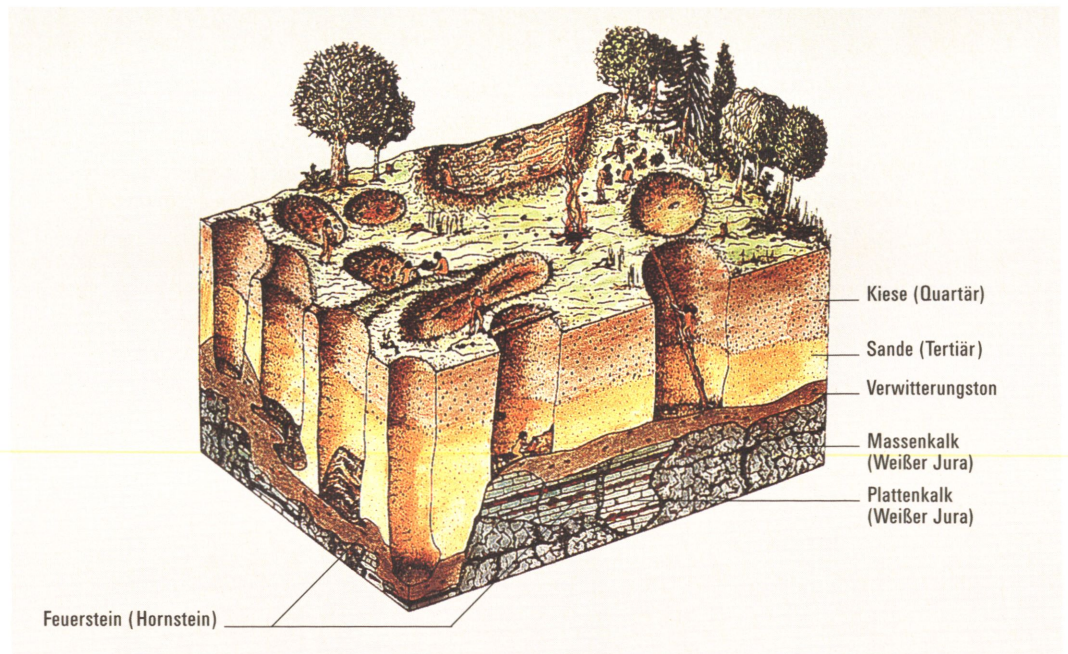
Feuerstein oder Silex ist die Bezeichnung für Kieselgesteine, die aus einer kryptokristallinen Form von Siliciumdioxid (Quarz) bestehen. Als Sammelbegriff wird für chemisch annähernd gleiche kieselensäurehaltige Gesteine auch der Name »Hornstein« verwendet. Der Plattenhornstein der Südlichen Frankenalb ist im Oberen Jura vor ca. 150 Millionen Jahren entstanden. Wegen seiner Härte und berechenbaren Spaltbarkeit eignet sich dieses Material hervorragend als Rohstoff zur Herstellung von Werkzeugen (z. B. Kratzer, Schaber, Bohrer, Sichel- und Messerklingen) und Waffen (z. B. Pfeilspitzen, Dolche). Normalerweise ist der gebänderte Plattenhornstein in Plattenkalke eingebettet; an der Fundstelle jedoch ist der Hornstein anschließend in sekundärer Lagerstätte zu finden – im Bereich der alten Grabungsflächen lag er in einem gelblich-braunen Ton. Diese tonige, hornsteinführende Schicht wird in Abensberg-Arnhofen von mächtigen hellen Sandschichten der Oberen Süßwassermolasse überlagert, einer Sedimentation, die im Zuge des aufsteigenden Alpenkörpers im Tertiär vor ca. 23 Millionen Jahren entstand; darüber befindet sich der pleistozäne Altabens-Terrassenschotter. Um größere Mengen des begehrten Rohstoffes aus den Lagerstätten zu gewinnen, mussten deshalb bergmännische Abbaufahrten angewendet werden. In Arnhofen ist



1 Blick in die Kiesgrube Brandl in Abensberg-Arnhofen bei Kelheim/Donau, 25 km südwestlich von Regensburg. Beginn der archäologischen Grabungsarbeiten im antiken Feuersteinbergwerk im Juli 1998. 6500 Jahre alte Schachtverfüllungen der jungsteinzeitlichen Bergleute zeichnen sich im hellen Sand als dunklere Verfärbungen ab, die bis in 8 m Tiefe reichen.



2
Rekonstruktionsmodell
der Duckelbaue
im Feuersteinbergwerk
von Arnhofen um 4500 v. Chr.



bisher nur der Duckelbau **2** nachgewiesen, das heißt, man hat untertägigen Tiefbau in Form von senkrechten Schächten ohne unterirdische horizontale Gänge (so genannte Strecken) betrieben. Der Geologe Alexander Binsteiner und der Archäologe Bernd Engelhardt vermuten, dass man den Hornstein weiter nördlich zunächst im oberflächennahen Kühlenbau abgebaut hat und dann zwangsläufig dem nach Süden abtauchenden Hornsteinflöz in die Tiefe folgen musste.

**1984 bis 1986: Notgrabungen
des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege**

Während der Notgrabungen des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege zwischen 1984 und 1986 ließen sich 55 Schachtverfüllungen identifizieren **3**, von denen aber wegen finanzieller Probleme lediglich 15 annähernd vollständig ausgegraben wurden. Die Schachttiefen in der Grabungsfläche der Kiesgrube Buchenrieder schwankten

zwischen 6 und 8 Metern; die Durchmesser der Schächte betrugen zwischen 1,8 und 2,2 Metern. Die Schachtprofile waren meist zylindrisch oder leicht trichterförmig. Es ließen sich keinerlei Spuren von Verschaltungen oder hölzernen Einbauten feststellen. Zum Ausgraben eines etwa 8 Meter tiefen Schachtes benötigte man nach Engelhardt und Binsteiner mit steinzeitlichem Werkzeug aus Holz vermutlich 320 Arbeitsstunden, das entsprach etwa vier Wochen Arbeit für zwei Personen. Bei einer durchschnittlichen Fördermenge von maximal etwa 11 Kilogramm guten Hornsteins pro Schacht ergibt sich so ein Wert von 29 Arbeitsstunden für jedes Kilogramm Silex. Die Größe des Abbauareals gibt Binsteiner mit Werten zwischen etwa 12 und 27 Hektar an, die Archäologin Angelika Grillo vermutet etwa 50 Hektar. Die Hochrechnungen der bisherigen Grabungsflächen lassen wenigstens 8000 und höchstens etwa 18500 Schächte vermuten. Nimmt man

3
Abensberg-Arnhofen,
Ausgrabung 1984 bis 1986:
Schachtverfüllungen
in etwa 3 m Tiefe.



eine 700-jährige Nutzungsdauer des Bergwerkes an, so würde dies bedeuten, dass pro Jahr etwa 14 Schächte abgeteuft worden sein könnten.

Die Datierung des Hornsteinabbaus ist nicht unproblematisch, denn man fand bei den ersten Ausgrabungen lediglich eine einzige Holzkohleprobe aus Haldenmaterial über einem Schacht, die ein kalibriertes Radiocarbondatum von etwa 4300 v. Chr. erbracht hat, was dem Ende des Mittel- bzw. dem Beginn des Jungneolithikums (Stichbandkeramik/Oberlauterbacher Gruppe/Münchshöfener Kultur) in Bayern entspricht. Das Alter des Bergwerkes lässt sich deshalb besser indirekt über die Funde aus umliegenden, nur z. T. ergrabenen Siedlungen datieren.

Das älteste Fundstück aus dem Areal des Arnhofener Bergwerkes ist ein mittelpaläolithischer Faustkeil, der sich im Regensburger Naturkundemuseum befindet. Ein weiterer Faustkeil, der wohl aus Arnhofener Rohmaterial hergestellt wurde, stammt aus dem oberbayerischen Osseltshausen. Artefakte aus Hornstein vom Typ Abensberg-Arnhofen kommen auch in Fundkomplexen der ausgehenden Würmeiszeit im jungpaläolithischen Magdalénien (ca. 15000 bis 11500 vor heute) in der Schwäbischen Alb vor. Ein bergmännischer Hornsteinabbau ist für diese Perioden allerdings bislang nicht belegt. Arnhofener Rohmaterial wurde unlängst auch in einer mesolithischen Fundstelle (ca. 8500 bis 7500 v. Chr.) vom Ullafelsen im Fotschertal in den Stubai Alpen identifiziert.

Die bergmännische Silexgewinnung begann in Arnhofen wohl schon im Altneolithikum während der Linienbandkeramik (um bzw. vor 5000 v. Chr.), wovon im direkten Umkreis Funde aus Hienheim, Lengfeld-Dantschermühle, Mitterfecking und Bad Abbach zeugen.

Die Ausbeute der Lagerstätte dauerte über das Mittelneolithikum mit Stichbandkeramik und Südostbayerischem Mittelneolithikum (früher Oberlauterbacher Gruppe genannt, etwa 4900 bis 4500 v. Chr.) bis in die Zeit der Münchshöfener Kultur etwa um 4000 v. Chr. Im Landkreis Kelheim gehören dazu mehrere Siedlungsstellen in Bad Abbach, im Gemeindegebiet von Saal die Fundstellen Oberfecking, Unterteuering, Kleingiersdorf/Kleinberghofen, Schoissenkager und Weinberg, etwas weiter entfernt liegen Siedlungen in Teugn, Marching, Wildenberg und Ratzenhofen. Sogar zur Zeit der Münchshöfener Gruppe scheint der Abensberger Hornstein das beliebteste Rohmaterial für Werkzeuge gewesen zu sein. Wir kennen Arnhofener Silices mittlerweile nicht nur aus der Fundstelle von Altdorf-Aich im Landkreis Landshut, sondern im Landkreis Kelheim auch aus Mitterfecking und einem Grubenhaus der frühesten Münchshöfener Gruppe vom Weltenburger Frauenberg, das 1999 von Daniel Meixner im Rahmen seiner Masterarbeit an der Universität Regensburg bearbeitet wurde.

Rettungsgrabungen der Kreisarchäologie Kelheim 1998 und 1999

Nach den Rettungsgrabungen der achtziger Jahre wurden 1998 wegen Kies- und Sandabbau neue Notgrabungen in der Kiesgrube Brandl notwendig,

die die Kreisarchäologie Kelheim unter Leitung des Autors durchgeführt hat. Hierbei konnten zunächst erneut 21 beim Kiesabbau angeschnittene Schachtverfüllungen dokumentiert werden.

Die Identifizierung und Einmessung der Schächte bereitete Schwierigkeiten, weil die Abbruchkante des vom Radlader geschaffenen Kiesgrubenprofils unregelmäßig verlief und dadurch die senkrechten Schächte nur partiell angeschnitten wurden. Deshalb blieb nur die Möglichkeit, die obersten Bereiche der Befunde an der Abbruchkante so gut wie möglich freizulegen, was wegen der ständigen Rutsch- und Abbruchgefahr ein nicht unerhebliches Risiko barg.

Trotz dieser widrigen Grabungsumstände ließen sich zumindest Teile der Verfüllungen in unterschiedlichen Tiefen beobachten **4**. In keinem Fall gelang es allerdings, ein vollständiges Profil von der Humusüberdeckung bis zur Schachtsohle zu dokumentieren, da entweder die unteren Bereiche noch verschüttet oder die oberen Bereiche schon abgebaggert waren.

Nur grob lässt sich derzeit die Zahl der in den nächsten Jahren der Zerstörung preisgegebenen jungsteinzeitlichen Schächte auf mindestens 200 bis 300 schätzen. Da für den Kies- und Sandabbau eine rechtskräftige Abbaugenehmigung vorliegt, lässt sich die Zerstörung des Bodendenkmals kaum aufhalten; das Bayerische Denkmalschutzgesetz liefert nicht die nötige Rechtsgrundlage für



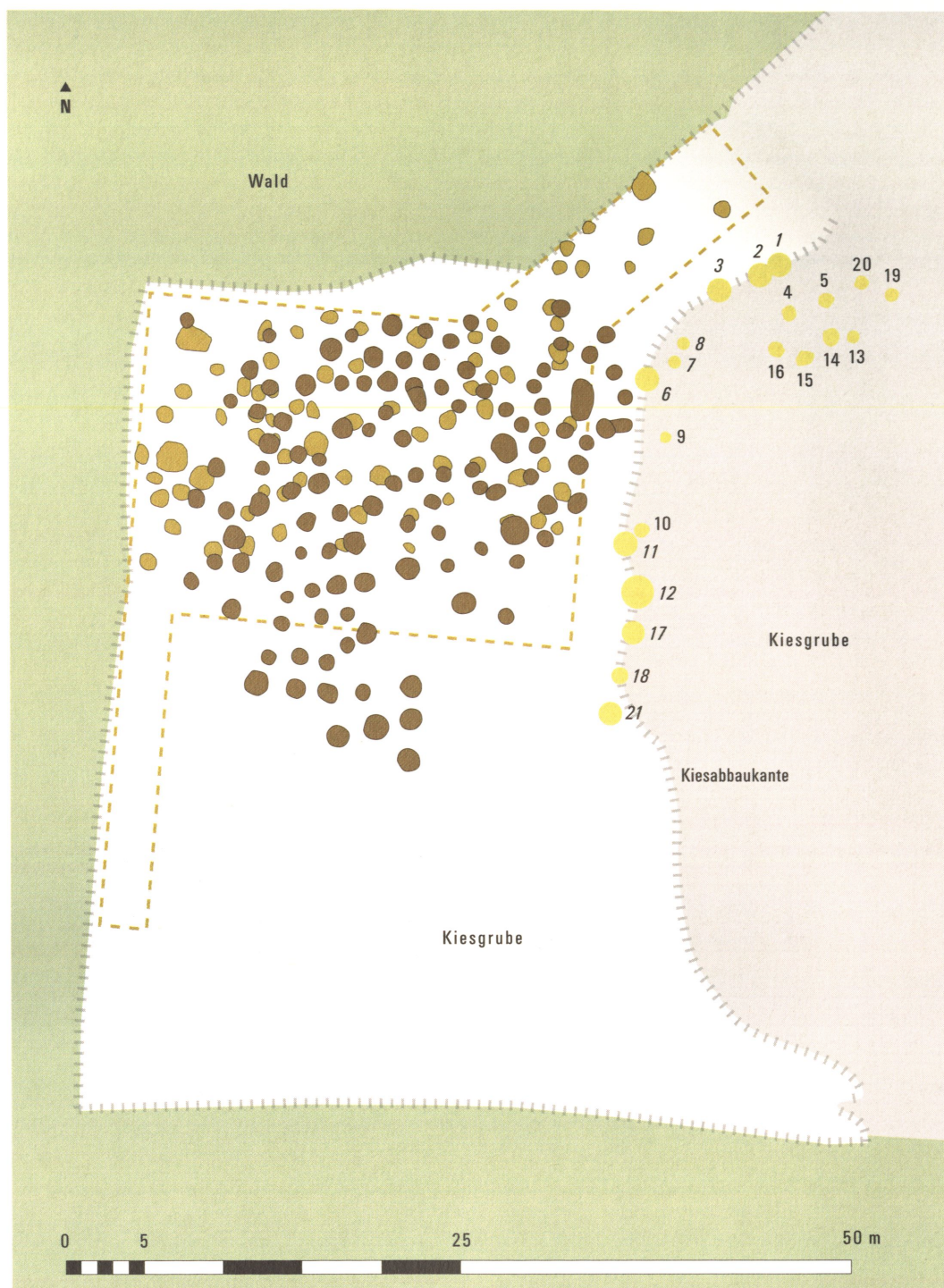
4
Abensberg-Arnhofen 1998.
Typischer, etwa 1m breiter
Schacht, der an der Abbaukante
der Kiesgrube bis in 4 m Tiefe
freipräpariert wurde.

5
Abenberg-Arnhofen,
Flurnr. 525, Kiesgrube Brandl.
Freigelegte Schächte
des Feuersteinbergwerkes:

● ausgegrabene Schächte
(1998),
nummeriert von 1 bis 21

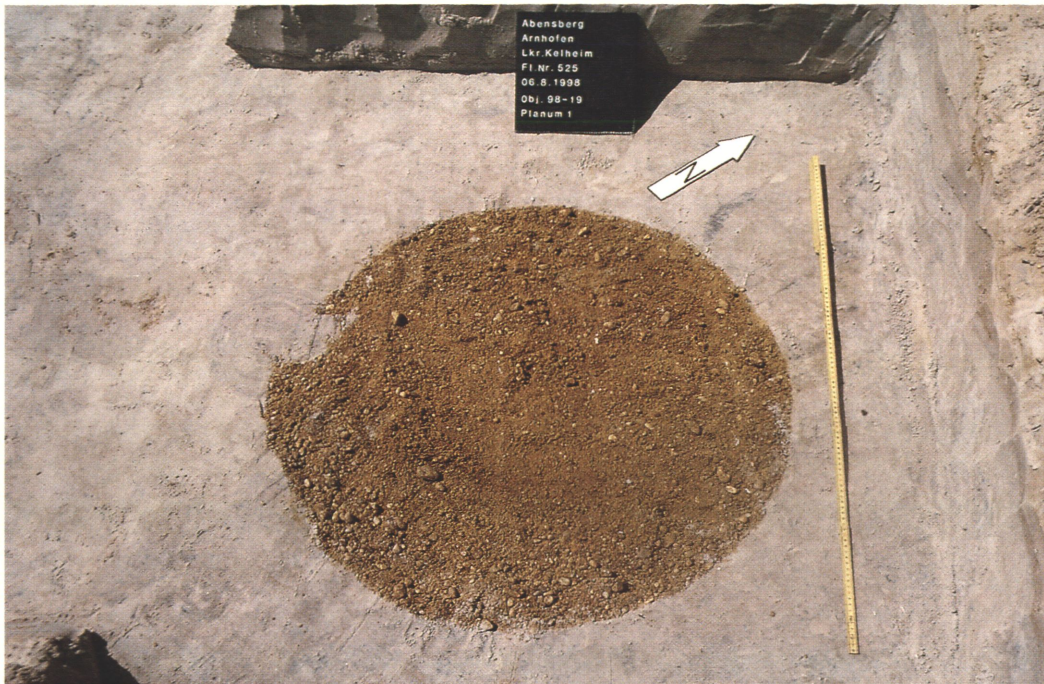
■ geomagnetisch
prospektierter Bereich
(1999)

● Ausgrabungsbefunde
in 3 m Tiefe
(2000)



die Erhaltung der Fundstelle. Weil auch die Frage nach der Finanzierung der Dokumentation oder gar einer Ausgrabung ungeklärt ist, versucht die Kreisarchäologie Kelheim mit Hilfe von Sozialhilfeempfängern und freiwilligen Helfern zumindest die größten Denkmalzerstörungen so gut wie möglich zu dokumentieren, eine vollständige Freilegung aller Schächte scheint ausgeschlossen. Gemeinsam mit den Archäologen Jens Lünig aus Frankfurt und Andreas Zimmermann aus Köln wurde mittlerweile ein Antrag bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gestellt und bewilligt, der eine Grabungsfinanzierung für die Zukunft sichern soll. Dieses Projekt soll sich besonders den sozialen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die Gewinnung, die Verarbeitung und den Vertrieb des Rohstoffes widmen.

Von den 21 am Rande des Tagebaus identifizierten Schachtverfüllungen konnten nur ausschnittshaft Profile dokumentiert werden, zumindest die Nähe der Schächte zueinander zeichnete sich aber deutlich ab **5**. Im nordöstlichen Grubenbereich konnte eine kleine Teilfläche in etwa 6 bis 7 Metern Tiefe ergraben werden. Dort ließen sich die Befunde unterschiedlich deutlich erkennen **6**, nur exemplarisch wurde ein Schacht bis zur Sohle ausgegraben. Die Formen der 1998 entdeckten Schächte weichen vom bisher bekannten Schema ab. Die bis in 8,5 Meter Tiefe reichenden Duckelbaue hatten wesentlich geringere Durchmesser als die in den achtziger Jahren ergrabenen Schächte, im Durchschnitt lag die Schachtbreite ab ca. 3,5 Meter Tiefe nur noch bei etwa 0,8 Metern. Von zwei Holzkohleproben aus den Schächten ließ sich



6

Abensberg-Arnhofen 1998.
Sehr gut erkennbarer
kreisrunder Planumsbefund der
Schachtverfüllung Objekt 98-19
mit ca. 0,8 m Durchmesser
in 6 bis 7 m Tiefe.



7

Gesuchtes Rohmaterial
in ca. 8 m Tiefe: Hornsteinknolle
im Sand der Süßwassermolasse.

leider nur eine mit Hilfe der ^{14}C -Methode datieren. Der Physiker Bernhard Weninger vom ^{14}C -Labor der Universität Köln berechnete für das Objekt 98-6 ein kalibriertes Alter um 4650 v. Chr.

Zum ersten Mal bot sich auch die Gelegenheit, im Bereich der Schachtmünder unmittelbar unter dem Humus auf einer größeren Fläche die anthropogenen Eingriffe zu beobachten und archäologische Fundstücke aufzusammeln. Zahlreiche Abschlüsse von dort belegen eine Materialprüfung an der Abbaustelle. Außerdem konnte die Südgrenze des Abbaureviere noch im Bereich der vom Kiesabbau bedrohten Fundstelle deutlich erfasst werden.

Erwähnenswert sind besonders die veränderten geologischen Verhältnisse. Der Hornstein lag im 1998 ergrabenen Bereich nicht im Residualton,

sondern abermals umgelagert und locker verteilt im hellen Sand der Süßwassermolasse in einer Tiefe von mindestens 7 bis 9 Metern unter der heutigen Oberfläche **7**. Wegen der andersartigen Schachtgröße und der unterschiedlichen Einlagerungsbedingungen des Hornsteins sind neue Hochrechnungen zur Menge der gewonnenen Materialien und zur benötigten Arbeitszeit notwendig.

Geomagnetische Prospektion 1999

Um über die an der Kiesabbaukante erkennbaren Befunde hinaus eine Vorstellung über die Anzahl der Schächte in der bis zum Jahresende 2000 durch Kiesabbau zerstörten Fläche zu erhalten, führte Jörg Faßbinder vom Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege in München im März 1999 eine geomagnetische Prospektion durch. Bei dieser



8
Abensberg-Arnhofen 1999.
Vermessung (Prospektion)
der Schächte mit dem
Cäsium-Magnetometer
des Bayerischen Landesamtes
für Denkmalpflege.

zerstörungsfreien Art der Bodenuntersuchung werden mittels eines Magnetometers Störungen bzw. Schwankungen des Magnetfeldes gemessen **8**. Die dabei erfassten Magnetfeldschwankungen, die sich z. B. durch Bodeneingriffe in prähistorischer Zeit zwangsläufig ergeben, lassen sich in einem so genannten Magnetogramm durch unterschiedliche Graustufen als Bild darstellen. Auf diese Art und Weise können bei günstigen Rahmenbedingungen archäologische Strukturen wie Grabenanlagen, Gräber, Hausgrundrisse, Pfostenstellungen und beispielsweise auch verfüllte Schächte eines Bergwerkes erkannt werden, ohne dass man eine Ausgrabung vornehmen muss. Diese Methode wurde in Arnhofen eingesetzt, weil sich nach dem Humusabtrag in der Kiesgrube die Verfüllungen einzelner Schächte nicht deutlich genug im Kies abzeichneten. Den Ergebnissen Faßbinders zufolge ließen sich in der vom Humus befreiten, ca. 600 Quadratmeter großen Fläche mindestens 82 neue Schächte identifizieren **9**. Diese Messungen helfen uns im oberflächennahen Bereich, in dem man die Verfüllungsstrukturen wegen neolithischer Verwühlungen nicht erkennen kann, eine Vorstellung über die Verteilung und die Größe der Schächte zu erlangen. Sollte sich die Schachtdichte im

nördlich angrenzenden und bis zum Jahr 2000 noch bewaldeten Teil fortsetzen, muss allein in diesem Areal mit mindestens 200 Schächten gerechnet werden, die bis zum Jahr 2005 dem Kies- und Sandgrubenbetrieb zum Opfer fallen werden.

Rettungsgrabungen der Kreisarchäologie Kelheim im März 2000

Im März 2000 wurden im Bereich der geomagnetisch prospektierten Fläche, nachdem der Kies in diesem Areal mindestens 2,5 Meter tief abgebaut war, 113 neue Schächte entdeckt **9**. Die Grabungsfläche befand sich ca. 3 Meter unter dem Niveau der heutigen Waldoberfläche; dort wurde mit einem Böschungsschaufelbagger ein Befundplanum im Kies freigelegt und eingemessen **10**. Die digitale Vermessung der archäologischen Befunde von Arnhofen erfolgt mit einem Tachymeter, der jeden Messpunkt dreidimensional erfasst und speichert; die Daten werden am PC in maßstabsgetreue Pläne umgesetzt. Digitale Fotos lassen sich fotogrammetrisch entzerren, so dass auch maßstabsgetreue Digitalbilder erstellt werden können. Die Lage einiger geomagnetisch lokalisierter Schachtverfüllungen weicht von den etwa 3 Meter tiefer gelegenen, im Jahr 2000 freigelegten Befunden

9
Abensberg-Arnhofen, März 2000:
Blick in die Kiesgrube mit
freigelegten Schachtverfüllungen.



10
Abensberg-Arnhofen, März 2000:
Deutlich zeichnen sich die Schacht-
verfüllungen in ca. 3 m Tiefe ab.





11

Abensberg-Arnhofen:
jungsteinzeitliche Schacht-
verfüllung. Wurde ein Schacht
in der Jungsteinzeit neu abgeteuft,
verfüllte man den alten Schacht
mit diesem Aushub, den man
noch heute bei Ausgrabungen
erkennen kann; hier in ca. 3 m Tiefe.



12

Abensberg-Arnhofen:
Schachtverfüllung von
Objekt 00-126.
Die dunklen Randverfärbungen
lassen sich als Abstützungsreste
eines Schachtes interpretieren,
die aus organischen Materialien
bestanden haben
(Weidenrutengeflecht?).

ab 5. Dies ließe sich entweder durch mangelnde Abgrenzung der mit Kies verfüllten ehemaligen Hohlräume im Bereich der Schachtmünder oder durch leicht schräg verlaufende Schächte erklären.

Die Durchmesser der im März 2000 in etwa 3 Meter Tiefe freigelegten Schächte schwankten zwischen 0,8 und 1,6 Meter, die Mehrzahl der Schächte wies Durchmesser zwischen 1,1 und 1,2 Meter auf. Manche Schachtverfüllungen ließen sich nur schwer identifizieren, besonders dann, wenn kieshaltiges Verfüllmaterial im oberen Schachtbereich Verwendung fand. Andere Befunde dagegen waren von geradezu bilderbuchartiger Anschaulichkeit, besonders dann, wenn der freigegrabene Schachtbereich mit reinem Sand der Süßwassermolasse zugefüllt worden war **11**. Bei einem Schacht (Nr. 00-126) zeigte sich eine randliche Schwarzfärbung **12**,

die auf eine ehemalige Schachtversteifung aus organischem Material schließen lässt. Man könnte an ein korbartiges Geflecht aus Weidenruten denken, das einen Einsturz der Schachtwände verhindern sollte. Die geringen Schachtdurchmesser, die sich seit 1998 immer wieder belegen lassen, könnten auf eine etwas andere Abbautechnik der Duckelbaue oder auf einen zeitlichen Unterschied zwischen den ergrabenen Befunden deuten – die Durchmesser der meisten Schächte bekannter Feuersteinbergwerke liegen deutlich über einem Meter. Schachtdurchmesser, die wesentlich kleiner als 0,9 Meter sind, lassen deshalb sogar an Kinderarbeit denken, denn ein Erwachsener benötigt zum Abteufen eines senkrechten Schachtes gewiss mehr Platz, und die altneolithische Bevölkerung war im Durchschnitt nicht auffällig kleinwüchsig.

Verbreitung und Tausch von Arnhofener Hornstein

Charakteristisch für Abensberg-Arnhofen sind dünne, abwechselnd hell und dunkel gebänderte Platten. Durch diese Eigenschaft ist das Material von Abensberg-Arnhofen nicht nur für den heutigen Archäologen leicht erkennbar, sondern es ist auch im steinzeitlichen Kontext ein hoher Wiedererkennungswert für diesen Silex zu postulieren. Die leichte Erkennbarkeit des charakteristischen und qualitativ hochwertigen Rohstoffes könnte deshalb für die weite Verbreitung im mittelnolithischen Fundstoff mitverantwortlich sein.

Die Verbreitung von Artefakten aus gebändertem Plattenhornstein Arnhofener Provenienz reicht bis in 400 Kilometer Entfernung nördlich, westlich und östlich der Abbaustelle. Werkzeuge und Abschläge dieses charakteristischen Hornsteins finden sich in Fundstellen an Mittelbe und Saale, im Rhein-Main-Gebiet, in der Schweiz, besonders zahlreich auch in Böhmen und gelegentlich in Österreich.

Die Analyse von Verteilungen unterschiedlicher neolithischer Rohmaterialien in Bayern wurde bisher nur in Mikroregionen durchgeführt, so in Hienheim, im Vilstal und in etwas großräumiger Betrachtungsweise in Südostbayern.

Binstener und Engelhardt haben den Standpunkt vertreten, dass die Gewinnung von Hornstein in Abensberg-Arnhofen durch Spezialisten und seine Weitergabe durch gewinnorientierten Handel erfolgte; die Autoren sprechen von »Saisonarbeitern«, »Nebenerwerbslandwirten«, eingespielten Vertriebswegen und organisiertem Handel. Ein wesentliches Argument für diese Einschätzung sind die beträchtlichen Mengen Feuerstein, von denen hier die Rede ist. So rechnet Binstener damit, dass in Abensberg-Arnhofen aus etwa 13 000 Schächten ca. 70 Tonnen Plattenhornstein gewonnen werden konnten – ein weiteres Argument bildet das weite

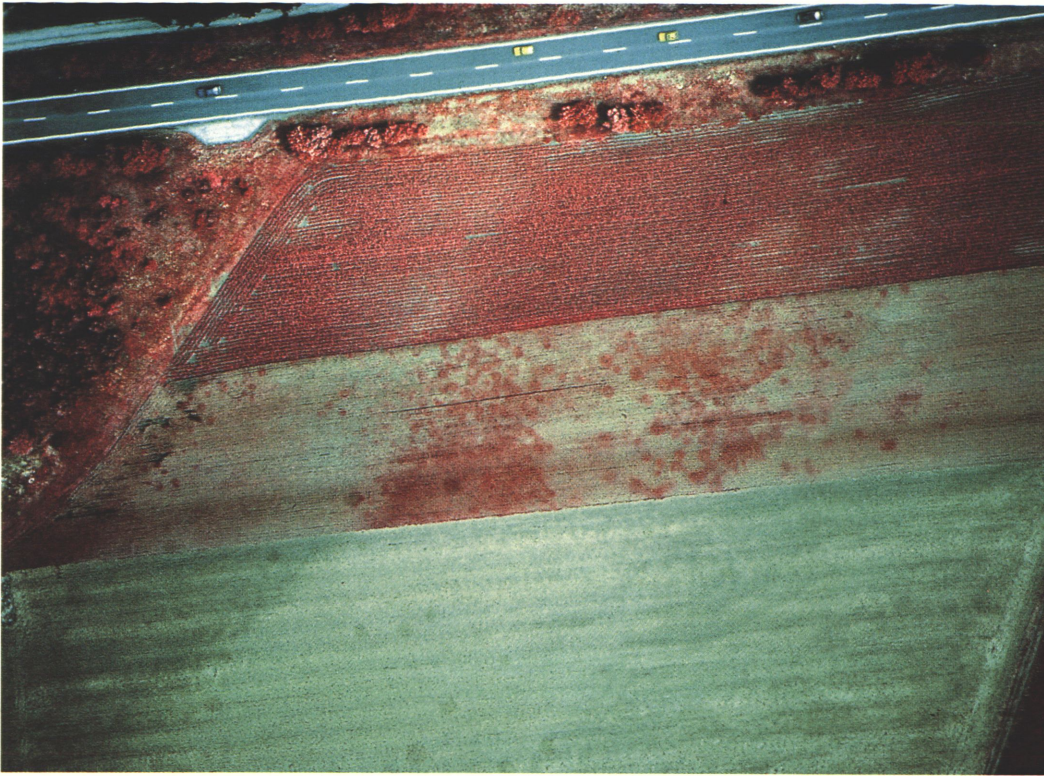
»Absatzgebiet« dieses Rohstoffes. Der mit dem bergmännischen Abbau von Silex verbundene Arbeitsaufwand könnte sogar noch größer veranschlagt werden, wenn man für die Hauptgewinnungszeit mit einer kürzeren Periode von etwa 250 Jahren Betriebsdauer rechnet.

Die Archäologin Marjorie de Grooth aus Maastricht glaubt, dass die Nutzungsintensität des Abensberger Rohmaterials mit dem Ende der Linienbandkeramik wesentlich zunahm und der Rohstoff zunächst durch Selbstversorgung von Siedlern aus der näheren Umgebung abgebaut worden sein könnte. Der Archäologe Andreas Zimmermann konnte durch großräumige Auswertung von Funden zeigen, dass mit wachsender Entfernung von den Gewinnungsstellen der Rohmaterialien der Anteil von Fertigprodukten zu- und derjenige von Herstellungsabfällen abnimmt. Dies spricht für Austauschmechanismen, bei denen viele Endabnehmer an der Produktion und an den Weitergabeprozessen beteiligt waren, was einen geringen Grad der Arbeitsteilung nahe legt. Bei kleinräumiger Betrachtungsweise stellt sich jedoch heraus, dass durchaus nicht alle Siedlungen gleichermaßen in das Weitergabennetzwerk eingebunden waren. Zumindest in einem fortgeschrittenen Stadium der Bandkeramik (um 5100 v. Chr.) bildeten sich zentrale Orte, deren Bewohner für die Beschaffung eines größeren Teiles der Materialien und die Herstellung der Artefakte zuständig waren, so dass in den Nebenorten Herstellungsabfälle deutlich seltener sind als in den benachbarten zentralen Orten, was sich auch im Silexreichtum der Siedlungen im Abensberg-Kelheim-Saaler Raum zu spiegeln scheint. Dabei ist aber auch die Frage zu berücksichtigen, ob beispielsweise die große Menge von Klopffkugeln aus Teuerting oder die Vielzahl von Bohrern aus Oberfecking **13** die Produktion von Artefakten als Tauschware für unbekanntes Wertgut anzeigt oder ob man dort

13

Auswahl kleiner, handlicher Bohrer aus gebändertem Arnhofener Plattenhornstein aus der mittleren Jungsteinzeit (um 4500 v. Chr.), die aus der nahe gelegenen Siedlung Oberfecking, ca. 6 km nördlich von Arnhofen stammen (Sammlung Dr. Reinhart, Archäologisches Museum Kelheim).





14

Die Infrarot-Luftbildaufnahme von Otto Braasch zeigt zahlreiche Schachtverfärbungen des jungsteinzeitlichen Feuersteinbergwerkes an der B16 bei Arnhofen.

Werkzeuge fertigte, mittels derer man wiederum andere Werkstücke, zum Beispiel Kalksteinperlen, bearbeitet hat, um diese letztendlich zu tauschen, was Gebrauchsspurenanalysen vom Archäologen Alfred Pawlik anzudeuten scheinen.

Die Größe des Bergwerkes

Von besonderem Interesse ist die Größe des Bergwerkes. Bisher konnte in Abensberg-Arnhofen nördlich der Kiesgrubenbetriebe nur in einer kleinen Teilfläche der ungestörte oberflächennahe Bereich des Hornsteinabbaus ausschnitthaft untersucht werden. Binsteiner erklärt die Störungen des geologischen Schichtverbandes dort durch anthropogene Eingriffe, da bis zu einer Tiefe von 0,5 Metern unter der rezenten Oberfläche Hornsteinbruchstücke und Präparationsabfälle in einem Sand- und Lehmgemisch vorkommen. Für diesen Bereich vermutete er obertägigen Kühlenbau und den Ausgangspunkt des Hornsteinabbaus. Nahezu identische Verhältnisse zeigten sich aber auch in den 1998 freigelegten Flächen der Kiesgrube Brandl, dort allerdings zwischen den Duckelbauen ohne Hinweise auf obertägige Abbauverfahren, die wegen der geologischen Rahmenbedingungen an dieser Stelle auch sinnlos wären. Die oberflächennahen Verwühlungen stehen deshalb wohl ursächlich eher mit der Konstruktion und den Abbauverfahren der Duckelbaue selbst in Zusammenhang.

Die Größe des gesamten Abbauareals lässt sich zurzeit nur grob umreißen, da lediglich die Süd- und die Ostgrenze des Bergwerkes bekannt sind. Im Westen reicht die abgebaute Fläche weit über die Bundesstraße B16, wie wir aus Luftbildern 14 wissen. Die Grenze der ausgebeuteten Altabens-Schotterflächen im Norden ist noch ungewiss, aber auch hier deuten Luftbilder an, dass die genutzte Fläche bis zu dem bekannten Hügelgräberfeld von Arnhofen-Pullach reichen könnte.

Es bietet sich für den akut gefährdeten Bereich in den nächsten Jahren eine Untersuchung der oberflächennahen Bereiche an, denn in dieser Schottererschicht lassen sich Befunde vermuten, die Informationen über die genauere Organisation der Abbauverfahren und über die Verarbeitung vor Ort enthalten – die Schachtverfüllungen enthalten kaum Artefakte, wie die Erfahrung der Grabungen in den achtziger und neunziger Jahren lehrt. Eine zukünftige Ausgrabung sollte daher nach präziser Untersuchung der oberflächennahen Schichten im Bereich der Schächte eher selektiv erfolgen und erst an der Schachtsohle wieder genauer vorgehen, um hier die Arbeitsvorgänge wie die ursprüngliche Ausgrabung, Ausbeute und Verfüllung zu erfassen. Besonders die untersten Bereiche der Schächte lassen auf archäologische Fundstücke und ggf. auf eine einmalige Befundsituation hoffen. All diese hier nur kurz skizzierten Fragen sollen im Rahmen des DFG-Projektes geklärt werden.

Leider lässt sich die akut gefährdete Fundstelle allein mit den dürftigen Mitteln der Bodendenkmalpflege nicht fachgerecht ausgraben. Da im bayerischen Denkmalschutzgesetz kein Verursacherprinzip verankert ist, kann man den Grundstückseigentümer nicht zur Übernahme von Grabungskosten zwingen. Die Ausgrabungen im größten Feuersteinbergwerk Deutschlands müssen daher ausschließlich über Drittmittel finanziert werden. Die Ausgrabungen der Kreisarchäologie Kelheim werden noch einige Jahre andauern, da immer wieder nur Teilflächen untersucht werden können. Es bleibt zu hoffen, dass mit dem Kies- und Sandabbau nicht ausgerechnet die schönsten Befunde dieses großartigen archäologischen Bodendenkmals zerstört werden.

PD Dr. phil. habil.

Michael M. Rind

geb. 1959 in Duisburg.

Studium der Vor- und Frühgeschichte, Archäologie und Volkskunde in Münster.

1984 Promotion an der WWU Münster. Seit 1993 Leiter der Kreisarchäologie Kelheim.

Seit 1995 Lehraufträge an der Universität Regensburg.

2000 Habilitation an der Universität Regensburg.

Forschungsschwerpunkte:

Archäologie am Main-Donau-Kanal; neolithische Feuersteinbergwerke; Siedlungsarchäologie der Bronzezeit; Menschenopfer.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 70

Mobilisierung im Reagenzglas

Hitze-Schock-Proteine

als Angriffspunkte für Natürliche Killerzellen

Zelluläre Immuntherapie

Der Wissenszuwachs auf dem Gebiet der antikörpervermittelten und zellulären Immunabwehr bietet heute eine ideale Plattform für die Etablierung und klinische Umsetzung innovativer Immuntherapiekonzepte. Eine Behandlung von Krebserkrankungen mit spezifisch aktivierten körpereigenen Immunabwehrzellen stellt heutzutage eine Erfolg versprechende Therapieoption dar, die auch in Ergänzung zu konventionellen Therapien klinisch anwendbar ist.

Krebs stellt weltweit ein enormes Gesundheitsproblem dar. In den Industrieländern wird in den nächsten Jahren voraussichtlich jede vierte Person an Krebs erkranken: allein in Deutschland werden derzeit jährlich mehr als 300 000 Menschen von Tumorerkrankungen befallen. Da konventionelle Krebstherapien wie z. B. Bestrahlung oder Zytostatikabehandlung nicht alle Krebserkrankungen heilen, ist es dringend erforderlich, innovative Therapiekonzepte zu entwickeln.

Bereits im letzten Jahrhundert beschäftigten sich Wissenschaftler mit der Möglichkeit, die körpereigene Immunabwehr gegen Krebs zu mobilisieren. Der Chirurg William Coley, ein Pionier auf diesem Gebiet, versuchte durch Infektion mit abgetöteten bakteriellen Erregern das Immunsystem zu stimulieren und auf diese Weise die Krebszellen zu bekämpfen. Aufgrund unerwünschter Nebenwirkungen, wie z. B. hohes Fieber, ließ sich der von Coley entwickelte erste Immuntherapieansatz allerdings nicht in die klinische Praxis umsetzen. Trotzdem wurde die Idee, das Immunsystem für die Zerstörung von Krebszellen zu rekrutieren, bis heute wissenschaftlich weiterverfolgt.

Körpereigene Abwehrmechanismen

Die Zellen des körpereigenen Immunsystems (Lymphozyten) haben nicht nur die Aufgabe, in den Körper eingedrungene Krankheitserreger zu zerstören, sie können auch Krebszellen aufspüren und eliminieren **1**. Um diese Funktionen zu erfüllen, müssen Lymphozyten zwischen »körpereigen« und »körperfremd« bzw. gesund und krank differenzieren. Prinzipiell lassen sich drei Hauptklassen von Immunabwehrzellen unterscheiden: B-Zellen, T-Lymphozyten und Natürliche Killerzellen (Killerzellen), die alle im Knochenmark entstehen.

B-Lymphozyten

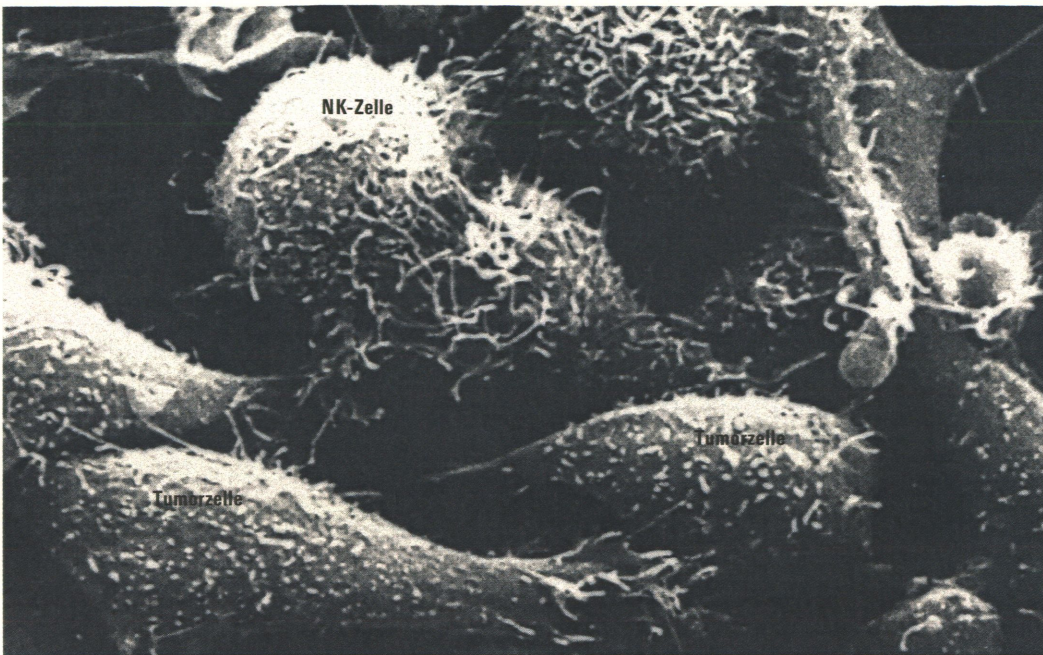
B-Lymphozyten, auch kurz B-Zellen genannt, erkennen »körperfremde« Strukturen (Fremdantigene) mit Hilfe von Antikörpern, die sie auf der Zelloberfläche tragen. Jede einzelne B-Zelle produziert nur eine Antikörperart. Nach Antigenkontakt wandeln sich B-Zellen in so genannte Plasmazellen um, die den Antikörper produzieren und abgeben (sezernieren).

Aufgrund ihres veränderten Wachstums- und Differenzierungsverhaltens präsentiert ein Teil der Krebszellen andere Oberflächenmerkmale als Normalzellen. Diese für Krebszellen typischen Merkmale (tumorspezifische Antigene) werden von B-Zellen als »körperfremd« erkannt. Es kommt spontan zu einer Vermehrung und Umwandlung von B-Zellen in Plasmazellen, die Antikörper gegen tumorspezifische Antigene produzieren. Die Antikörper heften sich an Krebszellen, und die so markierten Krebszellen werden von »Fresszellen« wie z. B. Makrophagen eliminiert.

1974 gelang es Cesar Milstein und George Köhler, durch Verschmelzung einer Antikörperproduzierenden Plasmazelle mit einer rasch wachsenden Tumorzelle identische Antikörper in beliebiger Menge im Reagenzglas herzustellen. Diese Technologie, hochspezifische, monoklonale Antikörper gegen Antigene zu produzieren, wurde 1984 mit dem Nobelpreis für Medizin ausgezeichnet und war die Basis für die Entwicklung innovativer Immuntherapieansätze. Antikörper, die gegen Krebszellen gerichtet sind, könnten beispielsweise mit Toxinen beladen werden, um Krebszellen im Körper gezielt zu zerstören. Ein Hauptproblem dieser Therapieform in der Praxis ist allerdings die eingeschränkte Verfügbarkeit geeigneter tumorspezifischer Antigene. Hinzu kommt, dass einige der tumorspezifischen Antigene auch von sich rasch teilenden, gesunden Zellen präsentiert werden. Eine Krebstherapie mit Antikörpern, die gegen solche Oberflächenstrukturen gerichtet sind, beinhaltet immer das Risiko, auch gesunde Zellen zu schädigen.

T-Lymphozyten

Neben B-Zellen spielen T-Lymphozyten eine bedeutende Rolle in der Immunabwehr gegen Krebs; mit 60 bis 80 Prozent bestreiten sie den Hauptanteil der Immunabwehrzellen. Ebenso wie B-Zellen stammen auch T-Lymphozyten aus dem Knochenmark und gehen aus einer gemeinsamen Vorläuferzelle (pluripotente Stammzelle) hervor. Die Fähigkeit, zwischen »körpereigen« und »körperfremd«

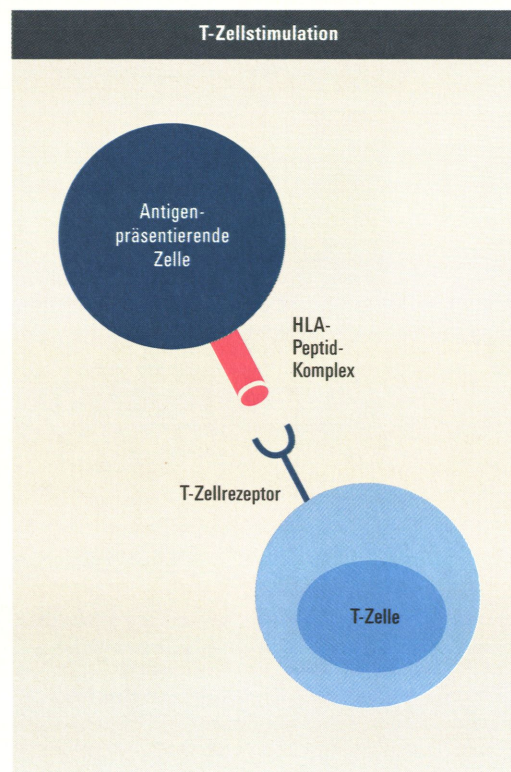


1 NK-Zellen (Natürliche Killerzellen) beim Eliminieren von Tumorzellen.

zu unterscheiden, erwerben T-Lymphozyten durch einen Reifungsprozess, der im Thymus und anderen lymphozytären Organen stattfindet. Aufgrund der Präsentation bestimmter Markermoleküle auf der Zelloberfläche und der Fähigkeit, bestimmte Wachstumsfaktoren (Zytokine) freizusetzen, unterscheidet man zwei Arten von reifen T-Zellen: Killer-T-Lymphozyten, die das CD8-Molekül auf ihrer Zelloberfläche tragen, und Helfer-T-Lymphozyten, die das CD4-Molekül präsentieren. Ähnlich wie B-Zellen sind T-Lymphozyten in der Lage, Krebszellen mit Hilfe von Oberflächenrezeptoren, den so genannten T-Zellrezeptoren, aufzuspüren, wobei auch hier jedes Tumorentigen von einem anderen T-Lymphozyten erkannt wird. Im Gegensatz zu den Antikörpern der B-Lymphozyten können T-Zellrezeptoren jedoch nicht von der Zellmembran abgespalten werden. Ferner unterscheiden sich T- und B-Lymphozyten im Mechanismus, Fremdanigene zu erkennen: B-Zellen spüren Fremdstrukturen direkt mit Hilfe ihrer Antikörper auf, die Rezeptoren der T-Lymphozyten erkennen Fremdanigene dagegen nur in aufbereiteter Form, als kurze Proteinfragmente (Peptide). Diese Peptide werden auf der Zelloberfläche von speziellen Trägermolekülen, den so genannten humanen Leukozyten-Antigenen (HLA), präsentiert. Für Killer-T-Lymphozyten werden die Peptide von HLA-Molekülen der Klasse I präsentiert, wohingegen Helfer-T-Lymphozyten Peptide nur in Kombination mit HLA-Klasse-II-Molekülen erkennen. Killer- und Helfer-T-Lymphozyten unterscheiden sich auch funktionell: Während eine Hauptaufgabe der Helfer-T-Lymphozyten darin besteht, Zytokine zu produzieren und abzugeben, die das Wachstum und die Killeraktivität anderer Immunabwehrzellen steigern, entfalten Killer-T-Lymphozyten über die Freisetzung von Enzymen ihre Killeraktivität direkt.

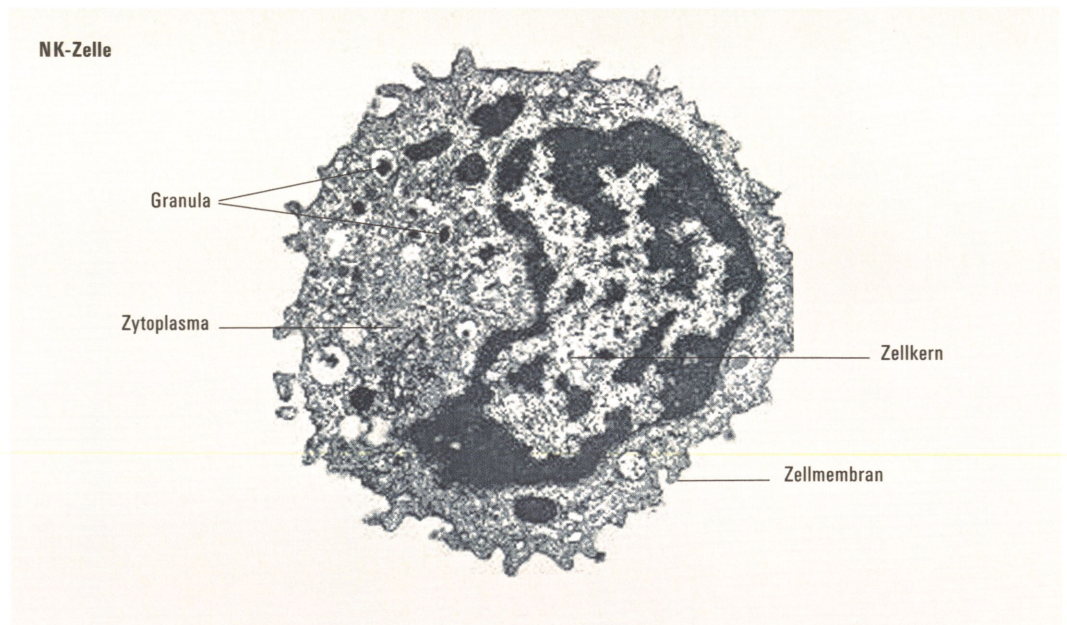
Die meisten Ansätze, Krebszellen mittels Immuntherapie zu eliminieren, basieren auf T-Lymphozyten. Diese können außerhalb des Körpers gegen Krebszellen stimuliert werden, und zwar

mittels Antigen-präsentierender Zellen, die tumorspezifische Merkmale (Proteine) aufnehmen, zerkleinern und in aufbereiteter Form als Peptide auf HLA-Molekülen präsentieren. Diese Präsentation von Tumorpeptiden führt zu einer Vermehrung und spezifischen Aktivierung von T-Lymphozyten, die gegen Krebszellen gerichtet sind **2**. Derart vorstimulierte T-Lymphozyten können in großer Zahl hergestellt und für eine gezielte Immuntherapie bei Patienten eingesetzt werden. Um die Effizienz der Aktivierung von T-Lymphozyten zu steigern, werden derzeit in der Arbeitsgruppe von Dr. Stefan Krause am Universitätsklinikum Regensburg unterschiedliche Antigen-präsentierende Zellen und unterschiedliche Antigen-Beladungstechniken überprüft.



2 Antigen-präsentierende Zellen zeigen Tumorpeptide auf HLA-Molekülen (HLA-Peptid-Komplexe). Der Kontakt zwischen HLA-Peptid-Komplex und T-Zellrezeptor führt zu einer Aktivierung von T-Zellen.

3 Elektronenmikroskopische Aufnahme einer NK-Zelle (großer granulärer Lymphozyt), Vergrößerung 20 000 fach.



Natürliche Killerzellen

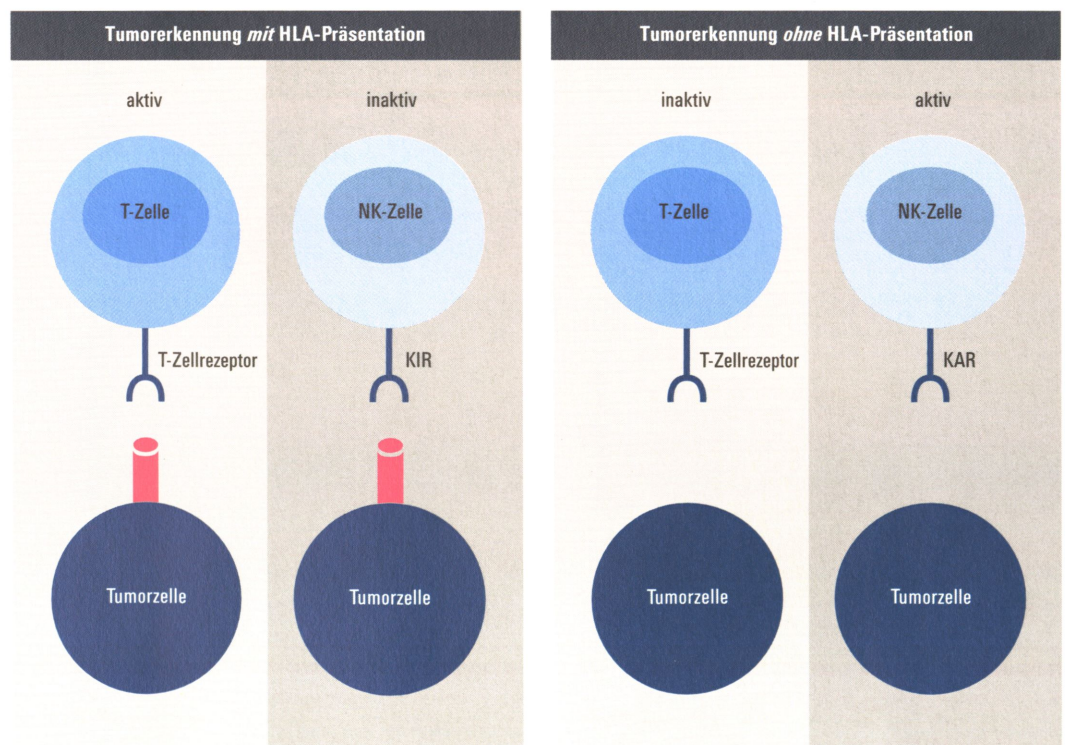
Einen weiteren wichtigen Bestandteil der körpereigenen Immunabwehr im Kampf gegen Krebs stellen die Killerzellen dar, die bereits in den frühen siebziger Jahren als eigenständige Lymphozytenpopulation charakterisiert wurden. Obwohl ihr Anteil an den Immunabwehrzellen nur 5 bis 20 Prozent beträgt, sind sie bei der Bekämpfung von Krebszellen überaus effizient. Aufgrund ihrer Morphologie werden Killerzellen auch als große granuläre Lymphozyten bezeichnet **3**. Hinsichtlich ihrer Reifung und Funktion nehmen Killerzellen jedoch eine Sonderstellung ein: Killerzellen sind für die ›angeborene‹ Immunantwort verantwortlich, das heißt, sie können ohne vorherige Schulung Fremdorganismen und Krebszellen auffinden und eliminieren. Über die Freisetzung von Zytokinen, wie z. B. Interferon-gamma, Interleukinen und

Tumornekrosefaktor-alpha, kontrollieren Killerzellen bakterielle, parasitäre und virale Infektionen. Im Gegensatz zu B- und T-Lymphozyten besitzen Killerzellen für die Erkennung von Krebszellen weder Antikörper noch T-Zellrezeptoren.

Über Jahre hinweg blieb unbekannt, warum Killerzellen in der Lage sind, Krebs- von Normalzellen zu unterscheiden. Erst die Entdeckung und molekulare Charakterisierung so genannter Killerzell-inhibierender Rezeptoren (KIR) auf Killerzellen erweiterte das Wissen über den Mechanismus der Tumorerkennung. In Grafik **4** sind die unterschiedlichen Erkennungsmechanismen von T-Lymphozyten und Killerzellen schematisch illustriert. Während T-Lymphozyten die von HLA-Molekülen präsentierten Tumorpeptide mit Hilfe ihres T-Zellrezeptors erkennen, fungiert die HLA-Präsentation für Killerzellen als

4 Unterschiedliche Mechanismen der Tumorerkennung durch T-Zellen und NK-Zellen. links: T-Zellen erkennen Tumorzellen mit HLA-Peptid-Präsentation über den T-Zellrezeptor. rechts: Fehlt die Präsentation der HLA-Peptid-Komplexe auf Tumorzellen, können diese Tumorzellen von NK-Zellen über den Killerzell-aktivierenden Rezeptor erkannt werden. T-Zellen können Tumorzellen ohne HLA-Peptid-Präsentation nicht erkennen.

KIR Killerzell-inhibierende Rezeptoren
KAR Killerzell-aktivierende Rezeptoren



negativ regulierendes Signal. Nimmt eine Killerzelle über ihren Killerzell-inhibierenden Rezeptor (KIR) Kontakt mit einem HLA-Peptid-Komplex auf, werden negative Signale ins Zellinnere übertragen, die die Killeraktivität abschalten. Zellen mit normaler HLA-Präsentation sind somit vor dem Angriff durch Killerzellen geschützt. Fehlt jedoch das hemmende Signal (körpereigene HLA-Präsentation), können die Killerzellen angreifen. Über Killerzell-aktivierende Rezeptoren (KAR) kommt es zur Zerstörung der Zielzellen. Diese Regulation der Killerzellaktivität wurde von Dr. Klas Kärre 1990 als »Missing-Self-Theorie« bezeichnet. Bei fehlender HLA-Präsentation kommt es zu einer Eliminierung der Zielzelle. Heute kennt man die molekularen Mechanismen der Hemmung der Killerzellaktivität durch HLA-Moleküle. Allerdings bleibt offen, inwieweit positiv regulierende tumorspezifische Merkmale die negativen Signale der HLA-Moleküle beeinflussen können. Bislang konnten nur sehr wenige Killerzell-aktivierende Rezeptoren (KAR) in ihrer molekularen Struktur und Funktionsweise aufgeklärt werden.

Immunabwehrmechanismen

Wie bereits erwähnt, müssen für die Erkennung durch T-Lymphozyten tumorspezifische Peptide von HLA-Molekülen präsentiert werden. Allerdings haben eine Reihe von Tumoren und Metastasen die Fähigkeit erworben, einer T-Zell-vermittelten Immunüberwachung zu entgehen (»Immun-Escape-Mechanismen«), indem die Präsentation von HLA-Molekülen auf der Zelloberfläche reduziert ist oder gar fehlt. Einerseits sind derartige Krebszellen für T-Lymphozyten immunologisch »unsichtbar«, andererseits stellen sie jedoch ideale Zielzellen für Killerzellen dar. Vor allem Metastasen weisen häufig eine reduzierte oder fehlende HLA-Präsentation auf. Deshalb ist es nahe liegend, zur Behandlung von Metastasen eine Killerzell-vermittelte Immuntherapie einzusetzen.

Trotz eines über unterschiedliche Immunabwehrzellen (T-Lymphozyten und Killerzellen) und Antikörper (B-Zellen) gesicherten Überwachungssystems gelingt es Krebszellen immer wieder, der Immunabwehr zu entgehen – Krebszellen sind in der Lage, das Immunsystem zu täuschen und zu inaktivieren. Neben einer verminderten HLA-Präsentation können manche Krebszellen über die Freisetzung von inhibierenden Faktoren, wie z. B. dem Tumor-Wachstumsfaktor-beta, die Abwehrkraft der Immunabwehrzellen unterdrücken. Dadurch verschafft sich der Krebs einen Zeitvorsprung und kann sich für einen bestimmten Zeitraum sehr rasch und unkontrolliert vermehren. Einem Überschuss an Krebszellen ist auch ein intaktes Immunsystem nicht mehr gewachsen.

Therapieansätze

Viele konventionelle Tumorthérapien, wie z. B. Chemotherapie oder Bestrahlung nach operativer Entfernung eines Tumors, führen zu einer Beeinträchtigung der Immunabwehrzellen, so dass die körpereigene Abwehr gegenüber dem Tumor geschwächt ist. Um den Wettlauf gegen den Krebs zu gewinnen, ist es notwendig, zusätzliche

Behandlungsstrategien zu entwickeln, die das Immunsystem stärken. Immunologische Therapieverfahren bieten eine sinnvolle Ergänzung oder sogar eine Alternative zu konventionellen Behandlungsstrategien. Ein wichtiges Prinzip verschiedener Immuntherapien ist die Definition und Charakterisierung tumorspezifischer Erkennungsmerkmale, da diese wichtige Angriffspunkte für derartige Therapieansätze darstellen. Zusätzlich werden Verfahren zur Stimulation verschiedener Immunabwehrzellen etabliert. Unsere Forschungsergebnisse zu diesem Thema haben gezeigt, dass bestimmte Tumorzellen im Gegensatz zu gesunden Zellen so genannte Hitze-Schock-Proteine (HSP) auf der Zelloberfläche präsentieren. Die Entdeckung, dass sich Killerzellen durch HSP spezifisch gegen Krebszellen aktivieren lassen, stellt die Grundlage für die Etablierung einer zellulären Immuntherapie dar, die noch in diesem Jahr am Universitätsklinikum Regensburg in einer klinischen Phase-I-Studie an Patienten erstmals überprüft werden soll.

Hitze-Schock-Proteine (HSP)

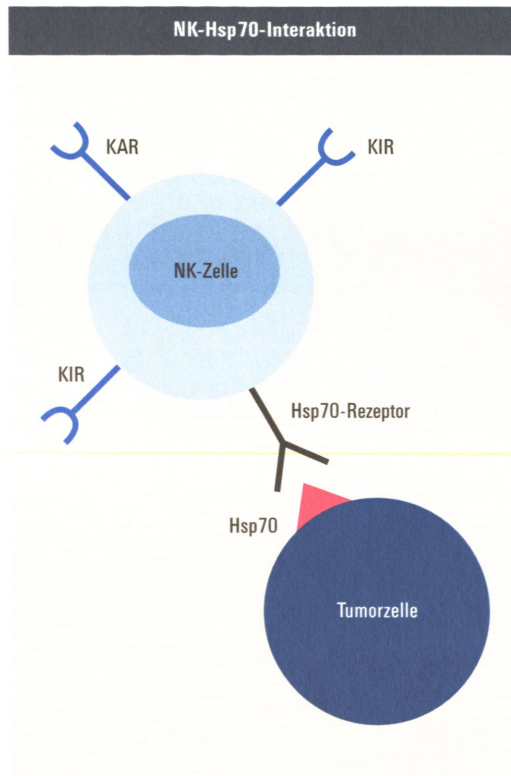
Seit zehn Jahren werden in unserer Arbeitsgruppe Forschungsarbeiten über Hitze-Schock-Proteine (HSP) durchgeführt. Aufgrund ihres Molekulargewichts werden HSP in unterschiedliche Proteinfamilien unterteilt. Hinsichtlich ihrer Funktion und Regulation auf molekularer Ebene sind HSP mit einem Molekulargewicht von 70 Kilo-Dalton (Hsp70) derzeit am besten charakterisiert. HSP spielen eine essenzielle Rolle, um das Überleben von Zellen in Stresssituationen, wie z. B. bei der Einwirkung von Hitze, Zellgiften, Schwermetallen oder reaktiven Sauerstoffspezies, zu gewährleisten. Sowohl bakterielle als auch Zellen höherer Organismen reagieren gleichartig mit einer verstärkten Produktion von HSP. Dies ist ein erster Hinweis auf ihre enorme Bedeutung für lebende Zellen. HSP übernehmen im Zellinneren (Zytoplasma) eine Reihe von Helfer-Funktionen, das heißt, sie helfen anderen Proteinen bei der Faltung, unterstützen intrazelluläre Transportvorgänge und verhindern Proteinaggregation nach Stresseinwirkung. In jüngster Zeit wurde von unserer Arbeitsgruppe erkannt, dass HSP neben ihren Aufgaben im Zytoplasma wichtige Funktionen bei der Aktivierung des Immunsystems übernehmen. Zum einen spielen sie eine Schlüsselrolle bei der Präsentation von Antigenen, zum anderen besitzen sie selbst ein enormes immunstimulierendes Potenzial.

HSP und Killerzellen

Um die Frage zu beantworten, inwieweit eine für Krebszellen charakteristische Hsp70-Membranlokalisation die Immunogenität von Krebszellen beeinflusst, wurde in unserer Arbeitsgruppe ein Tumormodellsystem entwickelt. Über Zellsortierung können aus menschlichen Darmkrebszellen zwei stabile Zellkulturen isoliert werden, die sich lediglich hinsichtlich ihrer Fähigkeit, Hsp70 auf der Zellmembran zu präsentieren, unterscheiden. Alle anderen Zelloberflächenmerkmale, wie z. B. HLA-Moleküle oder Adhäsionsmoleküle, sind auf den beiden Krebszellen identisch. Ein Vergleich

5

Mechanismus der Hsp70-vermittelten lytischen Aktivität durch Killerzellen. Das auf der Zellmembran von Tumorzellen präsentierte Hsp70-Protein wird über Killerzell-aktivierende Rezeptoren (KAR) von Killerzellen als aktivierendes Signal erkannt. Die tumorspezifische Hsp70-Membranpräsentation dominiert über negative Signale, die über HLA-Peptid-Komplexe und Killerzell-inhibierende Rezeptoren vermittelt werden.



der Empfindlichkeit dieser Krebszellen verdeutlicht, dass Krebszellen mit Hsp70-Zelloberflächenexpression von Killerzellen, nicht jedoch von T-Lymphozyten, signifikant besser erkannt und eliminiert werden als Tumorzellen, denen eine Hsp70-Zelloberflächenexpression fehlt 5. Tierversuche an Mäusen bestätigen diese Ergebnisse. Eine Injektion von menschlichen Killerzellen in tumortragende Mäuse führt nicht nur zu einer lokalen Tumorkontrolle, sondern verhindert auch langfristig eine Metastasierung.

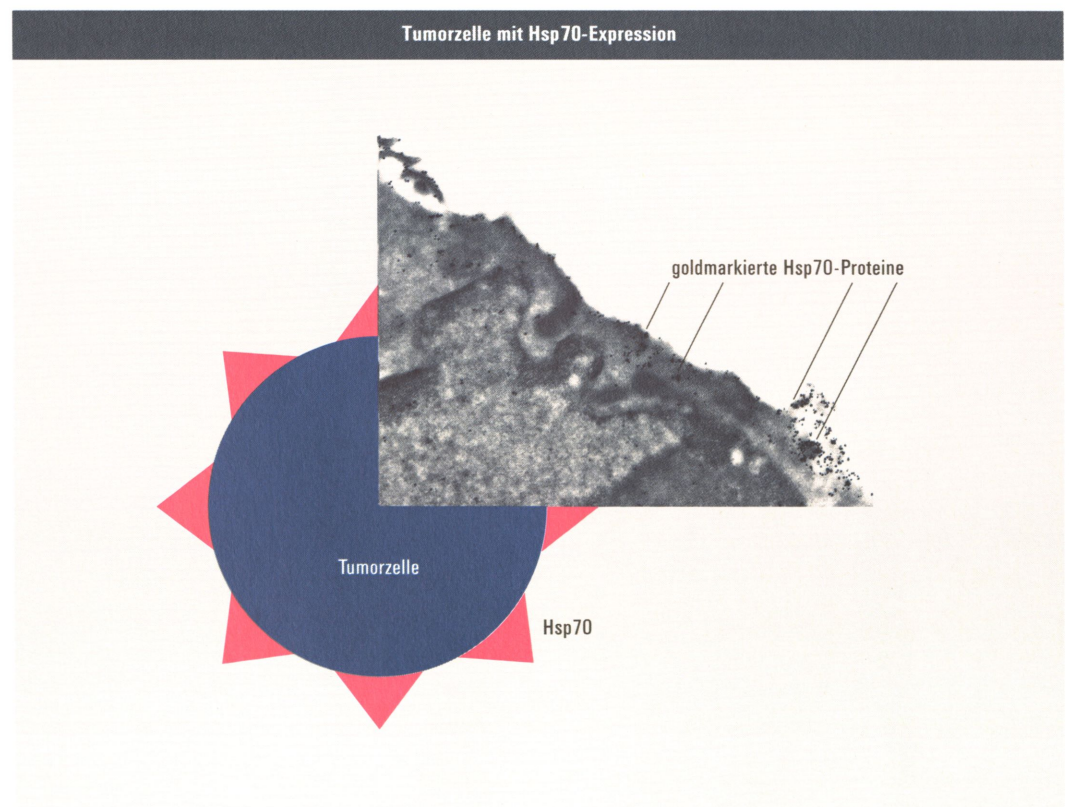
Nachweis von HSP auf menschlichen Tumoren

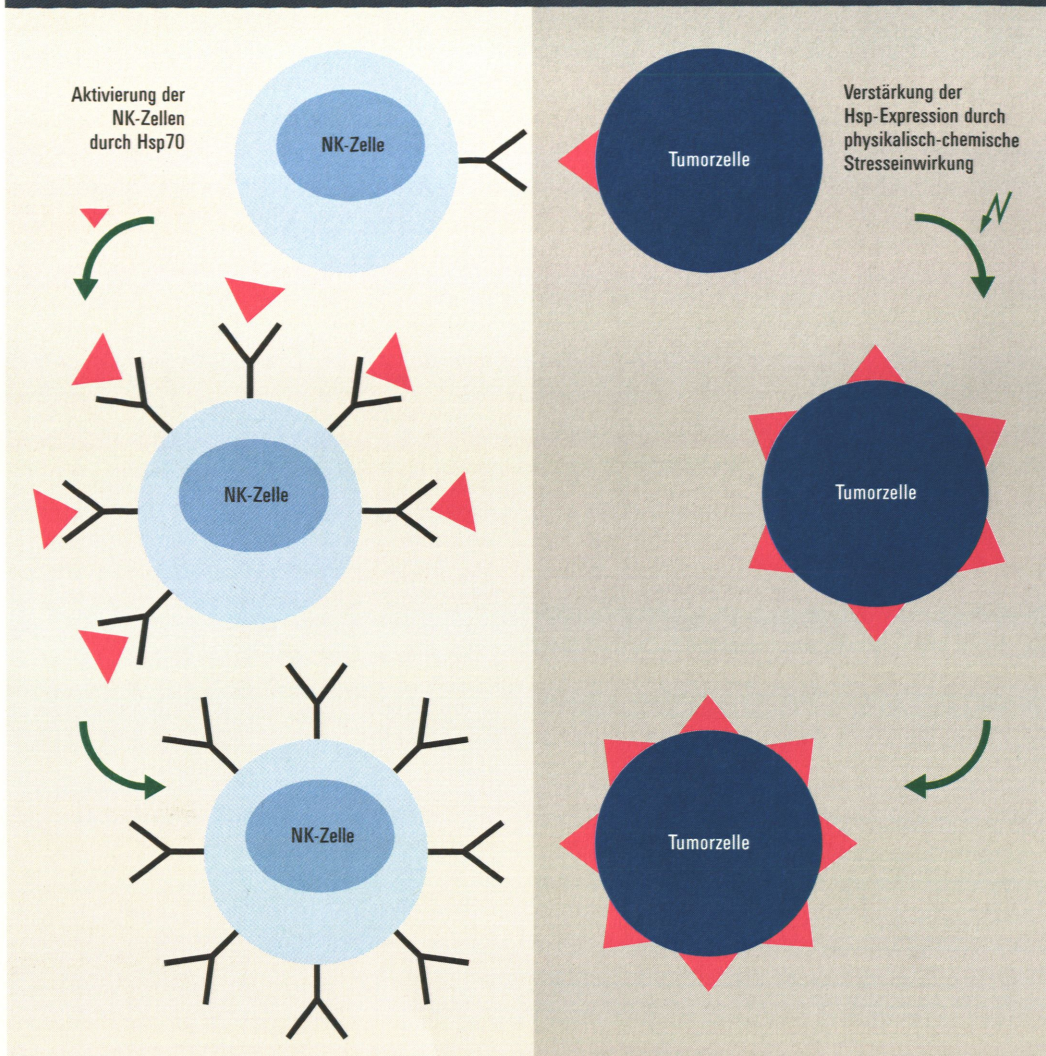
Um die klinische Relevanz einer Hsp70-Präsentation als Erkennungsstruktur auf der Zellmembran von Tumoren zu analysieren, wurden Untersuchungen mit unterschiedlichen menschlichen Tumoren durchgeführt. Es zeigt sich, dass vor allem Darmkrebszellen, Lungenkrebszellen und Leukämiezellen eine Hsp70-Membranexpression aufweisen. Dieses tumorzelltypische Expressionsmuster konnte sowohl mit biochemischen (selektive Zelloberflächenbiotinylierung) als auch mit immunologischen (Durchflusszytometrie, Elektronenmikroskopie, funktionelle Tests) Verfahren nachgewiesen werden. Bild 6 zeigt den Ausschnitt einer Hsp70-tragenden Tumorzelle als elektronenmikroskopische Aufnahme. Hsp70-Moleküle wurden durch Markierung mit Goldpartikeln als schwarze Punkte sichtbar gemacht. Damit können Hsp70-Moleküle sowohl auf der Zellmembran als auch im Zytoplasma und im Zellkern sichtbar gemacht werden.

Tumorzellen, die einer Wärmebehandlung unterzogen wurden, präsentieren vermehrt Hsp70-Proteine auf der Zelloberfläche und sind somit für Killerzellen besser erkennbar. Neben Wärme (physikalischer Stress) ist auch eine Behandlung mit Membran-interagierenden Substanzen, wie z. B. dem Alkyl-Lysophospholipid-Derivat ET18-OCH₃ (chemischer Stress), das zum Reinigen von Leukämiezellen aus dem Knochenmark verwendet wird, in der Lage, eine verstärkte Hsp70-Membranexpression auf Krebszellen zu erzeugen. Die bislang besten Ergebnisse hinsichtlich der Induzierbarkeit der Hsp70-Membranexpression konnten mit einer kombinierten Behandlung, bestehend aus physikalischem und chemischem Stress, erzielt werden. Killerzellen erkennen derart vorbehandelte

6

Ausschnitt einer Hsp70-tragenden Tumorzelle im Elektronenmikroskop. Die Lokalisation der Hsp70-Proteine auf der Zellmembran einer Tumorzelle ist mit 20 nm großen Goldpartikeln markiert. In elektronenmikroskopischen Aufnahmen lassen sich Goldpartikel als schwarze Punkte abbilden (Vergrößerung 55 000 fach).





7

NK-Zellen können Hsp70-tragende Tumorzellen im Körper aufspüren und eliminieren. Um die Elimination von Tumorzellen durch körpereigene Immunabwehrzellen zu steigern, können zwei Wege der Immunstimulation beschritten werden:

links:

Zum einen kann die lytische Aktivität von NK-Zellen durch Zugabe von Hsp70-Proteinen gesteigert werden.

rechts:

Zum anderen kann über physikalisch-chemische Stresseinwirkung die Menge an Hsp70-Proteinen auf der Zellmembran von Tumorzellen spezifisch gesteigert werden. Beide Verfahren führen zu einer erhöhten Tumorzytolyse durch NK-Zellen.

Krebszellen signifikant besser und entfalten eine höhere lytische Aktivität, so dass die Elimination der Krebszellen effizienter wird.

Adoptive Immuntherapie mit Killerzellen bei Krebspatienten

Die bislang an Zellen im Reagenzglas und an Mäusen erhobenen präklinischen Befunde stellen die Voraussetzung für die Etablierung einer unterstützenden Immuntherapie dar, die auf der für Krebszellen typischen Eigenschaft basiert, Hsp70 auf der Zellmembran zu präsentieren. Am Universitätsklinikum Regensburg soll in enger Zusammenarbeit mit Professor Reinhard Andreesen eine zelluläre Immuntherapie durchgeführt werden, die an zwei Fronten die körpereigene Abwehr von Tumorpatienten unterstützt. Da präklinische Forschungsergebnisse zeigten, dass die Produktion einer großen Zahl von Killerzellen sowie deren Aktivierung durch Inkubation von Lymphozyten mit Hsp70 möglich ist, sollen aus Patientenblut gewonnene Killerzellen im Reagenzglas mit HSP-Proteinen stimuliert werden. Die Lymphozyten werden dann in sterilen, teflonbeschichteten Beuteln mit HSP-Proteinen plus Zytokinen inkubiert; diese voraktivierten Killerzellen stellen die Grundlage für eine Immuntherapie dar. Nach einer Inkubationsphase von drei Tagen wird erstmals

durch eine sterile Probenentnahme der Aktivierungsstatus der Killerzellen überprüft. Bei erfolgreicher Aktivierung werden die Killerzellen in den Patienten injiziert. Im Körper des Patienten sollen die im Reagenzglas voraktivierten Killerzellen über die Hsp70-Membranexpression Krebszellen oder im Blut zirkulierende Metastasen als »körperfremd« erkennen und über einen direkten Zell-Zell-Kontakt angreifen und eliminieren.

Die zweite Strategie, die bislang nur im Reagenzglas getestet wurde, betrifft die Behandlung von Tumorzellen. Um Krebszellen für voraktivierte Killerzellen besser erkennbar zu machen, wurden, wie oben beschrieben, Verfahren entwickelt, die die Menge an Hsp70-Proteinen auf Tumorzellmembranen über physikalisch-chemische Stresseinwirkung erhöhen. Der geplante kombinierte Immuntherapieansatz ist in 7 schematisch dargestellt. Aufgrund der Tatsache, dass nicht nur immunkompetente Effektorzellen, sondern auch Krebszellen in die Behandlung mit einbezogen werden, sprechen wir bei unserem Therapieansatz von »multipler Immunstimulation«. Unsere Hoffnung ist es, mit diesem Ansatz eine klinisch effiziente Immuntherapie für Hsp70-tragende Tumore und Metastasen zu erreichen.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 70

PD Dr. rer. nat.

Gabriele Multhoff

geb. 1961 in München.

Studium der Biologie an der LMU München, 1990 Promotion im Fach Immunologie.

1998 Habilitation am Klinikum Großhadern der LMU München, Titel: Charakterisierung

Therapie-induzierter Modulationen an Krebs und immunkompetenten Effektorzellen: ein *in vitro* Modellsystem zur Entwicklung einer adjuvanten Immuntherapie für Tumorpatienten.

1999 Leiterin der Arbeitsgruppe NK-Zellen am Universitätsklinikum Regensburg, Abteilung Hämatologie, Internistische Onkologie.

1999 Gründung der Biotechnologiefirma „multimmune“.

Forschungsgebiete:

Immunologie, NK-Zellen,

Stressantwort, Immuntherapie.

Passworte

Benutzer-Authentisierung anhand des Tippverhaltens

Computersicherheit

Dass wir für das Informationszeitalter erzogen werden, merken wir spätestens, wenn wir ein Passwort oder eine PIN auswendig lernen sollen. Dies ist nicht nur unbequem, sondern in der Praxis auch unsicher. Der Passwortschutz entpuppt sich als Gefahrenquelle für die Belange der modernen Informationsgesellschaft. Deshalb wird weltweit an Methoden gearbeitet, welche die Sicherheitslücke »auf dem letzten Meter«, d. h. auf der Strecke vom Benutzer zum PC, mit Hilfe biometrischer Erkennungsverfahren schließen sollen. Eine interessante Möglichkeit ist die Benutzer-Authentisierung anhand des Tippverhaltens.

Bedrohungsszenarien durch Computermissbrauch

Wir haben uns an die Errungenschaften der Informations- und Kommunikationstechnik (IuK-Technik) nicht nur gewöhnt, sondern sind in höchstem Maße von ihnen abhängig geworden. Auf welch dünnem Eis wir uns dabei bewegen, wurde beim Jahr-2000-Problem deutlich; mit Hilfe gewaltiger Anstrengungen konnte man die Systeme rechtzeitig reparieren. Dabei droht eine weitere Gefahr, die nicht weniger ernst zu nehmen ist: die missbräuchliche Verwendung von IuK-Systemen bis hin zur Sabotage.

Auf der Tagung der Deutschen Gesellschaft für Wehrtechnik im Herbst 1998 hat der Bundesnachrichtendienst berichtet, dass man dort seit Jahren im Rahmen einer Gefährdungsanalyse Entwicklungen verfolgt, von denen für die Bundesrepublik Deutschland eine Bedrohung durch aggressive Verwendung der modernen Informationstechnik (Information Warfare) ausgeht. Nach Einschätzung eines US-Nachrichtendienstes befassen sich derzeit über 120 Länder in irgend einer Weise mit Information Warfare bis hin zu umfangreichen Warfare-Programmen. Gegenstand dieser Programme ist der Schutz der eigenen Systeme, teilweise aber auch die Entwicklung offensiver Fähigkeiten.

IuK-Systeme bieten Angriffspunkte für Wirtschaftsspionage – nach vorsichtigen Schätzungen entsteht dadurch in Deutschland jährlich ein Schaden in Höhe von 20 Milliarden DM: Deutsche Unternehmen sind favorisierte Zielobjekte ausländischer Nachrichtendienste, so Klaus Dieter Matschke, Präsident des Verbands Deutscher Sicherheitsunternehmensberater, in einem Gespräch mit der Süddeutschen Zeitung im Februar 2000.

Spioniert wird vor allem in forschungsintensiven Branchen wie in der Chemie-, Pharma-, Optik-, Auto-, Luftfahrt- und Mikroelektronikindustrie. Von großem Interesse sind neben dem Anlagenbau Telekommunikations- sowie Kernkraft- und Biotechnologiefirmen. Es gibt Hinweise, dass Nachrichtendienste bei den Fusionen von Hoechst und Rhône-Poulenc sowie von Daimler und Chrysler indirekt mitgewirkt hätten.

Sicherheit im Electronic Commerce

Es sind aber nicht nur die IuK-Systeme in den Entwicklungslabors und auf den oberen Managementtagen sowie die Laptops der Unternehmensberater vor Missbrauch zu schützen. Im Rahmen des Electronic Commerce hat auch Otto Normalverbraucher ein gesteigertes Interesse daran. Der Bürger verlangt, dass im Internet nicht nur das Postgeheimnis gewahrt ist, sondern dass auch Rechtsverbindlichkeit herrscht. Dazu ist es notwendig, eine elektronische Unterschrift leisten zu können, die ihrem Rechtscharakter nach einer Unterschrift auf dem Papier gleich kommt. Zusätzlich muss ein »Einschreiben mit Rückschein« möglich sein. Nicht zuletzt möchte der Einkäufer im Internet auch anonym bezahlen können. Erst wenn all dies möglich ist, wird der Electronic Commerce den Durchbruch schaffen.

Spezialisten der Informationssicherheit (IT-Security) versuchen, IuK-Systeme zu schaffen, die Vertraulichkeit garantieren, deren Datenbestände und Verarbeitungsroutinen korrekt sind (Integritätseigenschaft) und die zuverlässig verfügbar sind. Die hierzu notwendigen Maßstäbe wurden von der EU in einem IT-Security-Katalog ITSEC »Kriterien für die Bewertung der Sicherheit von Systemen der Informationstechnik« festgesetzt.

Insbesondere die Kryptografie hat sehr vieles geleistet. Sie befasst sich mit der Ver- und Entschlüsselung von Daten, um die Vertraulichkeit zu gewährleisten. Die wichtigen Verfahren lassen sich in drei Gruppen einteilen:

- *theoretisch absolut sichere Verfahren,*
- *fast absolut sichere Verfahren* und
- *sehr wahrscheinlich sichere Verfahren.*

Bei den *theoretisch absolut sicheren Verfahren* wird die Nachricht im Klartext mit Hilfe von Zufallsmechanismen Zeichen für Zeichen so verändert, dass der verschlüsselte Text für einen Nichtschlüsselbesitzer keinerlei Information mehr trägt – ein Angreifer findet deshalb keinen Angriffspunkt für systematische Attacken. In diesem Sinne ist

die *absolute Sicherheit* zu verstehen: Das Knacken des Codes wäre reine Glückssache, ein Ereignis mit einer verschwindend geringen Wahrscheinlichkeit. Dieses Verfahren ist sehr aufwändig und wird deshalb in der Praxis nicht eingesetzt. Diesen Nachteil besitzen die *fast sicheren Verfahren* nicht. Sie arbeiten mit einem nach dem Data Encryption Standard (DES) festgelegten Verschlüsselungsverfahren, das zur Erhöhung der Sicherheit drei Mal hintereinander angewandt wird (TRIPLE DES). Die *sehr wahrscheinlich sicheren Verfahren* verwenden sowohl zum Ver- als auch zum und Entschlüsseln jeweils einen eigenen Schlüssel, wobei es ausreicht, wenn derjenige zum Entschlüsseln geheim bleibt (der so genannte private Schlüssel). Der andere wird absichtlich offen gelegt. Sendet Alice an Bob eine geheime Nachricht, so verschlüsselt sie den Klartext mit Bobs öffentlichem Schlüssel. Dies ist ungefährlich, da allein Bob als der Besitzer des zweiten Schlüssels die Nachricht entziffern kann. Die Sicherheit des Verfahrens liegt im hohen Rechenaufwand begründet. Wollte man aus dem öffentlichen Schlüssel den privaten Schlüssel berechnen, müsste man dazu eine sehr große natürliche Zahl in ihre Faktoren zerlegen. Dies ist, wenn man die Zahl nur geschickt genug wählt, nach heutiger Kenntnis extrem rechenaufwändig. Man vermutet, dass das auch in alle Zukunft so bleibt, denn bis jetzt haben die Mathematiker trotz intensiver Suche noch keinen Algorithmus gefunden, der dieses Problem in erträglich kurzer Zeit lösen könnte.

Allerdings ist bisher kein Beweis der Vermutung gelungen, dass es prinzipiell kein »erträglich kurzes Verfahren« gibt. Deshalb handelt es sich hier nur um *wahrscheinlich sichere Verfahren*.

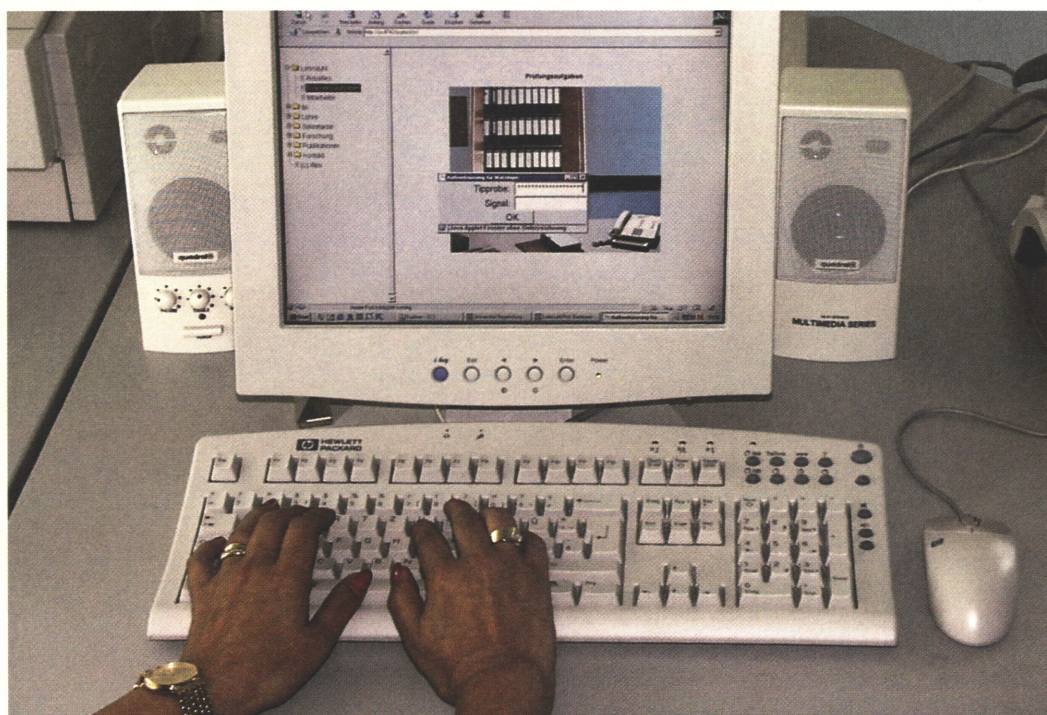
Um Vertraulichkeit und Rechtsverbindlichkeit im Electronic Commerce zu ermöglichen, wird derzeit eine Sicherheitsinfrastruktur aufgebaut, deren Hauptbestandteile Trust Center sind, die so genannte Zertifizierungsdienstleistungen wie

z. B. die Beglaubigung der Echtheit einer digitalen Unterschrift übernehmen. Für die rechtlichen Voraussetzungen wurden im IuK-Dienstegesetz die Grundlagen gelegt. Insgesamt lässt sich festhalten, dass Theorie und Technik ausreichende Lösungen bereitstellen, um Vertraulichkeit zu wahren.

Das Problem des »letzten Meters«: die Authentisierung

Damit Computermisbrauch unterbunden werden kann, muss jedoch auch das letzte bzw. erste Glied in der Kommunikationskette, nämlich der Zugang zum System, abgesichert werden. Ansonsten bleibt ein nicht unerhebliches Restrisiko. Das soll anhand des folgenden, in naher Zukunft alltäglichen Beispiels verdeutlicht werden. Ein Bürger möchte via Internet eine KFZ-Haftpflichtversicherung abschließen. Nachdem er das Antragsformular am Bildschirm ausgefüllt hat, muss er es digital signieren. Hierzu benutzt er in Zukunft seine Chipkarte, die er von der Bank erhalten hat. Auf dem Chip sind Kryptier- und Signierfunktionen implementiert. Der Benutzer führt die Karte in den Schlitz des Kartenlesers an seinem heimischen PC ein und klickt auf dem Bildschirm das Feld »Digitale Signatur aktivieren« an. Es öffnet sich ein Fenster mit dem Text »Bitte Passwort eingeben«. Das eingetippte Passwort wird im Chip auf seine Richtigkeit überprüft. Daraufhin wird die Signierfunktion im Chip aktiviert. Unter Einschaltung eines Trust Centers wird die Echtheit der Signatur beglaubigt und ein Zeitstempel sowie ein »Einschreiben mit Rückschein« ausgestellt. Dann wird das Antragsformular auf die Reise geschickt.

Dabei muss sicher gestellt sein, dass Chipkarte und Person zusammengehören, dass sich also kein unberechtigter Zweiter als der Besitzer der Chipkarte ausgeben kann. Das geschieht durch die Authentisierung mit Hilfe des Passwortes. Diese Absicherung des »letzten Meters«, d. h. der Strecke vom Benutzer zum Terminal, ist eine Schwachstelle.



Um den Zugriff auf vertrauliche Daten zu erhalten, muss der Benutzer anstelle des Passwortes eine kurze Tipp-Probe eingeben. Spezielle Computersoftware erkennt jede Person anhand des individuellen Tippverhaltens.

Bisher konnte man die Unzulänglichkeiten des Passwortschutzes in Kauf nehmen, da die Risiken im privaten Bereich klein sind und zum Teil von Versicherungen abgedeckt werden. Im Unternehmensbereich hat man noch die zusätzliche Sicherung, dass der Computerarbeitsplatz eines Mitarbeiters meist vor dem Zutritt Unbefugter geschützt ist.

Das Authentisierungsproblem besitzt im Beispiel zur KFZ-Versicherung plötzlich eine ganz neue Qualität. Der Vorgang des digitalen Signierens ist viel zu kompliziert, als dass er vom Benutzer selbst durchgeführt werden könnte. Er wird an ein Computerprogramm delegiert. Gleichgültig, wer den digitalen Unterschriftsprozess initiiert – auch wenn es eine zweite, unberechtigte Person ist –, *die Unterschrift ist echt!* Somit reduziert sich für Fälscher das Problem auf die unberechtigte *Veranlassung* einer echten Unterschrift. Für den Benutzer potenziert sich allerdings die Gefahr. Der Fälscher tätigt in seinem Namen rechtsverbindliche Geschäfte im Internet und schädigt ihn dadurch schwer, oder er kompromittiert ihn, indem er in dessen Namen z. B. in der Szene der Internet-Pornografie auftritt. Dadurch, dass die digitale Signatur nachweislich echt ist, hat der Benutzer, auf dessen Namen die Unterschrift lautet, vor Gericht einen schweren Stand. Anstatt wie bisher mit Hilfe eines graphologischen Gutachtens die Fälschung nachzuweisen, muss er jetzt beweisen, dass sich ein Fremder die Chipkarte zeitweise »ausgeliehen« und das Passwort entdeckt hat, weil es z. B. auf einem Zettel notiert war, der an der Unterseite der Computertastatur klebt. Da es hierfür üblicherweise keine Zeugen gibt, wird eine Beweisführung sehr schwer werden.

Somit ist das Problem des letzten Meters das eigentliche Kernproblem im Electronic Business. Wenn Fälle bekannt werden, in denen Bürger und Unternehmen durch Missbrauch der digitalen Signatur ernststen Schaden genommen haben, dann ist damit zu rechnen, dass diese Technologie in breitem Umfang von der Bevölkerung abgelehnt wird und der Electronic Commerce auf Geschäfte ohne Haftungsrisiko beschränkt bleibt. Deshalb muss man dem Problem der zuverlässigen Authentisierung höchstes Augenmerk widmen.

Die Schwächen des Passwortschutzes

Die Merkmale, welche die Authentisierungungsverfahren verwenden, lassen sich in die Kategorien »Besitz – Sein – Wissen« einordnen. Beispiele für Besitz-Merkmale sind Personalausweis, Schlüssel, Chipkarte und für Seins-Merkmale Gesicht, Muttermal, Fingerabdruck. Das gebräuchlichste Wissens-Merkmal ist das Passwort. Solange es geheim gehalten wird und so kompliziert ist, dass es praktisch nicht erraten werden kann, liefert es einen sehr hohen Schutz. Die Nachteile sind aber nicht zu übersehen.

Der erste Nachteil ist die Zeitpunktauthentisierung. Das Passwortverfahren verifiziert die Identität eines Benutzers genau während des Zeitpunkts der Passworteingabe. Anschließend kann der Benutzer jedoch wechseln, ohne dass dies vom Computersystem bemerkt wird.

Ein weiterer Nachteil ist die geringe Robustheit: Der Schutzmechanismus steht und fällt mit der Geheimhaltung. Bei unbedachtem Umgang geht der Schutz aber sofort kaputt. Damit liegt die Qualität der Sicherheit in der Eigenverantwortung des Benutzers. Eine häufig befürchtete Gefahr ist die erzwungene Preisgabe. Es ist möglich, den Benutzer zu einer unfreiwilligen Freigabe des Passwortes zu bewegen, ohne dass er dabei Gewalt erleiden muss.

Die geringe Sicherheit des Verfahrens in der Praxis wird ebenfalls als Nachteil empfunden. Oft mangelt es am Arbeitsplatz an der nötigen Sorgfalt bei der Geheimhaltung des Passwortes. Die praktische Erfahrung zeigt, dass sich eine hundertprozentige Geheimhaltung nicht durchsetzen lässt. Dies gilt ebenso im privaten Bereich. Eine 1995 durchgeführte Umfrage des Emnid-Instituts hat ergeben, dass in über zehn Prozent aller deutschen Haushalte die zu einer Magnetstreifen- bzw. Chipkarte gehörige PIN mehr als einem Familienmitglied bekannt ist.

Der gravierendste Nachteil ist jedoch die geringe Praktikabilität. Damit ein Passwort nicht leicht erraten werden kann, muss es einigermaßen kompliziert sein und häufig gewechselt werden. Dies stößt jedoch auf Widerwillen beim Benutzer, denn er sollte es auswendig wissen, oder, falls er es doch aufgezeichnet hat, die Aufzeichnung einerseits schnell zugänglich und andererseits für jede andere Person unzugänglich aufbewahren. Erschwerend kommt hinzu, dass der Benutzer mit einem Passwort alleine nicht auskommt. Er braucht mehrere, z. B. für den Rechner am Arbeitsplatz, für den Zugang zu T-Online, für das Electronic Banking, für den Geldausgabeautomaten und so weiter.

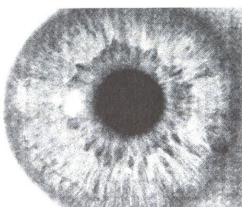
Letztendlich wird wegen mangelnder Praktikabilität aus dem Wissensmerkmal ein Besitzmerkmal. Die Frage lautet nicht mehr: »Wer kennt das Passwort?«, sondern: »Wer ist im Besitz des Zettels, auf dem das Passwort notiert ist?« Damit hat man sich den Hauptnachteil des Merkmals »Besitz« eingehandelt: die Pflicht zur sorgfältigen Aufbewahrung. Viele Leute sind hier überfordert. Deshalb wird an Universitäten und bei Technologie-lieferanten intensiv an biometrischen Verfahren zur Benutzerauthentisierung gearbeitet.

Biometrische Verfahren

Biometrische Verfahren zur Bestätigung der Identität einer Person sind vom Prinzip her besser als das Passwortverfahren, weil sie Merkmale verwenden, die personentypisch sind und deshalb die Person direkt überprüfen. In digitaler Form verwendet werden die Finger- und Handgeometrie, der Fingerabdruck, das Adernmuster der Netzhaut, das Muster der Iris, das Gesicht, die Stimme, die Lippendynamik beim Sprechen sowie die Unterschriftsdynamik, d. h. die Führung des Stiftes beim Unterschriften.

Ein Verfahren, das derzeit in einigen Feldversuchen in den USA und in Europa getestet wird, ist die Authentifizierung anhand der Iris. Dies ist der strahlenförmig gemusterte Kranz, der die Pupille des Auges umgibt **2**. Er ist bei jeder Person anders und bleibt, von kleinen Einlagerungen

2
Die Iris mit ihrem strahlenförmigen Muster ist von Mensch zu Mensch unterschiedlich und eignet sich deshalb sehr gut als biometrisches Merkmal.



abgesehen, im Wesentlichen unverändert. Deshalb eignet sich die Iris sehr gut als biometrisches Merkmal. Um das Merkmal zu erfassen, muss der Benutzer – z. B. am Geldausgabeautomaten – vor eine Kamera treten. Sie nimmt ein Schwarzweißbild der Iris auf. Farbaufnahmen sind weniger geeignet, da sich die Farbe ändern kann, wenn der Benutzer Brillengläser oder Kontaktlinsen trägt. Das Iris-Bild wird dann kreisförmig abgetastet. Die Hell-Dunkel-Änderungen ergeben ein digitales personentypisches Muster ähnlich wie der Barcode auf einem Warenkett. Bei der Überprüfung der Authentizität wird das augenblicklich erfasste Muster mit dem Muster verglichen, das zugehörig zur Person in einer Datenbank abgelegt ist. Die Bilderserie **3** veranschaulicht dieses Vorgehen. Einige biometrische Verfahren lassen sich gut kombinieren, so z. B. der eben beschriebene Iris-Scan mit der Gesichtserkennung und der Lippenbewegung beim Sprechen. Die Fehlerkennungs-raten sinken dadurch.

Jedes Verfahren, das eines oder mehrere biometrische Merkmale verwendet, besitzt spezifische Vorteile und Nachteile. Biometrische Merkmale sind dem Träger »auf den Leib geschrieben«. Er hat sie immer dabei und braucht sie nicht wegzusperren. Es sind aber auch Nachteile zu nennen.

Zum einen verlangen biometrische Verfahren günstige Umgebungs- und Einsatzbedingungen. So benötigt die Stimmerkennung eine ruhige Umgebung, der Fingerprint fettfreie Finger und Sensoren, die Gesichtserkennung ausreichende Lichtverhältnisse und so weiter. Auch ist die Möglichkeit nicht auszuschließen, dass ein biometrisches Merkmal vorgetäuscht wird, indem eine Merkmalskopie angeboten wird. Manche Personen sehen auch hygienische Probleme. So ist ein Fall bekannt, dass in einer amerikanischen Firma ein Biometrie-System eingebaut wurde, bei dem man die gespreizte Hand auf einen Sensor legen musste. Kurze Zeit später war eine auffallende Erhöhung der Zahl der Erkältungskrankheiten zu beobachten, so dass das System wieder deinstalliert wurde.

Ein prinzipieller Nachteil gegenüber dem Passwort besteht darin, dass die theoretisch erreichbare Sicherheit nicht exakt 100 Prozent beträgt. Dafür gibt es zwei Gründe. Erstens sind die Merkmale selbst nur mit einer hohen Wahrscheinlichkeit und nicht mit absoluter Sicherheit eindeutig nur einer einzigen Person zu Eigen. Selbst bei der DNA-Analyse ist die Wahrscheinlichkeit, dass es eine zweite Person mit demselben Merkmalsmuster gibt, von null verschieden, wenn auch äußerst klein. Zweitens werden die Merkmale nur grob gerastert erfasst und unter Informationsverlust im Rechner gespeichert (wie beim elektronischen Fingerprint), oder sie sind ihrem Wesen nach unscharf, das heißt, sie schwanken innerhalb einer gewissen Bandbreite (z. B. die Unterschrift oder die Lippenbewegung). Aus diesen beiden Gründen kann der Merkmalsvergleich bei der Authentisierung nicht zu dem Ergebnis »identisch« bzw. »nicht identisch« führen, sondern lediglich zu der Aussage »sehr ähnlich« bzw. »weniger ähnlich« zum in der Datenbank hinter dem Personennamen abgelegten Referenzmuster.

Deshalb sind zwei Arten von Fehlern unvermeidlich. Die erste ist die irrtümliche Zurückweisung (*False Rejection*). Das Merkmal des Benutzers wird als nicht hinreichend ähnlich zu dessen Referenzmuster erachtet und der Benutzer deshalb unberechtigtweise abgelehnt. Die zweite Fehlerart ist die irrtümliche Annahme (*False Acceptance*). Das Merkmal des unberechtigten Benutzers liegt innerhalb der Schwankungsbreite des Referenzmusters und wird deshalb für das Merkmal des Benutzers gehalten.

Aus diesem Grunde werden biometrische Verfahren in der Praxis gewöhnlich nur dann toleriert, wenn die Trennschärfe sehr hoch ist und damit beide Fehlerquellen sehr klein ausfallen. Es besteht eine Wechselwirkung zwischen den beiden Fehlerarten. Erhöht man das Sicherheitsniveau, sinkt zwar die *False-Acceptance-Rate*, dafür steigt aber die Häufigkeit der fälschlichen Ablehnung des berechtigten Benutzers und umgekehrt. Das Sicherheitsniveau ist der Schwellenwert, den das Ähnlichkeitsmaß überschreiten muss, damit die berechnete Person akzeptiert wird.

Über lange Testreihen und simulierte Angriffe lässt sich zu jedem beliebigen Sicherheitsniveau die zugehörige *False-Rejection-Rate* und die *False-Acceptance-Rate* ermitteln. Variiert man das Sicherheitsniveau über ein ganzes Intervall, erhält man die *False-Rejection* und *False-Acceptance* als Fehlerkurven.

Ein weiterer und für den breiten Praxiseinsatz gravierender Nachteil der genannten biometrischen Verfahren liegt darin, dass sie spezielle Hardware zur Erfassung des Merkmals benötigen, z. B. ein Mikrofon, eine Kamera oder einen Sensorchip. Für den privaten PC-Anwender wäre die Nachrüstung mit einem geeigneten Erfassungsgerät noch zumutbar. Echte Schwierigkeiten treten bei großen Unternehmen mit mehreren tausend PC-Arbeitsplätzen auf. Es wäre viel zu aufwändig, jeden einzelnen Rechner in die Hand zu nehmen und aufzurüsten. Außerdem empfiehlt es sich, mit diesem Schritt zu warten, bis sich ein Verfahren bzw. Erfassungsgerät als Standard etabliert hat und eine weit verbreitete Anwendung findet. Dann kann man gewiss sein, dass auch der »Gegenüber« beim Agieren in offenen Netzen wie dem Internet das gleiche System benutzt. Dies macht vieles einfacher.

Eine elegante Lösung des Nachrüstungsproblems bieten die Tastaturhersteller an. Sie integrieren in das Gehäuse einen Sensorchip, der den Fingerabdruck aufnimmt und digitalisiert. Vergrößert man die Sensorfläche, so dass man darauf unterschreiben kann, so lässt sich zusätzlich das biometrische Merkmal Unterschriftsdynamik verarbeiten. Man braucht dann nur noch die alte Tastatur gegen eine neue auszutauschen.

Dynamik des Tippverhaltens als personentypisches Merkmal

Die Ausgabe für die Nachrüstung kann man sich sparen, wenn es gelingt, die Art und Weise, wie eine Person einen Text auf der Tastatur eingibt, als personentypisch zu identifizieren. Dazu misst man die Übergangszeiten von einem Tasten-

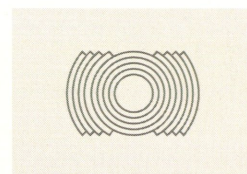
3 Benutzerauthentisierung anhand des Iris-Scan:



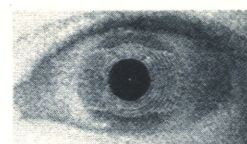
Der Benutzer steht einen knappen Meter vom System entfernt, das mit drei Standardvideokameras ausgerüstet ist. Zwei Weitwinkelkameras nehmen den Oberkörper auf. Der Computer errechnet daraus die Position der Augen.



Die dritte Kamera fokussiert sich auf ein Auge und macht eine Schwarzweißaufnahme.



Das System benutzt beim Abtasten des Iris-Bildes eine kreisförmige Schablone.



Die Schablone wird zentriert auf das Bild gelegt. Das strahlenförmige Muster der Iris erscheint darin als Folge von hellen und dunklen Streifen. Diese werden umgerechnet in einen Barcode mit einem Umfang von 512 Bytes.



Das System vergleicht diesen Barcode mit demjenigen Barcode, der in einer Datenbank als der Person zugehörig archiviert ist. Der gesamte Prozess dauert ungefähr zwei Sekunden.

4

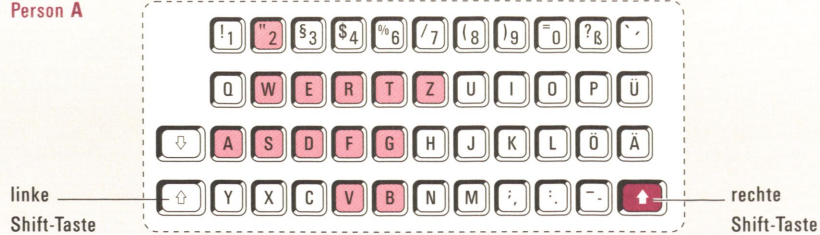
Welche Shift-Taste eine Person beim Schreiben eines Großbuchstabens gebraucht, kann sehr informativ sein. Wenn ein Buchstabe farbig dargestellt ist, dann wurde bei der Großschreibung die rechte Shift-Taste benutzt, ansonsten die linke. (Bei kleinen Zeichen liegt keine Beobachtung vor.)
oben:

Bei Person A erkennt man deutlich, dass sie nach dem Zehnfinger-Blindsystem schreibt.

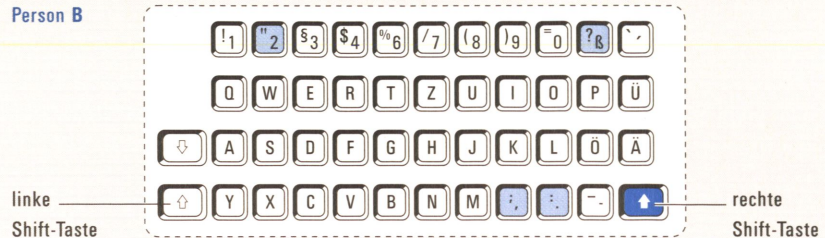
Person B ist eindeutig Rechtshänder und schreibt wie ein Autodidakt. Vermutlich legt sie die rechte Hand beim Schreiben auf. Dass das Anführungszeichen farbig dargestellt ist, deutet darauf hin, dass B in der Regel auch die linke Hand beim Schreiben auflegt.

Charakteristischer Gebrauch der Shift-Tasten

Person A



Person B



anschlag zum nächsten. Dies kann man mit jeder handelsüblichen Computertastatur machen. Aus den Messergebnissen lassen sich Kennzahlen wie z. B. Mittelwert und Streuung der Übergangsdauer von bestimmten Buchstabenfolgen berechnen.

Die Idee, die Schreibdynamik einer Person beim Eingeben eines Textes auf einer Computertastatur (Key Stroke Dynamics) als biometrisches Merkmal zu verwenden, wurde erstmals von Robert Spillane 1975 in einem IBM-Report veröffentlicht. Von der Forschung wurde das Thema erst in den neunziger Jahren intensiver bearbeitet. Die Forscher Rostar und Durkovic veröffentlichten 1994 Erfahrungswerte zur Trenngüte, die sie unter Verwendung von statistischen Methoden und alternativ dazu unter Verwendung eines Neuronalen Netzes gemacht hatten. Der Erkennungsfehler lag bei 20 bzw. bei 10 Prozent. Dies ist für einen praktischen Einsatz indiskutabel. Auch an der TU München durchgeführte Tests mit verbesserten

statistischen Methoden haben ergeben, dass die beiden Fehlerraten »False Rejection« und »False Acceptance« für eine praktische Anwendung zu groß sind.

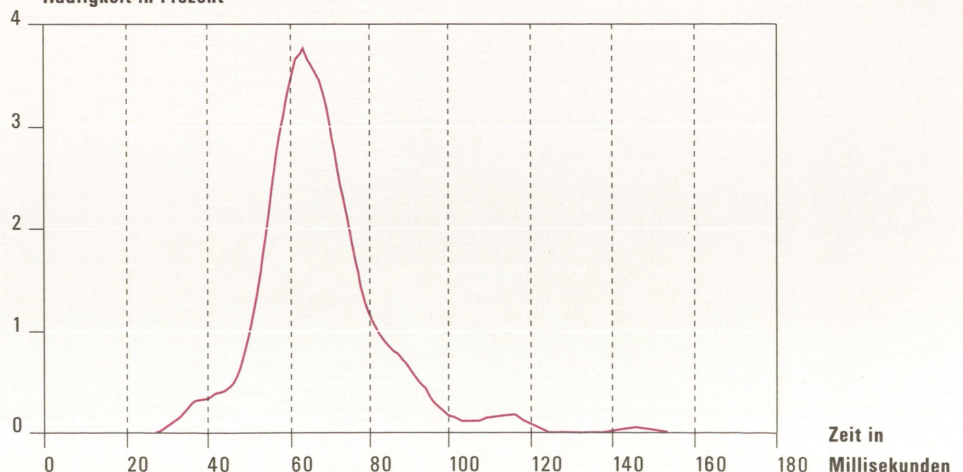
Für das unbefriedigende Abschneiden konnten zwei Hauptgründe identifiziert werden. Zum einen schwankt die Schreibdynamik einer Person stark. Sie hängt von der Tagesform und weiteren exogenen Einflüssen ab. Das Programm muss diese Schwankungen tolerieren, um die False-Rejection-Rate unterhalb eines akzeptablen Wertes zu halten. Dadurch verliert die Methode deutlich an Trennschärfe. Zum anderen besitzen handelsübliche Tastaturen zum Teil ein sehr grobes zeitliches Auflösungsvermögen. Deshalb sind die gemessenen Übergangszeiten so stark gerundet, dass wesentliche Information verloren geht. Das zeitliche Auflösungsvermögen liegt bei schnell schreibenden Personen in der Größenordnung der Standardabweichung der Verteilung der Über-

5

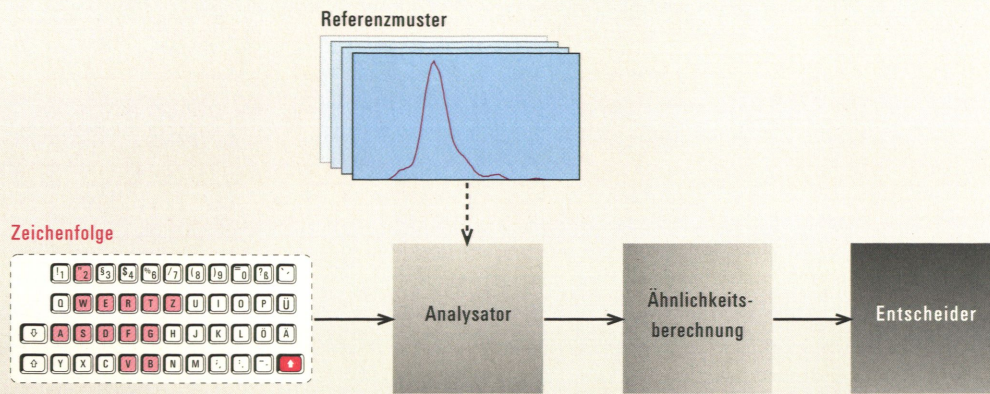
Häufigkeiten der verschiedenen Anschlagdauern der Taste e bei der Eingabe eines längeren Textes, der von einer Testperson eingegeben wurde. Neben dem Mittelwert und der Streuung sind vor allem die Nebenmaxima am Rande personentypisch und liefern deshalb wertvolle Information zur Authentisierung des Schreibers.

Charakteristische Anschlagdauer

Häufigkeit in Prozent



Ablauf der Identitätsprüfung



6

Die Tipp-Probe (Zeichenfolge) wird analysiert und gegen das Referenzmuster der Person getestet. Das Ergebnis sind 24 Kenngrößen. Sie werden zu einer einzigen Zahl zusammengeführt, die zwischen 0 und 1 liegt. Diese Zahl drückt die Ähnlichkeit des Tippverhaltens zum Tippverhalten des Referenzmusters aus. Der Wert 0 bedeutet total unähnlich und 1 extrem ähnlich. Überschreitet sie eine fest eingestellte Mindestgröße, das so genannte Sicherheitsniveau, dann bestätigt der >Entscheider< die Authentizität des Benutzers.

gangszeiten von einem Anschlag zum nächsten. Aus diesen Gründen blieb das Merkmal Schreibdynamik ohne praktische Relevanz.

Interessanterweise haben Versuche mit Testpersonen an der Universität Regensburg gezeigt, dass ein wichtiger Teil der personenidentifizierenden Information nicht in ihrem durchschnittlichen Tippverhalten liegt 4. Auch das von der Norm abweichende Verhalten, das in den Randbereichen der Häufigkeitskurven sichtbar wird, ist personentypisch 5. Diese Beobachtung lässt vermuten, dass es noch andere, bisher verborgene Merkmale des Tippverhaltens gibt.

Psychometrische Merkmale des Tippverhaltens

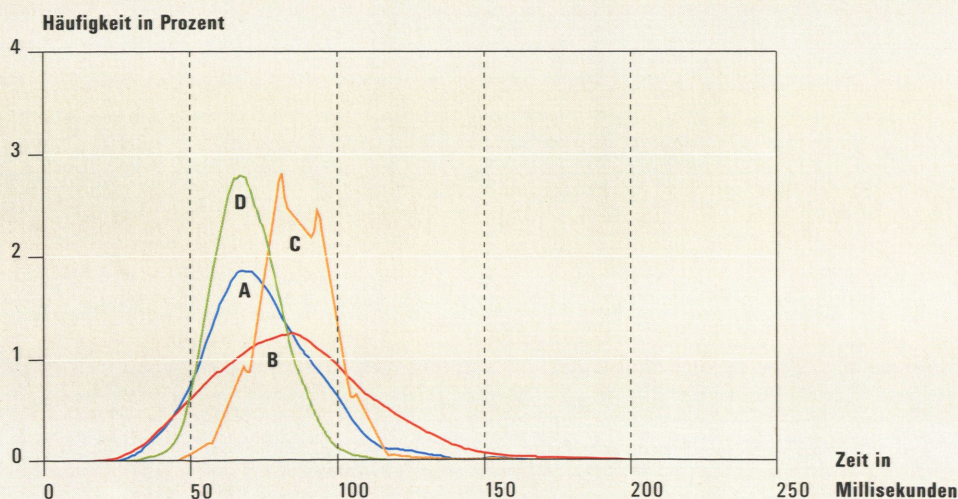
An der Universität Regensburg wurde die Idee geboren, zur Benutzeridentifizierung zeitunabhängige Merkmale des Tippverhaltens heranzuziehen wie z. B. das Merkmal >Linkshänder<, das man bei Personen, die nicht nach dem Zehnfiingersystem schreiben, indirekt über den Shift-Tasten-Gebrauch beobachten kann 4. Solche Merkmale sind von grundlegenderer Art als die Schreibdynamik, da sie der Person intensiver aufgeprägt sind – man

spricht deshalb von psychometrischen Merkmalen. Die Unabhängigkeit von der Schreibdynamik besitzt den Vorteil, dass das Problem der mangelnden Zeitauflösung der Tastatur nicht mehr bzw. nur sehr abgeschwächt auftritt.

Was sind psychometrische Merkmale ?

Eines der trennschärfsten psychometrischen Merkmale sind die so genannten Überholungen. Die Koordinationsfähigkeit der Fingerbewegungen drückt sich unter anderem dadurch aus, dass der zweite Tastenanschlag schon erfolgt, noch bevor die erste Taste losgelassen ist (Überholung). Derartige Ereignisse führen nur am Wortanfang bei Großbuchstaben zu Schreibfehlern, wenn die Shift-Taste zu lange gedrückt wird. Dann erscheint auch der zweite Buchstabe in großer Schrift. Ansonsten toleriert der Computer die Überholungen. Auf dem Bildschirm sind sie nicht erkennbar. Es hat sich gezeigt, dass dieses Verhalten sehr grundlegend ist. Überholungen kommen in der Regel bei jedem vor, der einigermaßen den Umgang mit einer Tastatur gewohnt ist. Bei welchen Buchstabenpaaren sie aber auftreten, ist von Person zu Person sehr unterschiedlich. Bereits in den dreißig bis fünfzig

Unterschiedliche Schreibdynamiken



7

Häufigkeiten der verschiedenen Anschlagdauern der Taste n von vier Testpersonen (A, B, C, D). Die einzelnen Kurven sind sehr verschieden. Dies zeigt, dass auch beim Anschlag eines so häufig gebrauchten Buchstabens personenindividuelle Information vorliegt.

häufigsten Buchstabenpaaren steckt ein sehr hohes Maß an personenidentifizierender Information.

Von ähnlicher Trenngüte ist der Gebrauch der Shift-Taste **4**. Sie gibt Auskunft darüber, auf welche Weise eine Person das Schreiben auf der Tastatur gelernt hat, ob sie Links- oder Rechtshänder ist und wie groß die Reichweite der Finger ist. Letztere ist z. B. davon abhängig, ob der Handballen der »faulen« Hand aufgelegt wird oder nicht. Auch dieses Merkmal ist äußerst konstant.

Ein weiteres psychometrisches Merkmal können Buchstabendreher sein. Manche Personen machen denselben Fehler immer wieder, das heißt, sie schreiben z. B. »wei« statt »wie« oder »Inforamtion« statt »Information«. In anderen Wörtern kommen diese Buchstabendreher bei derselben Person äußerst selten vor.

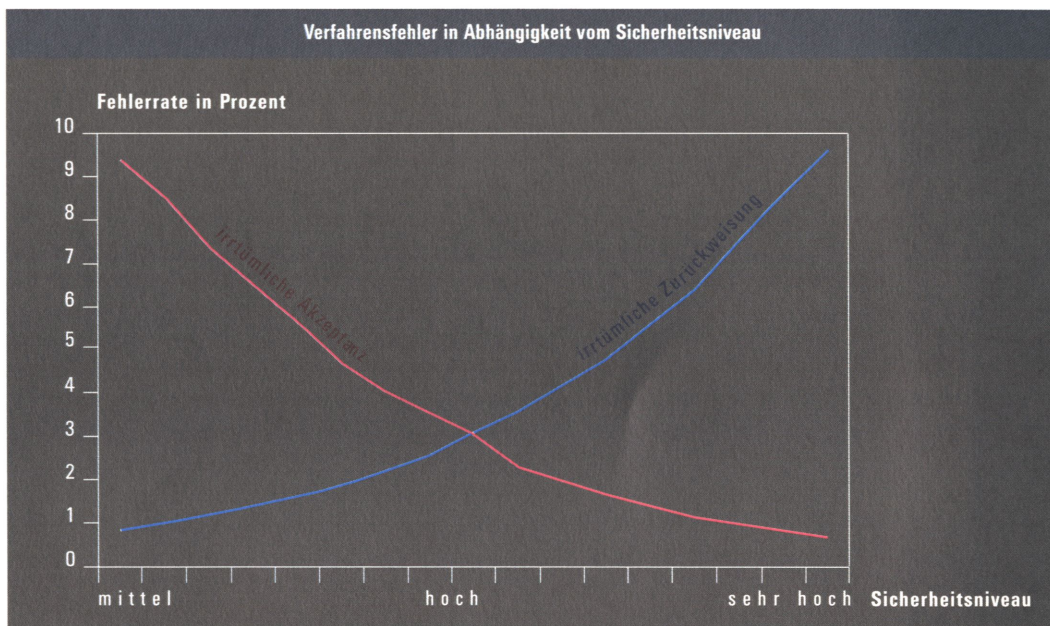
Wie exakt jemand schreibt, ist oftmals Ausdruck seiner Wesensart und kann deshalb auch als psychometrisches Merkmal genutzt werden. Der eine schreibt flüchtig und produziert dabei viele Tippfehler. Selbst wenn er fehlerfrei schreiben

möchte, gelingt ihm das nur für kurze Zeit. Dann fällt er wieder in die alte Gewohnheit zurück. Der andere schreibt sehr sorgfältig und deshalb fast fehlerfrei auch dann, wenn er in Eile ist.

In einem Kooperationsprojekt zusammen mit der TU München wurden in einem dreijährigen Forschungsprojekt Filter zur Extraktion informationstragender psychometrischer Merkmale aus einem eingegebenen Text, mit dem das System trainiert wurde, entwickelt. Die erhobenen Merkmalsausprägungen werden in ihrer Gesamtheit als so genannte Schreibmuster im Rechner abgelegt. Um im täglichen Gebrauch bei der Benutzerauthentisierung den Eingabetext möglichst kurz zu halten, wurden Verfahren zum Ähnlichkeitstest einer aktuellen kurzen Texteingabe gegen das Schreibmuster einer Person geschaffen **6**. Das Computerprogramm, welches die Eingabedaten misst, analysiert und weiterverarbeitet, wurde in Form einer Programmbibliothek implementiert, so dass es ohne größeren Aufwand in die einzelnen Applikationen integriert werden kann.

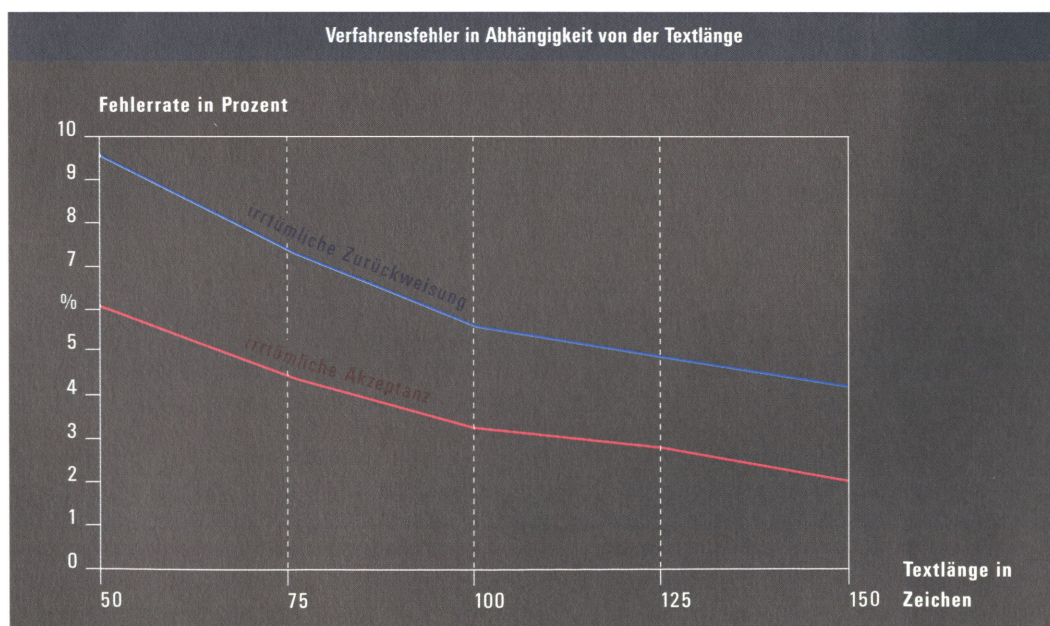
8

Die *False-Acceptance-Rate* und die *False-Rejection-Rate* schwanken in gegenseitiger Kopplung mit variierender Sicherheitsschwelle. Liegt diese niedrig, wird man als Berechtigter selten abgelehnt, dafür steigt aber die Gefahr des Nichterkennens eines Angreifers. Bei hohem Sicherheitsniveau ist es genau umgekehrt. Die beiden Fehlerraten beziehen sich auf einen Eingabetext von 150 Zeichen.



9

Das biometrische Merkmal Tippverhalten funktioniert umso besser, je mehr Text man eingibt. Die *False-Acceptance-Rate* und die *False-Rejection-Rate* fallen monoton mit wachsender Textlänge. Das Sicherheitsniveau ist in diesem Bild relativ hoch eingestellt.



Die psychometrischen Merkmale bringen die notwendige Qualitätsverbesserung

Es wurden einige Feldtests durchgeführt, darunter auch einer in der Zentralen Verwaltung der Universität Regensburg. Einige Verwaltungsangestellte gaben jedes Mal, wenn sie sich mit ihrem Rechner am Netzwerk der Universität anmeldeten, eine kurze Probe ihres Tippverhaltens ab. Dazu mussten sie einen ca. zwei Zeilen langen Text tippen, den ihnen der Computer in einer zufälligen Ziehung aus den »Lausbubengeschichten« von Ludwig Thoma am Bildschirm vorgab. Jede Versuchsperson hatte ein eigenes charakteristisches Tippverhalten. In Abbildung 7 sind zu jeder Person die Häufigkeitsdiagramme der Anschlagsdauer der Taste **n** abgebildet.

Die Auswertung der Daten zeigte, dass die *False-Acceptance-Rate* bei einem fest eingestellten Sicherheitsniveau unter ein Prozent gedrückt werden kann 8. Damit gehört diese Methode nach der Einteilung des Deutschen TeleTrusT e.V. der Klasse der starken biometrischen Verfahren an. Bei unserer Studie wurden über 40 000 Angriffsversuche durchgeführt. Die *False-Rejection-Rate* lag bei ca. 7,5 Prozent. Hierbei ist zu beachten, dass es sich bei der *False Rejection* um die Ablehnung beim ersten Versuch handelt. Man kann einen Einlog-Vorgang aber wiederholen. Der jeweilige Text wird dann vom Analyseprogramm dem bereits eingegebenen Text hinzugefügt. Dadurch sinkt die *False-Rejection-Rate* nochmals deutlich, ohne dass dadurch die *False-Acceptance-Rate* steigt. Hier kommt eine sehr nützliche Eigenschaft des Merkmals Tippverhalten zum Tragen. Je länger der eingegebene Text ist, desto mehr personenidentifizierende Information enthält er und desto trennschärfer wird das Prüfverfahren 9. Diese Eigenschaft unterscheidet es von anderen biometrischen Verfahren; bei der Gesichtserkennung ist es z. B. unerheblich, wie oft man das Gesicht vor die Kamera hält.

Durch die Einbeziehung psychometrischer Merkmale zusätzlich zu den Merkmalen der Schreibdynamik ist für die Authentisierung des Computerbenutzers anhand des Tippverhaltens ein entscheidender Durchbruch in Richtung Praxistauglichkeit erzielt worden. Die Erkennungsrate liegt in einem Bereich, der vielen praktischen Ansprüchen genügt.

Weitere Forschung und Entwicklung

Die weitere Forschung bezüglich Tippverhaltens-Biometrien konzentriert sich auf zwei Schwerpunkte. Der erste ist die Verbesserung der bestehenden Methoden. Dies betrifft zum einen die statistischen Testverfahren bei der Erkennungsprüfung und zum anderen das Design leistungsfähiger Neuronaler Netze. Mit ihrer Hilfe lassen sich die Gewichte, mit denen die Einzelmerkmale eines Schreibmusters beim Ähnlichkeitstest zur Geltung kommen, personenspezifisch justieren. So ist z. B. bei Person **A** der Übergang von **n** nach **z** sehr personenindividuell, bei Person **B** sind die Überholungen sehr ausgeprägt. Berücksichtigt man diese individuellen Eigenheiten durch entsprechende Gewichtung, lässt sich die Trennschärfe des Prüfverfahrens

nochmals steigern. Das zweite Ziel ist die Steigerung des Komforts. Manche Benutzer empfinden es als lästig, wenn sie einen Text von ca. 120 Zeichen eintippen müssen. Für einen schnellen Zugriff zu relativ sicherheits-unkritischen Daten oder bei Geldausgabeautomaten ist dies sicherlich unzumutbar. Auch ist zu bedenken, dass viele Personen mit einer Computertastatur nicht umgehen können.

Für oben genannte Zwecke wird im Augenblick ein neuartiger Ansatz verfolgt. Die Idee besteht darin, die Überlagerung von bewusstem Verhalten und psychometrischen Eigenheiten zu nutzen. Die Aufgabe besteht darin, einen Text einzugeben, in dem ein vereinbarter Teil enthalten ist. Dies ist die Wissenskomponente. Sie kann z. B. darin bestehen, dass man grundsätzlich beim vorletzten Buchstaben eine Überholung produziert und den letzten Buchstaben deutlich länger gedrückt hält als dies beim normalen Schreibfluss der Fall ist. Die psychometrischen Eigenheiten werden aus dem gesamten Eingabetext herausgefiltert. Da jetzt zusätzlich eine Wissenskomponente vorliegt, kann man sich bei der Analyse des psychometrischen Merkmals mit kürzeren Texten zufrieden geben. Die ersten Testergebnisse sind Erfolg versprechend.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die biometrischen Verfahren gerade kurz davor stehen, sich neben dem Passwort als weitere Sicherheitsmaßnahme zu etablieren. Eine vollständige Ersetzung des Passwortes ist das langfristige Ziel. Im Augenblick stehen dem noch Hürden im Weg. Die eine Hürde ist die notwendige Standardisierung, eine weitere die im Augenblick noch eingeschränkte Leistungsfähigkeit der Prozessorchips auf der Chipkarte. Gerade die Chipkarte würde ein ideales Speichermedium für das personenindividuelle biometrische Muster und die notwendigen Kryptofunktionen bieten. Da sie außerdem im privaten Besitz des Benutzers liegt, ist sie aus Akzeptanzgründen ein sehr gut geeignetes Medium für den elektronischen Schlüssel und öffnet damit den Weg in eine Welt der vertraulichen und rechtssicheren Kommunikation in offenen Netzen.

Prof. Dr. rer. nat.

Dieter Bartmann

geb. 1946 in Dorfen.

Studium der Mathematik und Informatik an der TU München, 1975 Promotion, 1984 Habilitation in Operations Research.

Mitglied im Verwaltungsrat der Deutschen Gesellschaft für Operations Research. Fiebiger-Professur für Wirtschaftsinformatik 1986 in Erlangen-Nürnberg. Lehrstuhlinhaber in Bamberg, Mannheim, St. Gallen und seit 1993 in Regensburg. Geschäftsführender Gesellschafter des Instituts für Bankinformatik und Bankstrategie an der Universität Regensburg gemeinnützige GmbH. Wiss. Beirat der MLP Corporate University, Heidelberg.

Forschungsgebiete:

Finanzdienstleistung in der Informationsgesellschaft, Sicherheit in Informationssystemen.

Hilft Angst beim Lernen?

Leistungsemotionen in Schule und Studium

Lehr-Lern-Forschung

Unterricht, Lernen und Prüfungen können intensive Emotionen auslösen – Freude am Lernen, Hoffnung auf Erfolg, Stolz auf erbrachte Leistungen, aber auch negative Gefühle wie Angst, Ärger und Langeweile. Die Lehr-Lern-Forschung hat sich um solche Lern- und Leistungsemotionen bisher wenig gekümmert. Zu vermuten ist, dass Emotionen für Lernprozesse, individuelle Leistungen und die kollektive Produktivität unserer Gesellschaft von entscheidender Bedeutung sind.

»Kurt stand fahl und mit wildpochendem Herzen da. Matura! Matura!! Da ist sie nun, wirklich und wahrhaftig! Tausenderlei schoß ihm durch den Kopf. Formeln, die Eltern, was wird jetzt geschehen, Ruprecht, Blank, Paris, wieder Formeln, wie sehe ich aus, der Vater ... Ruhe, Ruhe ... Aber die jagende Angst vor dem Kommenden verließ ihn nicht. Er wollte fortlaufen, weit fort, nichts wissen von alldem, es war ihm egal, nur weg, rasch – ...«.

Mit diesen Worten schildert Friedrich Torberg in seinem Roman »Der Schüler Gerber« den Beginn einer Abiturprüfung. Auch in anderen Werken der Weltliteratur des 20. Jahrhunderts lässt sich nachlesen, welche intensive Emotionen durch Leistungssituationen erzeugt werden können. Literarischen Zeugnissen und dem Erleben der eigenen Schul-, Studien- und Ausbildungszeit können wir entnehmen, dass Lernen, Unterricht und das persönliche Triumphieren oder Scheitern in Prüfungen eine Fülle unterschiedlicher Gefühle provozieren können, die ihrerseits Einfluss auf Anstrengungsbereitschaft und Leistung nehmen – negative Gefühle wie Angst, Ärger, Langeweile oder resignative Hoffnungslosigkeit; aber auch Freude beim Lösen einer Aufgabe, Hoffnung auf Prüfungserfolge, Bewunderung eines erfolgreichen Studienkollegen, Stolz nach eigenem guten Abschneiden usw.

Öffentliche Statistiken wie die Jahresberichte des Statistischen Bundesamtes liefern weitere Indizien für die mutmaßliche Bedeutung von Emotionen im Bildungswesen. So stellt Selbstmord heute nach Unfällen die zweithäufigste Todesursache bei Jugendlichen dar, und epidemiologisch-psychiatrische Einschätzungen lassen vermuten, dass ca. ein Drittel dieser Todesfälle auf Schul- und Leistungsprobleme und die mit ihnen verknüpfte emotionale Verzweiflung zurückzuführen sind.

Die psychologische und pädagogische Lehr-Lern-Forschung aber hat sich um Lern- und Leistungsemotionen bisher wenig gekümmert. Es gibt eine größere Ausnahme: Zu Prüfungsangst wurden seit den fünfziger Jahren mehr als 1000 Studien durchgeführt, die in konsistenter Weise belegen, wie sich leistungsbezogene Ängste über die Schulzeit hinweg entwickeln und Einfluss auf die Bewältigung von Leistungsanforderungen nehmen. Wenig aber ist bisher zu Leistungsemotionen jenseits von Angst bekannt. Dies gilt auch für die Funktionen, die solchen Emotionen für Motivationsbildung, Lernanstrengung und resultierende Leistungen in Schule, Universität und Wirtschaft zukommen. Zu vermuten ist beispielsweise, dass das vergleichsweise mäßige Abschneiden deutscher Schüler in internationalen Schülerleistungsstudien wie der *Third International Mathematics and Science Study* (TIMSS) nicht nur auf die häufig diskutierte didaktischen Defizite des deutschen Schulunterrichts, sondern auch auf affektiv-motivationale Probleme vieler Schüler und aus diesen Problemen folgende Lerndefizite zurückzuführen ist.

Wir haben deshalb in unserem Regensburger Forschungsteam mit Versuchen begonnen, Lern- und Leistungsemotionen und ihre Bedeutung einer wissenschaftlichen Erkundung zugänglich zu machen. Auf erste Resultate dieses Forschungsprogramms soll hier eingegangen werden. Die folgenden Fragen stehen im Vordergrund:

- Welche Lern- und Leistungsemotionen werden von Schülern und Studierenden erlebt?
- Wie lassen sich solche Emotionen messen?
- Welche Bedeutung haben sie für Lernprozesse und resultierende Lernleistungen?

Neuen Antworten soll dabei auch die im Titel gestellte Frage zugeführt werden, ob Angst dem Lernen abträglich ist oder etwa auch förderlich sein kann. In einem kurzen Ausblick wird skizziert, welche Faktoren der Entwicklung von Lern- und Leistungsemotionen zugrunde liegen, an denen eine leistungsunterstützende Förderung ansetzen könnte.

Welche Emotionen werden in Schule und Studium erlebt?

Der Frage nach Formen des Emotionserlebens sind wir in einer Reihe von Interviewuntersuchungen an Schülern und Studierenden nachgegangen. Das Vorgehen sah typischerweise so aus, dass wir unsere Interviewpartner zunächst gebeten haben, sich gedanklich noch einmal in die jeweils gerade

Emotionen in Lern- und Leistungssituationen

| | | positiv | negativ |
|---------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| selbstbezogen | tätigkeitsbezogen | Lernfreude | Langeweile |
| | | Hoffnung | Angst |
| | prospektiv | Vorfreude | Hoffnungslosigkeit |
| | | Ergebnisfreude | Traurigkeit |
| | retrospektiv | Erleichterung | Enttäuschung |
| | | Stolz | Scham/Schuld |
| sozial | | Dankbarkeit | Ärger |
| | | Empathie | Neid |
| | | Bewunderung | Verachtung |
| | | Sympathie/Liebe | Antipathie/Hass |

1 Emotionen in Lern- und Leistungssituationen: Klassifikation und Beispiele.

hinter ihnen liegende Unterrichtsstunde, Lehrveranstaltung, Lernsituation oder Prüfung zurückzusetzen und diese Situation detailliert zu schildern. Anschließend fragten wir sie, welche Gefühle sie in der betreffenden Situation erlebt hatten, und forderten sie auf, diese Gefühle mit ihren eigenen Worten ebenfalls näher zu beschreiben.

Ein erstes Resultat dieser Untersuchungen ist kaum verblüffend, denn es entspricht unser aller Alltagserfahrung: Unsere Interviewpartner haben von einer großen Vielfalt unterschiedlicher, häufig sehr intensiv erlebter Emotionen in Schule und Studium berichtet. Zu schließen ist, dass Lern- und Leistungssituationen so gut wie alle menschlichen Emotionen auslösen können (mit wenigen Ausnahmen wie z. B. der in solchen Situationen weniger bedeutsamen Emotion Ekel). Dies ist emotions-theoretisch gut einordbar: Lern- und Leistungssituationen sind in unserem Bildungswesen häufig hoch bedeutsam für den Einzelnen und erfüllen damit ein zentrales Kriterium der Emotionsentstehung. Ferner gehen sie in der Regel nicht nur mit eigener Tätigkeit einher, die mehr oder weniger erfolgreich sein kann, sondern finden darüber hinaus auch in einem sozialen Kontext statt, so dass die ganze Bandbreite tätigkeitsbezogener, selbstbezogener und sozialer Emotionen des Menschen eine Rolle spielen kann **1**.

Ein zweites zentrales Resultat ist allerdings, dass einzelne Emotionen mit offenbar sehr unterschiedlicher Häufigkeit und Intensität erlebt werden. Über mehrere Untersuchungen hinweg haben wir immer wieder gefunden, dass Angst auch heute noch die von Schülern und Studierenden am häufigsten berichtete Emotion ist. Dies gilt nicht nur für schulische und universitäre Prüfungen, sondern auch für den Schulunterricht und für Situationen des Lernens; nur universitäre Lehrveranstaltungen scheinen etwas weniger angsteinflößend zu wirken. Typisch ist der folgende Ausschnitt aus dem Bericht eines Oberstufenschülers zum Erleben einer Schulaufgabe (Klassenarbeit):

»Angst wieder und auch schon aufs Jahreszeugnis ... irgendwie Angst, ich hab' allweil Angst, dass mir die Zeit ausgeht, da träum' ich auch öfters davon ...«

(Interviews Oberstufenschüler, Vp 40)

Neben Angst waren auch Ärger und Langeweile häufig berichtete negative Emotionen:

»... ja, man würde am liebsten eine rauchen gehen, man würde lieber aufs Klo gehen oder irgendwelche Fluchthandlungen machen, außer sich in diesen blöden Unterricht reinzuhocken und dadurch, dass man das nicht machen kann, ähm, resultiert die Langeweile ...«

(Interviews Oberstufenschüler, Vp 36)

Insgesamt aber, und dieses Resultat relativiert unsere Befunde zum Angsterleben, wurden positive Emotionen wie z. B. Lern- und Prüfungsfreude, Leistungshoffnung und Stolz von Schülern wie von Studierenden etwa gleich häufig berichtet wie negative Emotionen. Typische Beispiele sind die folgenden beiden Interviewausschnitte:

»Ja, ich habe mich drauf gefreut ... Ja, ich lerne deswegen gerne, weil ich mir denke: Danach kann ich dann wieder Vokabeln, die kann ich dann wieder neu anwenden«

(Interviews Oberstufenschüler, Vp 26)

»Bei der Frage hab' ich mir gedacht, super, das weißt Du ... also ich hab' mich gefreut ...«

(Interviews Staatsexamen Lehramt, Vp 8)

Wie können Leistungsemotionen gemessen werden?

Emotionen sind flüchtige Phänomene, die der Introspektion (eingeschränkt) zugänglich und insofern (begrenzt) berichtbar sind. Einer präziseren Erfassung aber scheinen sie sich auf den ersten Blick zu entziehen. Tatsächlich zählt die Messung von Emotionen zu den methodisch schwierigsten Gebieten der Psychologie. Dennoch ist es der Forschung gelungen, sowohl systematische, diagnostisch zufriedenstellende Formen von Selbstberichten zu Emotionen zu entwickeln wie auch Reaktionsebenen von Emotionen jenseits des Selbsterlebens zugänglich zu machen. Drei Methoden der Messung von Leistungsemotionen sind die folgenden.

Selbstberichtskalen zu Leistungsemotionen

Wir haben die methodischen Möglichkeiten der Fragebogendiagnostik genutzt, um Instrumente

zur Messung ausgewählter Lern- und Leistungs-emotionen zu entwickeln. Ein Beispiel sind die *Regensburger Skalen zu Studienemotionen*, die jeweils acht unterschiedliche Emotionen erfassen, die Studierende in Lernsituationen, Veranstaltungen und Prüfungen erleben können **2**. Jede dieser Skalen besteht aus einer Reihe von emotions-bezogenen Aussagen, deren Zutreffen zu beant-

worten ist. Um methodische Probleme (z. B. stim-mungserzeugende Effekte der Bearbeitung) zu reduzieren, werden die Aussagen zu verschiedenen Emotionen jeweils nicht als geschlossene Blöcke, sondern in gemischter Form dargeboten **3**. Unter-schiedliche Testanweisungen erlauben es, sowohl situativ zu einem bestimmten Zeitpunkt erlebte Leistungsemotionen (»state-Emotionen«) wie auch

2
Regensburger Skalen
zu Lern-, Veranstaltungs- und
Prüfungsemotionen im Studium:
Übersicht (in Klammern jeweils
Zahl der Fragen pro Skala).

| Regensburger Skalen zu Studienemotionen | | | | | | |
|---|--------------------|------|-------------------------|------|--------------------|------|
| | Lernemotionen | | Veranstaltungsemotionen | | Prüfungsemotionen | |
| positiv | Freude | (14) | Freude | (15) | Freude | (23) |
| | Hoffnung | (9) | Hoffnung | (9) | Hoffnung | (16) |
| | Stolz | (9) | Stolz | (9) | Stolz | (16) |
| | — | | — | | Erleichterung | (14) |
| negativ | Ärger | (14) | Ärger | (14) | Ärger | (17) |
| | Angst | (18) | Angst | (11) | Angst | (31) |
| | Hoffnungslosigkeit | (13) | Hoffnungslosigkeit | (10) | Hoffnungslosigkeit | (21) |
| | Langeweile | (17) | Langeweile | (15) | — | |
| | Scham | (14) | Scham | (15) | Scham | (19) |
| | | | | | | |

3
Regensburger Skalen
zu Studienemotionen:
Auszug aus dem Fragebogen.

I Gefühle beim Lernen

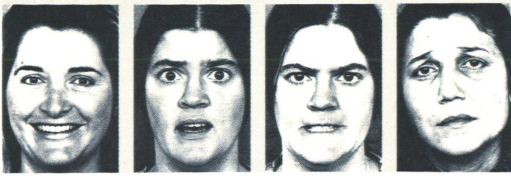
Beim **Lernen** können verschiedene Gefühle auftreten. Mit ‘Lernen’ sind dabei alle Arten von Lernsituationen gemeint, die in Ihrem Studium vorkommen. Bevor Sie mit dem Ausfüllen des Fragebogens beginnen, stellen Sie sich bitte kurz ein paar typische Situationen vor, in denen Sie für das Studium gelernt haben.

L1 Vor dem Lernen

Die folgenden Fragen beziehen sich auf Ihr Erleben **vor** dem Lernen. Bitte geben Sie an, wie es Ihnen typischerweise vor dem Lernen geht.

| | stimmt gar nicht | stimmt kaum nicht | stimmt teil- weise | stimmt über- wiegend | stimmt genau |
|---|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| 1. Ich freue mich auf das Lernen. | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 2. Aus Nervosität möchte ich gar nicht erst mit dem Lernen anfangen. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 3. Ich sehe dem Lernen optimistisch entgegen. | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 4. Daß ich soviel lernen muß, macht mich wütend. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 5. Weil ich mich langweile, habe ich keine Lust zum Lernen. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 6. Ich bin zuversichtlich, daß ich mit dem Lernstoff gut zurechtkommen werde. | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 7. Weil ich so wütend bin über den Umfang des Stoffs, habe ich keine Lust, mit dem Lernen zu beginnen. | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 8. Ich fühle mich hoffnungslos, wenn ich an das Lernen denke. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 9. Das langweilige Arbeiten für das Studium würde ich am liebsten auf morgen verschieben. | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 10. Ich bin optimistisch, daß ich mit dem Lernen gut vorankomme. | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 11. Ich werde wütend, wenn ich ans Lernen denke. | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Mangel an Zuversicht läßt mich schon vor dem Lernen müde | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Mimischer Emotionsausdruck



individualtypische leistungsemotionale Reaktionsbereitschaften (»trait-Emotionen«) zu erfassen. Die internationale Version dieses Instruments (unter dem Titel *Academic Emotions Questionnaire*) wird mittlerweile auch von anderen europäischen und nordamerikanischen Arbeitsgruppen eingesetzt, so dass sich interkulturelle Vergleichsmöglichkeiten ergeben werden.

Ausdrucksbeobachtung

Eine zweite Möglichkeit der Emotionserfassung liegt in der Beobachtung des mimischen, gestischen und posturalen Ausdrucksverhaltens, das mit einer Emotion einhergehen kann ⁴. Die emotions- und kommunikationspsychologische Bedeutung expressiven Emotionsverhaltens war bereits von Darwin erkannt worden. Ein Beispiel für ein Messinstrument ist das von den Amerikanern Paul Ekman und Wallace Friesen entwickelte *Facial Action Coding System*. Dieses System beruht auf der Tatsache, dass basale Emotionen (»Primäreemotionen«) wie Freude, Ärger, Angst, Traurigkeit und Ekel jeweils mit einem spezifischen Gesichtsausdruck einhergehen, der universell über alle Kulturen dieser Erde hinweg beobachtbar ist und durch eine jeweils spezifische Kombination von Aktivitäten der mehr als vierzig Gesichtsmuskeln des Menschen gekennzeichnet ist. Nach Videoaufzeichnung des Ausdrucksverhaltens werden die Aktivitäten dieser Muskelgruppen kodiert, um aus ihrer Kombination die zugrunde liegende Emotion erschließen zu können. In unserer Arbeitsgruppe wurde dieses auf den mimischen Ausdruck beschränkte System erweitert, um auch Gestik und Körperhaltung für eine Diagnostik von Leistungsemotionen zu erschließen. Allerdings stoßen Möglichkeiten der Ausdrucksbeobachtung rasch dann an ihre Grenzen, wenn sich sozial tabuierte Emotionen nicht in offener Weise im Ausdruck spiegeln, da das zugeordnete emotionale Ausdrucksverhalten gezielt unterdrückt oder verändert wird. In sozialen Leistungssituationen (wie z. B. Prüfungen) ist dies vom mittleren Kindesalter an regelmäßig der Fall.

Physiologische Verfahren

Aus physiologischer Perspektive beruhen Emotionen auf vernetzten Aktivitäten unterschiedlicher Regionen des zentralen Nervensystems. Dabei kommt bestimmten Bereichen des limbischen Systems (z. B. Amygdala) eine zentrale Rolle zu. Darüber hinaus führen viele Emotionen zu Veränderungen peripherer physiologischer Prozesse, die der Vorbereitung und Unterstützung emotionsinduzierten Verhaltens dienen (z. B. physiologische Aktivierung von Herzfrequenz, Atemfrequenz, Muskeltonus etc., die mit Furcht einhergeht und Fluchtverhalten erleichtert). Solche physiologischen



Prozesse lassen sich ebenfalls für die Emotionserfassung nutzen.

Gut zugänglich sind peripher-physiologische Veränderungen, die anhand von Methoden wie EKG (Elektrokardiogramm), EMG (Elektromyogramm), Analysen von Hautleitwerten etc. zum Erschließen emotionaler Vorgänge genutzt werden können. In unserem Labor werden darüber hinaus EEG-Methoden genutzt, um Einflüsse von Emotionen auf kognitive, kortikal ableitbare Prozesse zu untersuchen (siehe Seite 60). Zu diesem Zweck wird den Versuchspersonen eine Kappe aufgesetzt, die eine Ableitung der Veränderungen von hirnelektrischen Potenzialen an bis zu 64 Positionen des Kortex erlaubt ⁵. Aus solchen Veränderungen kann auf zentrale Prozesse der gedanklichen Verarbeitung von Sinnesreizen (z. B. reizbezogene Aufmerksamkeit) und der Vorbereitung von Handlungen geschlossen werden.

Wie wirken sich Emotionen auf Lernprozesse und Leistungen aus?

Wer unter Prüfungsangst leidet und sich vor Fehlschlägen fürchtet, erfährt in Schule und Studium mit höherer Wahrscheinlichkeit Misserfolge als sein erfolgszuversichtlicher Gegenpart. Diese statistische Beziehung von Angst und Schul- bzw. Studienleistungen (negative Korrelation) ist seit den fünfziger Jahren in einer Fülle von Untersuchungen in unterschiedlichen Kulturen und an unterschiedlichen Schüler- und Studentenpopulationen immer wieder bestätigt worden. Ursächlich liegen dieser Beziehung vor allem zwei Mechanismen zugrunde. Zum einen kann Angst Leistungen bei komplexen und schwierigen Lern- und Prüfungsaufgaben reduzieren. Zum anderen können eingetretene Misserfolge ihrerseits zur Entstehung und Intensivierung von Angst beitragen, so dass – im ungünstigen Fall – Teufelskreise (positive Rückkopplungen) von Leistungsängsten und Leistungsversagen entstehen, die in Schulversagen, Studienabbruch und misslungenen Berufsbiografien enden können.

Zu den Wirkungen anderer Lern- und Leistungsemotionen hingegen war bisher wenig bekannt. Anzunehmen ist, dass Emotionen in mehrfacher Weise für Lernprozesse und Leistungen von Bedeutung sind. Emotionen dürften darüber mitentscheiden, ob für Lernvorgänge hinreichende kognitive Ressourcen (insbesondere Aufmerksamkeitskapazität) zur Verfügung gestellt werden können. Daneben ist zu vermuten, dass Emotionen

⁴ Mimischer Ausdruck von vier Primäreemotionen: Freude, Angst, Ärger, Traurigkeit.

⁵ Emotionspsychologisches Labor: Ableitung des EEG beim Betrachten eines Bildes.

für die Entstehung von Interesse und Lernmotivation zentral sind. So dürfte sich z. B. ohne Freude an der Beschäftigung mit einem Lerngegenstand kaum ein genuines Interesse an diesem Gegenstand bilden, das zur Auseinandersetzung motiviert. Schließlich können wir vermuten, dass Lern- und Leistungsemotionen auch die Lernstrategien beeinflussen, die darüber entscheiden, in welcher Art und Weise jeweils gelernt wird. Verfügbarkeit von kognitiven Ressourcen, Motivation und Strategieinsatz sind ihrerseits als Bedingungen des Zustandekommens von Lern- und Prüfungsleistungen anzusehen. Folglich ist davon auszugehen, dass Emotionen auf dem Wege über solche Mechanismen Einfluss auf Leistungen nehmen.

In einer Reihe von Labor- und Felduntersuchungen haben wir Wirkungen von Lern- und Leistungsemotionen auf alle drei Arten von Mechanismen und auf resultierende Schul- und Studienleistungen untersucht. Gleichzeitig haben diese Untersuchungen auch weitere Aufschlüsse zu der im Titel angesprochenen Frage geliefert, wie Angst sich auf Lernvorgänge auswirkt.

Emotionen und kognitive Ressourcen

Einflüsse von Emotionen auf die Verfügbarkeit kognitiver Ressourcen haben wir im Labor anhand eines Doppeltätigkeitsparadigmas untersucht (verantwortlich innerhalb des Teams: Jörg Meinhardt). Dabei handelt es sich um ein Standardvorgehen der experimentellen Psychologie, mit dessen Hilfe Einflüsse einer psychischen Tätigkeit auf eine zweite untersucht werden können, also z. B. Einflüsse des Nachsprechens von Zahlen auf die Aufmerksamkeit beim Lesen eines Textes. In unserem Fall handelte es sich bei der ersten »Tätigkeit« um das Erleben einer Emotion, das mit Hilfe emotions-induzierender Reize stimuliert wurde, und bei der zweiten Tätigkeit um eine einfache, aber dennoch Aufmerksamkeit erfordern Zähltaufgabe, die im Registrieren und Zählen von zufällig dargebotenen Tönen unterschiedlicher Frequenz bestand (eine so genannte *oddball*-Aufgabe der Reizunterscheidung). Geprüft wurde die Frage, inwieweit positive und negative emotionale Zustände im Vergleich mit einem neutralen Zustand zu einer Reduktion aufgabenbezogener Aufmerksamkeit führen. Für Angst und depressive Zustände war dies bereits in einigen älteren Studien vermutet worden. Ein direkter Nachweis aber fehlte bisher, und die Wirkung positiver Emotionen blieb offen.

Zur Erzeugung positiver, negativer und neutraler Emotionszustände haben wir zwei klassische Methoden der Emotionsforschung verwendet. Die eine Methode besteht in der Darbietung von Bildern aus Peter Langs *International Affective Picture System* 6, für die bekannt ist, dass sie bei Menschen unseres Kulturkreises typischerweise zu bestimmten emotionalen Reaktionen führen. Bei der zweiten Methode werden die Versuchspersonen aufgefordert, in systematischer Weise Lebensereignisse zu erinnern, die sie emotional positiv oder negativ aufgewühlt haben oder aber emotional gleichgültig ließen (bio-

grafische Erinnerungsmethode). Zur Messung der auf die Zähltaufgabe bezogenen Aufmerksamkeit haben wir anhand von EEG-Ableitungen die ereigniskorrelierten Änderungen von hirnelektrischen Potenzialen verfolgt, die durch die zu zählenden Töne jeweils ausgelöst wurden. Für solche Potenziale ist bekannt, dass im Bereich von ca. 300 bis 700 Millisekunden nach Einsetzen eines Reizes ein Gipfel (»peak 300«) zu verzeichnen ist, dessen relative Höhe auf das Ausmaß der Aufmerksamkeit schließen lässt, die diesem Reiz zugewendet wurde.

Die beiden Methoden der Emotionserzeugung führten zu gleichartigen Resultaten. Wie man in Abbildung 7 ablesen kann, kam es nicht nur – wie von der älteren Forschung vermutet – in einem negativen Emotionszustand zu einer Reduktion aufgabenbezogener Aufmerksamkeit (verglichen mit dem neutralen Zustand), sondern auch nach Induktion positiver Zustände. Zu schließen ist, dass sowohl negative wie positive Emotionen kognitive Ressourcen verbrauchen, indem sie Aufmerksamkeit binden und die für die Bearbeitung einer Aufgabe zur Verfügung stehenden Ressourcen reduzieren. Folglich ist für negative wie für positive Emotionen zu vermuten, dass sie sich aufgrund des bewirkten Ressourcenverbrauchs ungünstig auf Lernen und Leistung auswirken können.

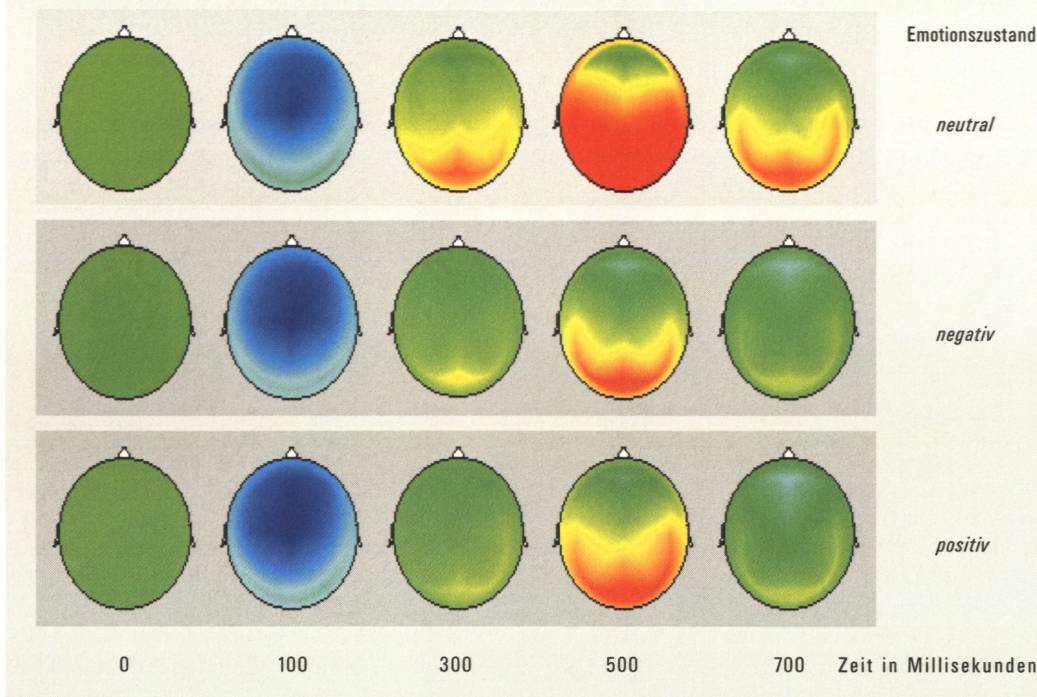
Allerdings wäre es ein Fehlschluss, würde man annehmen, dass dies tatsächlich unter allen Bedingungen gelte, Emotionen also der Aufgabekonzentration immer abträglich seien. Bei der Interpretation unserer Laborexperimente ist nämlich zu berücksichtigen, dass sie nur eine – wenn auch sehr häufige – Möglichkeit der Beziehung zwischen Emotion und Aufgabe abbilden: Die erzeugten Emotionen richteten sich jeweils auf Gegenstände (Bilder, Lebensereignisse), die mit der gestellten Aufgabe nichts zu tun hatten. Ein etwas anderes Befundmuster ergibt sich, wenn man direkt aufgabenbezogene Emotionen untersucht, also Emotionen, die sich auf Tätigkeit oder Gegenstand der Aufgabe beziehen. Zwar führen negative Aufgabenemotionen wie z. B. Langeweile ebenfalls zu einer Abnahme aufgabenbezogener Aufmerksamkeit; positive aufgabenbezogene Emotionen hingegen können die Aufmerksamkeit fördern. Dementsprechend haben wir in unseren Felduntersuchungen gefunden, dass Lernfreude bei Schülern und Studenten mit höherer Aufmerksamkeit beim Lernen und einer geringeren Zahl ablenkender Gedanken verbunden ist.

Als Fazit ergibt sich: Es ist zu vermuten, dass alle nicht auf die jeweilige Aufgabe bezogenen Emotionen die aufgabenbezogene Aufmerksamkeit reduzieren. Dasselbe gilt für negative Aufgabenemotionen wie Langeweile; positive Aufgabenemotionen (z. B. Lernfreude) hingegen dürften der Aufmerksamkeit förderlich sein. Gleichzeitig erlaubt dieses Befundmuster in Übereinstimmung mit traditionellen Annahmen der Prüfungsforschung eine erste Antwort auf die im Titel gestellte Frage, ob Angst beim Lernen hilfreich sei: Angst ist schädlich, da sie kognitive Ressourcen bindet, die dann für die Aufgabebearbeitung

IAPS-Bilder



6
Beispielbilder aus dem *International Affective Picture System* (IAPS) zur Induktion neutraler, negativer und positiver emotionaler Zustände.



7

Ereigniskorrelierte Potenziale des Kortex nach Darbietung eines Aufgabenreizes (zu zählender Ton in einer *oddball*-Aufgabe). Dargestellt sind die Potenziale unter Induktion eines neutralen, negativen oder positiven emotionalen Zustandes. Rote Färbung entspricht hoher Ausprägung von »peak 300«, also hoher Aufmerksamkeit.

nicht mehr zur Verfügung stehen. Wer Angst vor Misserfolg hat, dessen Gedanken kreisen um den drohenden Misserfolg, seine negativen Folgen, die eigene Inkompetenz etc., und eine Konzentration auf anstehende Lern- oder Prüfungsaufgaben ist erschwert.

Emotionen, Lernmotivation und Lernstrategien

Die dargestellten Befunde zeigen, dass Emotionen über die Quantität der kognitiven Ressourcen mitbestimmen, die dem Individuum für Lernen und Problemlösen jeweils zur Verfügung stehen. Wie aber wirken sie sich auf die Nutzung solcher Ressourcen aus? Welchen Einfluss nehmen sie auf Motivation und Verhaltensstrategien in Lern- und Leistungssituationen? Antworten auf diese Frage setzen voraus, unterschiedliche Motivationsformen und Lernstrategien zu differenzieren.

Intrinsische vs. extrinsische Lernmotivation

Intrinsische Lernmotivation beinhaltet, sich mit einem Lerngegenstand auseinander zu setzen, weil einen dieser Gegenstand interessiert und die Beschäftigung mit ihm Freude bereitet. Extrinsisch motiviert ist eine Lernhandlung dann, wenn sie um ihrer Folgen willen angestrebt wird, also z. B. wegen erhoffter Lernerfolge, positiver Reaktionen der Umwelt, möglicher Karrierevorteile etc. Neben positiven Handlungsfolgen können auch Möglichkeiten der Vermeidung negativer Folgen motivierend wirken (z. B. Vermeidung von Misserfolg, sozialer Ächtung oder finanziellen Verlusten).

Ressourcenbezogene, kognitive und metakognitive Lernstrategien

Zur Erreichung von Lernzielen können unterschiedliche Ressourcen investiert werden. Eine die-

ser ressourcenbezogenen Strategien ist besonders bedeutsam: die Investition von Lernanstrengung. Zentraler Bestandteil von Lernanstrengung ist eine aufgabengerichtete Verwendung von Aufmerksamkeitsressourcen. Dabei können Ressourcen in unterschiedliche kognitive und metakognitive Formen des Lernens investiert werden. Drei wesentliche kognitive Lernstrategien sind Wiederholen, Organisieren und Elaborieren von Lernmaterial. Unter »Organisieren« ist zu verstehen, dass der Stoff strukturiert wird (durch Bildung von Abschnitten, Markieren von Hauptgedanken etc.), und unter »Elaborieren«, dass er gedanklich in Beziehung gesetzt wird zu bereits vorhandenem Wissen oder benachbarten Informationsbereichen. Alle drei Lernformen dienen der Verankerung von Lernstoff im Gedächtnis; »tiefer gehende« Strategien wie Organisieren und Elaborieren aber sind für die Einbettung in Gedächtnisnetzwerke von besonderem Nutzen. Schließlich sind für Lernerfolge auch Formen der Steuerung des eigenen Lernens wesentlich (Planung, Überwachung, Erfolgskontrolle etc.), die als metakognitive Lernstrategien bezeichnet werden (unter »Metakognition« ist das Nachdenken und Wissen eines Menschen zu verstehen, das sich reflexiv auf sein eigenes Denken und Wissen richtet).

Wie wirken sich Emotionen auf solche Motivations- und Verhaltensformen des Lernens aus? Dieser Frage sind wir u. a. nachgegangen, indem wir Selbstberichte von Schülern und Studierenden zu ihren Emotionen, ihrer Motivation und ihrem Lernverhalten gewonnen und auf Verknüpfungen dieser Prozesse hin untersucht haben. In einigen dieser Studien haben wir nach gewohnheitsmäßigen Emotionen und Lernprozessen gefragt, die in individualtypischer Weise den jeweiligen Schüler bzw. Studierenden kennzeichnen, in an-

deren nach Emotion und Verhalten in einzelnen Lernsituationen. Zur Erhebung von Emotionen haben wir die oben beschriebenen Regensburger Skalen zu Studienemotionen und entsprechende Skalen für Schüler verwendet. Zur Erfassung von Motivation und Lernstrategien dienten ebenfalls Selbstberichtsskalen, die wir zum Teil von anderen Arbeitsgruppen übernommen haben. Beispiele sind die Fragebögen zum Studieninteresse und zu Lernstrategien im Studium, die von Ulrich Schiefele und Kollegen an der Universität der Bundeswehr in Neubiberg/München entwickelt worden sind.

Die Resultate zeigen ein differenziertes Muster der Motivations- und Verhaltensbezüge von Emotionen. In vereinfachter Form ist dieses Muster in **8** für drei wesentliche Gruppen von Lern- und Leistungsemotionen dargestellt, nämlich aktivierend-positiv Emotionen (wie Lernfreude, Leistungshoffnung), aktivierend-negative Emotionen (z. B. Angst, Ärger) und desaktivierend-negative Emotionen (Hoffnungslosigkeit, Langeweile). Dieser Gruppierung von Emotionen liegt die Tatsache zugrunde, dass die beiden Emotionsdimensionen der Wertigkeit und der Potenz zur Verhaltensaktivierung grundlegend für die Leistungswirkungen von Emotionen sind.

Die Befunde zeigen, dass positive Emotionen wie Lernfreude, Leistungshoffnung und Leistungstolz positiv mit unterschiedlichen Formen der Lernmotivation und dementsprechend auch mit der Investition von Anstrengung verknüpft sind. Das Gegenstück sind Langeweile und Hoffnungslosigkeit, die Motivation und Anstrengung durchweg abträglich sein dürften. Komplexer ist das Bild bei aktivierenden negativen Emotionen. Unsere Resultate legen nahe, dass solche Emotionen mit einer Reduktion von Interesse und intrinsischer Motivation verbunden sind, gleichzeitig aber bestimmte Formen extrinsischer Motivation erzeugen und deshalb je nach Motivationslage Lernanstrengung nicht nur reduzieren, sondern auch beflügeln können. Für Angst beispielsweise lassen die Befunde vermuten, dass diese Emotion sich negativ auf intrinsische Motivation auswirkt, da sie mit Tätigkeitsfreude nicht kompatibel ist (jenseits eines Intensitätsminimums), gleichzeitig aber dazu motivieren kann, Misserfolg vermeiden zu wollen. Je nach Situation und Balance dieser gegenläufigen Effekte könnte Angst deshalb dazu führen, dass

Lernsituationen gemieden werden, aber ebenso auch zu intensiven Lernbemühungen Anlass geben.

Positive Emotionen sind darüber hinaus mit dem Einsatz flexibler, kreativer Lernstrategien wie Organisation, Elaboration und Lernplanung verknüpft. Desaktivierende negative Emotionen wie Langeweile und Hoffnungslosigkeit hingegen können solchen tiefer gehenden Formen der Verarbeitung von Lerninformation abträglich sein. Interessant sind auch hier wieder die Befunde zu aktivierenden negativen Emotionen wie Angst und Scham. Ebenso wie im motivationalen Bereich ist für solche Emotionen wiederum nicht einfach von negativen Wirkungen auszugehen; vielmehr scheinen sie – im Gegensatz zu positiven Emotionen – mit einem verstärkten Einsatz rigiderer, nicht allzu viele kognitive Ressourcen beanspruchender Formen des Lernens wie z. B. einfachem Wiederholen von Lernmaterial einherzugehen, das unter entsprechenden Aufgabenbedingungen dem Lernen durchaus förderlich sein kann.

Einschränkend ist zu bemerken, dass die meisten unserer Befunde in diesem Bereich zunächst korrelativer Art sind. Solche Befunde lassen auf Verknüpfungen zwischen Emotionen einerseits und spezifischen Motivations- und Verhaltensformen andererseits schließen. Die zugrunde liegenden Wirkmechanismen aber sind damit noch nicht hinreichend aufgeklärt. So kann es sich hier nicht nur um Effekte von Emotionen auf Motivation und Lernen handeln; vielmehr könnte z. B. auch die umgekehrte Wirkrichtung eine Rolle spielen (Effekte von Motivation und Lernformen auf Emotionen). Um ein Beispiel zu geben: Es ist zu vermuten, dass Lernfreude den Einsatz flexibler Lernstrategien begünstigt; umgekehrt ist aber auch denkbar, dass kreative Formen des Lernens mehr Freude bereiten als schematische Vorgehensweisen. Wir haben deshalb mit Untersuchungen begonnen, die eine zeitliche Auflösung solcher Zusammenhänge und damit präzisere Schlüsse zu Ursache-Wirkungs-Beziehungen erlauben werden.

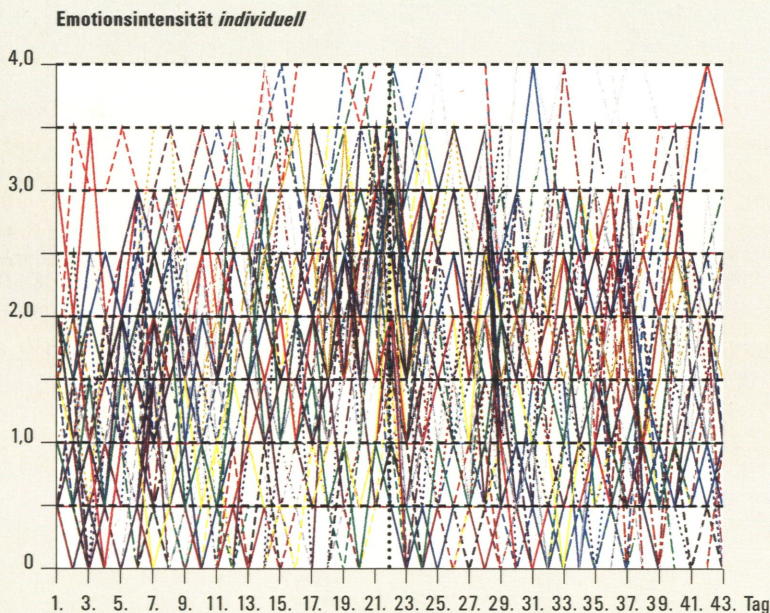
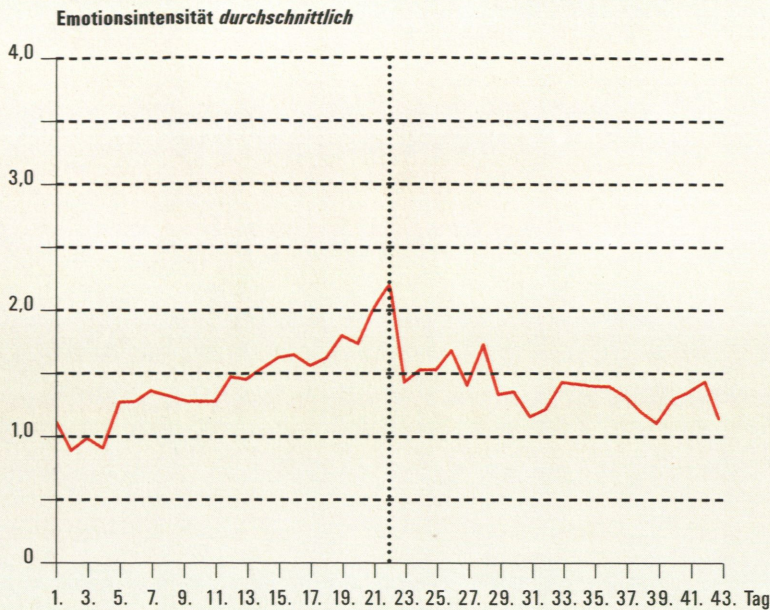
Auch unter Berücksichtigung solcher Einschränkungen aber legen unsere Befunde eine *zweite Antwort* auf die Titelfrage nach den Lerneffekten von Angst nahe, die über manche traditionellen Annahmen hinausreicht: Es ist anzunehmen, dass Angst sich auf einige Motivations- und Verhaltensformen negativ, auf andere hingegen durchaus günstig aus-

8

Emotionswirkungen auf Lernmotivation und Lernstrategien.

- ⊕ positive Wirkungen
- ⊖ negative Wirkungen

| | | Emotion, Motivation und Lernstrategien | | | | | |
|------------------------|--------------------|--|-------------------------|-------------|-------------|---------------------------|-------------|
| Emotionsart | | intrinsische Motivation | extrinsische Motivation | Anstrengung | Wiederholen | Organisieren, Elaborieren | Lernplanung |
| aktivierend-positiv | Freude | ⊕ | ⊕ | ⊕ | | ⊕ | ⊕ |
| | Hoffnung | | | | | | |
| | Stolz | | | | | | |
| aktivierend-negativ | Ärger | | | | | | |
| | Angst | ⊖ | ⊕ ⊖ | ⊕ ⊖ | ⊕ | | |
| | Scham | | | | | | |
| desaktivierend-negativ | Hoffnungslosigkeit | ⊖ | ⊖ | ⊖ | ⊖ | ⊖ | ⊖ |
| | Langeweile | | | | | | |



9 Durchschnittlicher Verlauf der Angstintensität bei 72 Examenskandidaten (1. Staatsexamen Lehramt) über 43 Tage hinweg. Intensitätsangaben auf einer Skala von 0 bis 4. Der senkrechte Strich markiert den Beginn der Examenszeit.

10 Individuelle Verläufe der Angstintensität bei denselben Examenskandidaten wie in **9**.

wirken kann, so dass homogene, über Situationen hinweg gleichartige Lern- und Leistungseffekte für diese Emotion kaum zu erwarten sind. Vielmehr dürften Richtung und Stärke solcher Effekte von den Aufgabenanforderungen und der jeweiligen Balance unterschiedlicher, teils aufgabenspezifischer Motivationsformen und Verhaltensstrategien abhängen.

Zur Bedeutung von Personunterschieden

Menschen unterscheiden sich in ihrem Emotionserleben, und einige der Wirkungen von Emotionen können ebenfalls individualtypischer Art sein. Beides lässt sich exemplarisch an den Befunden einer Tagebuchstudie ablesen, in der wir 72 Lehramtsstudierende gebeten haben, über 43 Tage vor und während des studienabschließenden Staatsexamens

hinweg anhand von Tagebuchblättern systematisch ihre Emotionen, Motivationslagen, Lernstrategien und Formen der Prüfungs- und Emotionsbewältigung aufzuzeichnen (im Team verantwortlich: Hubert Hofmann).

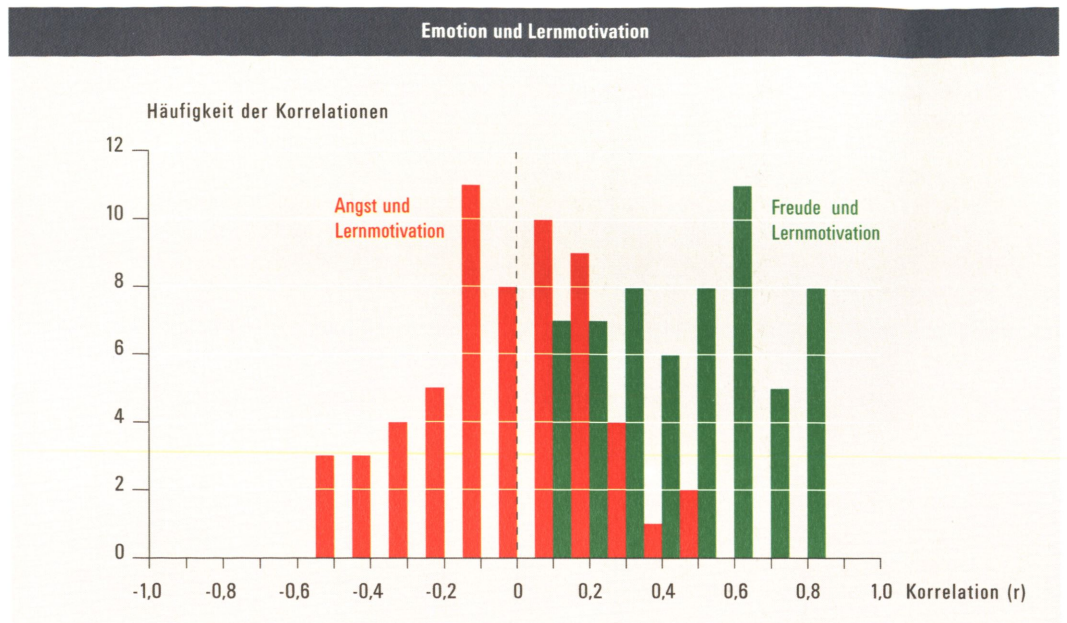
In Abbildung **9** sieht man am Beispiel prüfungsbezogener Angst, dass die Intensität täglicher Prüfungsangst im Gruppenmittel dieser studentischen Stichprobe bis zum Beginn des Prüfungszeitraums ansteigt und in den drei Wochen nach Beginn dieses Zeitraums wieder etwas absinkt. Dies ist ein erkennbar plausibler Befund. In die Irre aber würde dieser Befund führen, wenn man aus ihm auf die Einzelperson schließen wollte: Hinter der Durchschnittsentwicklung verbergen sich sehr unterschiedliche individuelle Verläufe, Abbildung **10**.

Ähnliches gilt nun auch für manche Emotionswirkungen. Während den beschriebenen Einflüs-

11

Häufigkeitsverteilungen für individuelle Zusammenhänge (lineare Korrelationen) von Freude und Lernmotivation sowie Angst und Lernmotivation. Eine Korrelation von $r = 0$ indiziert fehlenden Zusammenhang, Korrelationen von $r = +1$ und $r = -1$ entsprechen eindeutigem positivem bzw. negativem Zusammenhang, aus Korrelationen von $0 < r < +1$ sowie $-1 < r < 0$ kann auf tendenzielle Zusammenhänge geschlossen werden. Die Höhe des Koeffizienten entspricht der Stärke des Zusammenhangs.

- mittlere Korrelation $r = -0,06$
- mittlere Korrelation $r = +0,46$



sen von Emotionen auf kognitive Ressourcen allgemeine Gültigkeit zu unterstellen ist, ergibt sich bei den Motivations- und Verhaltenswirkungen von Emotionen ein anderes Bild. Bei einigen Emotionen können solche Wirkungen nämlich interindividuell gleichförmiger Art sein, bei anderen hingegen in personenspezifischer Weise unterschiedlich ausfallen.

Zwei Beispiele finden sich in Abbildung 11. Zugrunde gelegt wurden jeweils Berechnungen der individuellen Emotions-Motivations-Zusammenhänge, die sich über den untersuchten Zeitraum hinweg bei den einzelnen Untersuchungsteilnehmern ergaben (intraindividuelle Korrelationen). Ein positiver Zusammenhang dieser Art beinhaltet, dass sich an Tagen mit hoher Intensität der Emotion eine ebenfalls große Lernmotivation einstellte, ein negativer Zusammenhang, dass hohe Emotionsintensität mit geringer Motivation einherging.

Wie man sieht, war Lernfreude bei allen Teilnehmern positiv mit dem Ausmaß der Lernmotivation verknüpft. Angst hingegen senkte die Motivation bei einigen Teilnehmern und steigerte sie bei anderen. Zwar war die Zahl der motivationalen Angstprofiteure vergleichsweise gering. Insgesamt aber ist aus den Befunden der Studie zu schließen, dass Motivations- und Verhaltenswirkungen von positiven Leistungsemotionen (wie Lernfreude) und desaktivierend-negativen Emotionen (Hoffnungslosigkeit, Langeweile) relativ gut vorhersagbar sind, während die Wirkungen akti-

vierend-negativer Emotionen von Person zu Person unterschiedlich ausfallen können. Wir vermuten, dass individuell unterschiedliche Balancierungen der oben beschriebenen (negativen) Angstwirkungen auf intrinsische Motivation und (positiven) Wirkungen auf Motivation zur Misserfolgsmeidung hierbei eine wesentliche Rolle spielen.

Es ergibt sich eine *dritte Antwort* auf die Titel-frage: Je nach motivationaler Nutzung eigener Emotionen kann Angst Anstrengungsinvestitionen reduzieren, sie aber auch steigern – und sich insoweit von Person zu Person unterschiedlich auf resultierende Leistungen auswirken.

Emotionen und resultierende Lernleistungen

Aus Emotionswirkungen auf kognitive Ressourcen, Motivation und Lernstrategien folgt, dass Emotionen nicht ohne Wirkung auf Lernleistungen bleiben können. Dies bestätigt sich, wenn man ihren Einfluss auf Schul- und Studienleistungen analysiert. Ein Beispiel ist eine in Zusammenarbeit mit Gottfried Spangler (Universität Gießen) durchgeführte Untersuchung, in der die oben beschriebenen Regensburger Skalen verwendet wurden, um die Prüfungsemotionen der Teilnehmer einer Vorlesung in Entwicklungspsychologie zu erfassen und zu den Prüfungsergebnissen in Beziehung zu setzen, die sie in der Abschlussklausur dieser Veranstaltung erzielten.

12

Klausurleistungen von Studierenden mit niedrigen, mittleren und hohen Ausprägungen unterschiedlicher Prüfungsemotionen. Die durchschnittliche Leistung lag bei 37,2 Klausurpunkten, Minimum und Maximum lagen bei 4 bzw. 69 Punkten.

| Emotion und Prüfungsleistung | | | | | |
|--|--------|----------|--------|-------------------|--------------------|
| Emotionsausprägung | Freude | Hoffnung | Angst | Ärger | Hoffnungslosigkeit |
| niedrig | 26,2 | 31,0 | 38,6 | 41,5 | 43,4 |
| mittel | 42,0 | 37,6 | 38,5 | 40,0 | 37,3 |
| hoch | 40,6 | 47,0 | 29,8 | 37,7 | 28,4 |
| statistische Signifikanz des Emotionseffekts | hoch | hoch | mittel | nicht signifikant | hoch |

Wie sich an den Leistungsunterschieden zwischen Studierenden mit unterschiedlicher Emotionsausprägung ablesen lässt, übten die erfassten positiven Prüfungsemotionen günstige Effekte auf die Klausurleistung aus, während negative Prüfungsemotionen der Leistung abträglich waren ¹². Allerdings waren diese Wirkungen von unterschiedlicher Stärke. Die negativen Effekte prüfungsbezogener Hoffnungslosigkeit fielen besonders deutlich aus. Da für diese Emotion durchweg ungünstige Wirkungen auf kognitive Ressourcen, Motivation, Lernanstrengung und den Einsatz von Lernstrategien zu vermuten sind, nimmt dies nicht wunder. Geringer waren die Effekte für Ärger und auch für prüfungsbezogene Angst. Studierende mit geringer und mittlerer Angst vor einem Misserfolg unterscheiden sich in ihrer Klausurleistung kaum voneinander; erst die Leistung der Gruppe mit hoher Prüfungsangst fiel demgegenüber ab. Auch dieses Befundmuster ist nicht verwunderlich, wenn man die oben beschriebene Ambivalenz mancher Wirkungen von Angst in Rechnung stellt.

Darüber hinaus nehmen Lern- und Leistungsemotionen Einfluss auf summative Schul- und Studienleistungen, die sich in Jahreszeugnissen oder den Noten von Zwischen- und Abschlussprüfungen im Studium spiegeln. So fanden wir z. B. in einer Untersuchung an 251 Studierenden unterschiedlicher Studienfächer der Universität Regensburg, dass die individualtypischen, gewohnheitsmäßig erlebten Lernemotionen dieser Studierenden in systematischen Beziehungen zu den Noten ihrer Zwischenprüfung standen. Bezugspunkt der Betrachtung war hier die erzielte Durchschnittsnote, die mit einem Notenmittel von 2,2 relativ günstig ausfiel. Die Leistungen von Studierenden mit über- oder unterdurchschnittlichen Emotionsausprägungen wichen in statistisch signifikanter Weise von dieser Durchschnittsleistung ab. So erzielten beispielsweise Studierende mit hoher Angst beim Lernen einen Notenschnitt von 2,6, solche mit niedriger Angst hingegen eine Durchschnittsleistung von 1,6. Ungeachtet der insgesamt relativ günstigen Prüfungsleistungen (und eher geringen Leistungsstreuung) unterschieden sich die Leistungen bei niedriger vs. hoher Emotionsausprägung also um den Betrag einer ganzen Notenstufe.

Angesichts dieser Bedeutung von Emotionen für Lernleistungen verwundert es nicht, dass sie auch für Entscheidungen über Fortsetzung oder Abbruch eines begonnenen Studiums wesentlich sein können. Häufiger Studienabbruch (je nach Schätzung 28 bis 40 Prozent aller Studierenden) zählt zu den zentralen Problemen, mit denen Universitäten heute konfrontiert sind. Nach unseren Befunden ist zu vermuten, dass negative studienbezogene Emotionen bei vielen Studierenden zu Abbruchintentionen beitragen können. Im Vergleich zu Studierenden, die ihr Studium erfolgreich abschließen, erleben Studienabbrecher während ihres Studiums im Durchschnitt weniger Freude am Lernen, langweilen sich häufiger und haben mehr Angst vor Prüfungen. Noch entscheidender aber scheint zu sein, dass sie vor Abbruch des Studiums sehr viel häufiger und intensiver unter Hoffnungs-

losigkeit leiden, als dies bei ihren weiterstudierenden Kommilitonen der Fall ist.

Es ist also zu folgern, dass Emotionen Einfluss auf Schul- und Studienleistungen und auf schulische und universitäre Bildungsbiografien nehmen. Dies gilt sowohl für Lernemotionen wie für Prüfungsemotionen. Dabei wirken sich positiv-aktivierende Emotionen (Lernfreude, Leistungshoffnung, Stolz) besonders günstig und desaktivierend-negative Emotionen (Hoffnungslosigkeit, Langeweile) besonders ungünstig aus. Nähere Analysen zeigen, dass solche Effekte durchweg monotoner Art sind: Mit steigender Emotionsausprägung steigen oder sinken die jeweils erfassten Leistungen. Die in der älteren Literatur theoretisch unterstellten und heute z. B. von Lehrern häufig vermuteten kurvilinearen Beziehungen von Angst und Schul- bzw. Studienleistung (bis zu einem Angstoptimum mit dem Angstniveau steigende Leistung, jenseits des Optimums sinkende Leistung) lassen sich weder in unseren Studien noch in Reanalysen älterer Datensätze finden.

Auch auf die Titelfrage lässt sich nun eine *zusammenfassende Antwort* geben. Zwar kann Angst unter bestimmten Aufgabenbedingungen, bezüglich einzelner Motivations- und Lernformen und bei einigen Personen durchaus förderlich für Lernen und Leistung sein. Dies scheint insbesondere dann zu gelten, wenn es dem Einzelnen gelingt, aus Angst leistungsmotivationalen Profit zu ziehen. Im Regelfall komplexen schulischen und universitären Lernens aber wirkt sich Angst bei den meisten Personen ungünstig aus, und im Personendurchschnitt ist mit insgesamt negativen Wirkungen auf Schul- und Studienleistungen zu rechnen.

Ausblick: Entwicklung und Förderung von Lern- und Leistungsemotionen

Aus unseren Befunden folgt, dass Emotionen bedeutsam sind für Lernprozesse und Leistungen. Hinzu kommt, dass Emotionen in Schule und Studium vermutlich auch gesundheitlich nicht ohne Folgen bleiben. In unseren Befragungen haben wir gefunden, dass Studierende mit hohen Werten für Angst, Ärger und Hoffnungslosigkeit im Studium bedeutend häufiger unter psychisch mitbedingten Gesundheitsproblemen wie Schlafstörungen, Rückenproblemen, Herz-Kreislauf-Beschwerden und Magenbeschwerden leiden.

Dies sind gute Gründe, jenseits der Funktionen von Lern- und Leistungsemotionen auch ihre Entwicklung sowie Möglichkeiten zur Modifikation negativer und Förderung positiver Emotionen dieser Art zu untersuchen. Für Prüfungsangst ist bekannt, dass die Wurzeln der Entwicklung häufig bereits im vorschulischen Elternhaus zu finden sind. Die Grundschulzeit bringt dann einen raschen Anstieg des durchschnittlichen leistungsbezogenen Angstniveaus von Kindern, der kongruent zum Absinken ihres zu Beginn der Schulzeit meist noch sehr optimistischen Selbstvertrauens in die eigene Leistungsfähigkeit ist. Begünstigt wird diese Entwicklung durch schulische Misserfolge, durch zu hohen Leistungs- und Wettbewerbsdruck (Überforderung) in Elternhaus, Schule, Universität und Berufsausbildung und durch negative Reaktionen

Prof. Dr. phil.

Reinhard Pekrun

geb. 1952 in Braunschweig,
1971–1977 Studium der Psychologie, Pädagogik und Philosophie an der TU Braunschweig und der Universität Tübingen,
1982 Promotion, 1986 Habilitation im Fach Psychologie,
1977–1991 Wiss. Assistent an der Ruhr-Universität Bochum und der LMU München,
1991–1994 Fiebiger-Professur, seit 1994 Lehrstuhl für Psychologie an der Universität Regensburg.

Forschungsgebiete:

Emotionspsychologie,
Pädagogische Psychologie,
Lehr-Lern-Forschung.

Dr. phil.

Wolfram Titz

geb. 1970 in Nürnberg,
1991–1997 Studium der Psychologie an den Universitäten Würzburg und Regensburg,
2000 Promotion zum Dr. phil. im Fach Psychologie,
seit 1997 Wiss. Mitarbeiter an der Universität Regensburg.

der Umwelt auf Leistungsversagen (Bestrafung an Stelle von kompetenzfördernder Unterstützung). Ferner wissen wir, dass exzessive individuelle Prüfungsangst durch angsttherapeutische Maßnahmen (z. B. kognitive Verhaltenstherapie) und Kompetenzförderung heute mit sehr guter Aussicht auf Erfolg behandelt werden kann.

Wie aber entwickeln sich Lern- und Leistungseemotionen jenseits von Prüfungsangst, welche Faktoren sind für solche Entwicklungen verantwortlich, und wie lässt sich Einfluss auf sie nehmen? Zu diesen Fragen steht auch unsere Regensburger Forschung noch am Beginn. Einige Hinweise aber zeichnen sich bereits ab. So wird erkennbar, dass im Einklang mit dem Anstieg von Prüfungsangst auch andere negative Lern- und Leistungseemotionen während der ersten Schuljahre zunehmen (z. B. Ärger, Hoffnungslosigkeit und Langeweile), während die durchschnittliche Lernfreude eher abnimmt. Nach der Grundschulzeit ist häufig eine Stabilisierung individueller Leistungseemotionen zu verzeichnen. Nach unseren Untersuchungen in Schulen der Oberpfalz scheint sich der Trend zur Abnahme schulischer Lernfreude aber auch in der Sekundarstufe fortzusetzen, und zwar in allen Schularten des gegliederten Schulwesens (Hauptschule, Realschule, Gymnasium).

Auf der Seite des Individuums tragen vermutlich vor allem drei Gruppen von Bedingungen zu solchen Emotionsentwicklungen bei: Erbanlagen, die für die individuelle Häufigkeit und Intensität des Erlebens basaler Emotionen wie Freude, Angst und Ärger mitverantwortlich sind; leistungsbezogene Kompetenzen und Erwartungen, die eine eher optimistische oder pessimistische Sicht der eigenen Fähigkeits- und Leistungsbilanz erlauben und damit ebenfalls zur Emotionsbildung beitragen; und die subjektive Bedeutsamkeit von Leistung, die notwendig ist, damit Erfolg und Misserfolg emotional nicht gleichgültig bleiben.

Dementsprechend können Elternhaus, Bildungswesen und Wirtschaft Einfluss auf Leistungseemotionen nehmen, indem sie die Entwicklung von Kompetenzen, Erwartungen und Leistungswerten steuern. Aus unseren Studien ergeben sich

Hinweise, welche Faktoren hierfür wesentlich sein könnten. Ein Beispiel ist die Qualität von Unterricht, die zu Lernfreude und einer Prävention von Langeweile beitragen kann. Von besonderer Bedeutung sind die eigene Unterrichtsbegeisterung des Lehrenden, die über Prozesse der »Emotionsansteckung« Begeisterung bei den Lernenden auslösen kann, und eine Vermittlung der Relevanz des Lernstoffes. Abwesenheit von Enthusiasmus und Relevanz erwiesen sich in unseren Studien als direkte Prädiktoren von Langeweile bei Studierenden. Wichtig dürften darüber hinaus eine altersadäquate Gewährung von Lern- und Leistungsautonomie sowie angemessene Leistungserwartungen sein, die dem Kompetenzprofil des Heranwachsenden entsprechen, ihn also weder über- noch unterfordern. Von zentraler Bedeutung schließlich sind pädagogische Zielstrukturen und Bezugsnormen der Leistungsbewertung. Sie bilden die Grundlage für Leistungsrückmeldungen (z. B. in Gestalt von Schulnoten), die sich in entsprechenden Kompetenz- und Bedeutsamkeitsüberzeugungen niederschlagen und damit ebenfalls steuernd auf die leistungsbezogene Emotionsentwicklung einwirken.

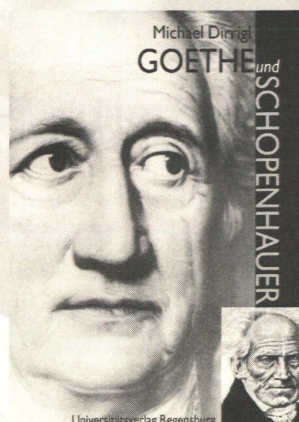
Einige dieser Faktoren dürften ihrerseits in starkem Maße von strukturellen Bedingungen des Bildungs- und Wirtschaftswesens und von kulturellen Wertesystemen abhängen. Dies gilt z. B. für leistungsbezogene Erwartungs- und Zielstrukturen und für die biografischen Konsequenzen individueller Leistung. Anzunehmen ist deshalb, dass unterschiedliche Kulturen und Gesellschaftssysteme jeweils spezifische Entwicklungen der Lern- und Leistungseemotionen ihrer Mitglieder bedingen. Aufgabe zukünftiger Forschung wird es sein, solche Differenzen aufzuklären und zu analysieren, welche Bedeutung ihnen für die erheblichen Unterschiede der Lern-, Wirtschafts- und Kulturleistungen unterschiedlicher Gesellschaften zukommt, die sich beispielsweise in den Resultaten der eingangs erwähnten internationalen Schülerleistungsstudien regelmäßig manifestieren.

Literatur zum Thema und Bildnachweis ► Seite 71



Mit diesem Buch wird die Frage nach den örtlich zuständigen Gerichten im Verbraucherkreditgeschäft der Banken und Sparkassen aufgegriffen. Aufgezeigt werden die relevanten Gerichtsstände und die Bedeutung der Vorschriften im Bereich der Verbraucherkredite, am Beispiel typischerweise bestehender Streitigkeiten.

Christian Dollinger. Gerichtsstände im Verbraucher-kreditgeschäft der Banken und Sparkassen.
112 Seiten, kartoniert, ISBN 3-930480-71-9
DM 49,80 / € 25,46



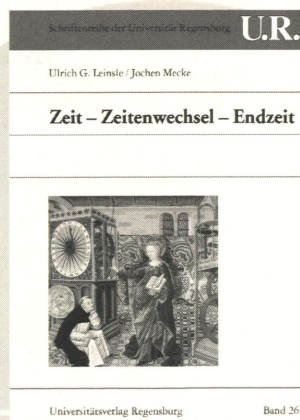
Als Arthur Schopenhauer in Weimar zum erstenmal Goethe traf, war er gerade 19 Jahre alt. Diese Begegnung führte zu einem regen Gedankenaustausch, der das philosophische Hauptwerk Schopenhauers wesentlich beeinflusste. Der Regensburger Goethe-Forscher Michael Dirrigl hat die Gemeinsamkeiten des großen (Lebens)-Philosophen und des weltweisen Dichterfürsten herausgearbeitet und in ein neues Licht gerückt.

Michael Dirrigl. Goethe und Schopenhauer.
210 Seiten, kartoniert, ISBN 3-930480-72-7
DM 59,- / € 30,17



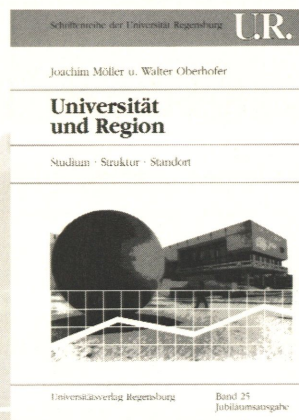
UNIVERSITÄTSVERLAG
REGENSBURG

Einzelpublikationen



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.

Ulrich G. Leinsle / Jochen Mecke (Hrsg.).
Zeit – Zeitenwechsel – Endzeit.
U.R. Band 26. 212 Seiten, kartoniert
ISBN 3-930480-43-3, DM 39,80 / € 20,35



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.

Joachim Möller / Martin Oberhofer.
Universität und Region.
U.R. 25. 224 Seiten, kartoniert
ISBN 3-930480-66-2, DM 39,80 / € 20,35



UNIVERSITÄTSVERLAG
REGENSBURG

Schriftenreihe der Universität Regensburg

Prof. Dr. iur. utr.

Dieter Schwab

■ Literatur zum Thema

Ulrich Falk,
Heinz Mohnhaupt (Hrsg.),
Das Bürgerliche Gesetzbuch
und seine Richter. Zur Reaktion
der Rechtsprechung auf
die Kodifikation des deutschen
Privatrechts (1896–1914).
Frankfurt/Main 2000.

Michael Martinek,
Patrick L. Sellier (Red.),
100 Jahre BGB – 100 Jahre
Staudinger.
Beiträge zum Symposium vom
18.–20. Juni 1998 in München.
Berlin 1999.

Hans Schulte-Nölke,
Die schwere Geburt des
Bürgerlichen Gesetzbuchs.
Neue Juristische Wochenschrift
(1996), S. 1705–1710.

Dieter Schwab,
Das BGB und seine Kritiker.
Zeitschrift für Neuere
Rechtsgeschichte 22, Heft 3
(2000), S. 325–357.

Rolf Stürner,
Der hundertste Geburtstag
des BGB – nationale
Kodifikation im Greisenalter?
Juristenzeitung
(1996), S. 741–752.

■ Bildnachweis

Seite 5
Fotografie:
Peter Schinzler, Fotograf,
München.

Seite 10
Hans-Wolfgang Strätz (Red.)
BGB-Synopse 1896–1998.
In: J. von Staudingers
Kommentar zum Bürgerlichen
Gesetzbuch mit Einführungs-
gesetz und Nebengesetzen.
Berlin 1998, S. 894, 895.

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

Dr. med.

Gerd Kempermann

■ Literatur zum Thema

Gerd Kempermann,
Fred H. Gage,
New Nerve Cells for
the Adult brain.
Scientific American 280
(1999), S. 48–53.

(Deutsch: Neue Nervenzellen
im erwachsenen Gehirn.
Spektrum der Wissenschaft.
Juli 1999, S. 32–38)

Fred H. Gage,
Mammalian neural stem cells.
Science 287
(2000), S. 1433–1438.

■ Bildnachweis

1 2
Autor.

3
Dr. med. Ludwig Aigner.

multimmune

Unternehmensprofil

multimmune ist ein junges biopharmazeutisches Unternehmen, das im September 1999 gegründet wurde. Ziel des Unternehmens ist es, Erkenntnisse aus grundlagenorientierter Forschung in neue, innovative Produkte zur Krebstherapie klinisch umzusetzen.

Kerntechnologie

Die Kerntechnologie des Unternehmens basiert auf dem immunstimulatorischen Potenzial einer spezifischen Klasse von Proteinen, den so genannten Hitzeschock-Proteinen (HSP). Die therapeutische Anwendung der von **multimmune** auf der Basis von HSP entwickelten Produkte zielt auf eine spezifische Aktivierung des Immunsystems ab. Die technologischen Grundlagen unseres Geschäftsvorhabens sind durch Patente geschützt. Im Mittelpunkt der derzeitigen Entwicklungsvorhaben steht die spezifische Aktivierung von Natürlichen Killerzellen, um ein innovatives Immuntherapiekonzept zur Behandlung von Tumorerkrankungen zu etablieren und auf dem Markt einzuführen.

Kooperationen

Die Verträglichkeit von **multimmune's** erstem Produkt **ENKASTIM** wird derzeit im Rahmen einer klinischen Phase I Studie am Klinikum der Universität Regensburg und am Klinikum Großhadern der LMU München überprüft.

Zur raschen Weiterentwicklung und Vermarktung dieser Produkte wird **multimmune** strategische Allianzen mit ausgewählten pharmazeutischen Partnern eingehen.

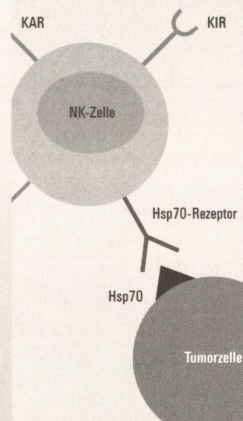
multimmune GmbH

PD Dr. Gabriele Multhoff Dr. Claus Botzler

Zur Verstärkung unseres Teams suchen wir
zum nächst möglichen Termin

Technische Assistenten/innen Biologie/Medizin

Die Bewerber/innen sollten über Kenntnisse auf dem
Gebiet zellulärer und immunologischer Arbeitsmethoden
verfügen.



Neben fundierten praktischen Erfahrungen erwarten wir von Ihnen Teamgeist und die Bereitschaft, flexibel auf methodisch und inhaltlich wechselnde Aufgaben zu reagieren. Wenn Sie Kreativität und Einsatzfreude mitbringen und in einer jungen, aktiven Forschergruppe tätig sein möchten, richten Sie Ihre Bewerbung mit Lichtbild, Lebenslauf und Qualifikationsprofil an uns. Wir freuen uns darauf, Sie kennenzulernen.

multimmune GmbH

c/o Klinikum der Universität Regensburg
Franz-Josef-Strauß-Allee 1
D-93053 Regensburg

Tel.: +49 (0)941-944 55 32

Fax: +49 (0)941-944 55 72

Email: info@multimmune.de



mi
multimmune

Ansprechpartnerin: PD Dr. Gabriele Multhoff

Dr. rer. nat.

Peter Kreitmeier

Prof. Dr. rer. nat.

Oliver Reiser

■ Literatur zum Thema

Wolfgang A. Herrmann,
Boy Cornils,
Metallorganische Homogen-
katalyse – Quo vadis.
Angewandte Chemie 109
(1997), S. 1074 – 1095.

Helmut Knözinger,
Katalyse: Von den Anfängen
bis zum Einsatz in der Technik.
In: Topics in Chemistry:
Sonderheft Katalyse.
Hrsg. BASF AG,
Ludwigshafen 1994.

Karl-Heinz Drauz,
Herbert Waldmann (Hrsg.),
Enzyme Catalysis in
Organic Synthesis:
A Comprehensive Handbook.
Weinheim 1994.

Oliver Reiser,
Catalysis and high pressure
– a useful liaison?
Topics in Catalysis 5
(1998), S. 105–112.

Oliver Reiser,
Synthese im Blickpunkt:
Kombinatorische Methoden
– Chancen in der Katalyse?
Nachrichten aus Chemie,
Technik und Laboratorium 44
(1996), S. 1183–1187.

■ Bildnachweis

1 2 3 4 5 6 7
8 9 10 11

Autoren.

12
nach Skizzen der Autoren.
Grafische Überarbeitung:
Stephan Riedlberger,
für Atelier Irmgard Voigt,
München.

Prof. Dr. phil.

Heidrun Stein-Kecks

Prof. Dr. phil.

Franz Fuchs

■ Literatur zum Thema

Albrecht Altdorfer und
seine Zeit.
Vortragsreihe der Universität
Regensburg,
hg. von Dieter Henrich.
U.R. Schriftenreihe der Univer-
sität Regensburg Band 5.
Regensburg 1981,
2. Auflage 1992.

Franz Fuchs,
Trabolt (Drabolt, Trawolt),
Johannes.
In: Biographisches Lexikon
der Ludwig-Maximilians-
Universität München,
hrsg. von Laetitia Boehm,
Winfried Müller, Wolfgang J.
Smolka, Helmut Zedelmaier,
Teil I: Ingolstadt–Landshut
1472–1826.
Berlin 1998, S. 440 f.

Ursula Fugmann,
Die beiden heiligen Johannes.
In: Regensburg im Mittelalter,
Bd. 2: Katalog der Abteilung
Mittelalter im Museum der
Stadt Regensburg,
hrsg. von Martin Angerer.
Regensburg 1995, S. 194 f.

Achim Hubel,
Albrecht Altdorfers Tafel:

»Die beiden Johannes«.
Studien zu Form und Farbe
in Altdorfers Gemälden.
In: Verhandlungen des
Historischen Vereins für
Oberpfalz und Regensburg,
Bd. 113 (1973), S. 161–175..

Carolin Schmuck,
»beruht bis auf bessere zeiten«
– eine Galerie für Regensburg.
Verhandlungen des
Historischen Vereins für
Oberpfalz und Regensburg 138
(1998), S. 77–114.

Franz Winzinger,
Albrecht Altdorfer.
Die Gemälde.
Tafelbilder, Miniaturen,
Wandbilder, Bildhauerarbeiten,
Werkstatt und Umkreis.
München 1975.

■ Bildnachweis

1
Historisches Museum
Regensburg.
(Leihgabe des
Katharinenspitals, Regensburg).

1 5 6
Fotografie:
Historisches Museum
Regensburg
(Fotostudio Zink, Regensburg).

2
Bayerische Staatsbibliothek,
München.

3
Fotografie:
Walter Ziegler, Fotograf,
Institut für Kunstgeschichte,
Universität Regensburg.

4
Bayerische
Staatsgemäldesammlungen,
München.

Synthetische Gene

... für Forschung und Entwicklung

gene art

Synthetische Gene – Warum?

- Optimierte Genexpression
- Domain- / Epitope-Shuffling
- Herstellung mehrerer Gen- / Allelvarianten
- Herstellung von Ribozymen
- Promotoranalysen

Synthetische Gene – Wie?

- Länge 300 – 10.000 bp
- Umfassende Beratung
- Klonierung in Vektor nach Wahl
- Lieferzeit 6 Wochen

Synthetische Gene – Qualität?

- Sequenzidentität 100% garantiert
- Vollständiger Sequenzreport
- Nachweis des Genprodukts

Synthetische Gene – Von wem?

www.geneart.de

geneart GmbH
BioPark
Josef-Engert-Straße 9
D-93053 Regensburg
Tel. (+49) 941 / 942 55 15
Fax (+49) 941 / 596 09 12
E-Mail info@geneart.de

Prof.
Hermann Leber

■ Literatur zum Thema

Maria Herrmann-Fiore,
Dürers Landschaftsaquarelle.
Ihre kunstgeschichtliche
Stellung und Eigenart als
farbige Landschaftsbilder.
Frankfurt 1971.

Heinz Ladendorf,
Ein Felsgesicht bei
Albrecht Dürer.
Aachener Kunstblätter 41
(1971), S. 229–230.

Hermann Leber,
Albrecht Dürers Landschafts-
aquarelle – Topographie
und Genese.
Hildesheim 1988.

Karl Möseneder,
Blickende Dinge – Anthro-
pomorphes bei Albrecht Dürer
(1986).

Friedrich Winkler,
Die Zeichnungen
Albrecht Dürers.
4 Bde.
Berlin 1936–39.

■ Bildnachweis

Seite 33 oben
Archiv des Autors.

Seite 33 unten
Fotografie:
Manfred Nürnberger,
Institut für Kunsterziehung,
Universität Regensburg.

PD Dr. phil.
Michael M. Rind

■ Literatur zum Thema

Alexander Binsteiner et al.,
Das neolithische Feuerstein-
bergwerk von Arnhofen,
Ldkr. Kelheim. Ein Abbau auf
Jurahornsteine in der südlichen
Frankenalb (Mit Beiträgen von
Josef Riederer, Berlin, und
Bernd Engelhardt, Landshut).
Bayerische Vorgeschichts-
blätter 55 (1990), S. 1–56.

Angelika Grillo,
Hornsteinnutzung und -handel
im Neolithikum Südostbayerns.
Beiträge zur Ur- und Früh-
geschichte Mitteleuropas 12.
Weissbach 1997.

Michael M. Rind,
Feuerstein: Rohstoff der
Steinzeit – Bergbau und
Bearbeitungstechnik. Museums-
heft 3 des Archäologischen
Museums der Stadt Kelheim.
Kelheim 1987.

Gerd Weisgerber (Hrsg.),
5000 Jahre Feuersteinbergbau
– Die Suche nach dem Stahl
der Steinzeit. Veröffentlichung
aus dem Deutschen
Bergbau-Museum Bochum 22.
Bochum 1980.

Andreas Zimmermann,
Austauschsysteme
von Silexartefakten in der
Bandkeramik Mitteleuropas.
Universitätsforschungen zur
Prähistorischen Archäologie 26.
Bonn 1995.

■ Bildnachweis

1 4 6 7 8 9
10 11 12 13

Fotografie:
Autor.

2
GEO 3 (1988), S. 214.
nach:
Ursula Bauer,
München.

3
Fotografie:
Bernd Engelhardt, Archäologe,
Landshut.

5
Grafische Überarbeitung:
Stephan Riedlberger,
für Atelier Irmgard Voigt,
München.

14
Infrarot-Luftbild:
BLfD-Luftbildarchäologie,
Fotograf Otto Braasch,
Aufnahmedatum 13.7.1984,
Archivnr. 7136/044 b;
Dia 3615-i4.

PD Dr. rer. nat.
Gabriele Multhoff

■ Literatur zum Thema

Gabriele Multhoff, Claus Botzler,
Luise Jennen, Jörg Schmidt,
Joachim Ellwart, Rolf Issels,
Heat shock protein 72
on tumor cells – a recognition
structure for natural killer cells.
Journal of Immunology 158
(1997), S. 4341–4350.

Gabriele Multhoff,
Larry Hightower,
Cell surface expression
of heat shock proteins and
the immune response.
Cell Stress and Chaperones 1
(1996), S. 167–176.

Claus Botzler, Jörg Schmidt,
Luise Jennen, Rolf Issels,
Gabriele Multhoff,
Differential Hsp70 plasma-
membrane expression on
primary human tumors and
metastases in mice with severe
combined immunodeficiency.
International
Journal of Cancer 7.
(1998), S. 942–948.

Gabriele Multhoff, Claus Botzler,
Rolf Issels,
The role of heat shock proteins
in the stimulation of an immune
response. Minireview.
Biological Chemistry 379
(1998), S. 295–300.

Claus Botzler, Joachim Ellwart,
Wolfgang Günther, Günther
Eissner, Gabriele Multhoff,
Synergistic effects of heat and
ET-18-OCH3 on membrane
expression of hsp70 and
lysis of leukaemic K562 cells.
Experimental Hematology 27
(1999), S. 470–478.

Gabriele Multhoff, Lee Mizzen,
Caroline Winchester,
Caroline Milner, Susanne
Wenk, Günther Eissner, Harm
Kampinga, Barbara Laumbach-
er, Judith Johnson,
Heat shock protein 70 stimu-
lates proliferation and cytolytic
activity of natural killer cells.
Experimental Hematology 27
(1999), S. 1627–1636.

■ Bildnachweis

1 3 5
Autorin.

2 4 5 6 7
Infografik:
Ludwig Otto,
für Atelier Irmgard Voigt,
München.

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

Der Umzugsspezialist der Universität Regensburg

Vollservice aus einer Hand
mit eigenen Schreibern,
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

Für uns heißt Umziehen nicht nur transportieren

Prof. Dr. rer. nat.
Dieter Bartmann

■ Literatur zum Thema

Robert Spillane,
Keyboard apparatus for
personal identification.
IBM Technical Disclosure
Bulletin, 17, No. 3346,
1975.

Roman Rostar, Marko Durkovic,
Two Methods for Computer
Users Identification. Applied
Informatics: Proceedings of the
Twelfth IASTED International
Conference, Annecy, France,
May 18–20, 1994.

Albert Glade,
Digitale Signatur und sicher-
heitssensitive Anwendungen.
Datenschutz und Datensicher-
heit Fachbeiträge,
Braunschweig 1995.

Erhard Petzel,
Sichere Authentisierung.
KES SecuMedia 1
(1997), S. 50–56.

■ Bildnachweis

1
Fotografie:
Dipl.-Wirtsch.-Inf. Thomas
Grundner, Lehrstuhl für
Wirtschaftsinformatik,
Universität Regensburg.

2 3
Michael Negin et al.,
An Iris Biometric System for
Public and Personal Use.
Computer Vol. 32, No. 2
(2000), S. 70–75, Fig. 1.

4 5 6 7 8 9
Infografik:
Stephan Riedlberger,
für Atelier Irmgard Voigt,
München.

Prof. Dr. phil.
Reinhard Pekrun
Dr. phil.
Wolfram Titz

■ Literatur zum Thema

Ray Hembree,
Correlates, causes, effects,
and treatment of test anxiety.
Review of Educational
Research 58
(1988), S. 47–77.

Reinhard Pekrun,
The impact of emotions
on learning and achievement.
Applied Psychology 41
(1992), S. 359–376.

Reinhard Pekrun,
A social cognitive,
control-value theory of
achievement emotions.
In: Jutta Heckhausen (Hrsg.),
Motivational psychology of
human development.
Oxford 2000 (im Druck).

Reinhard Pekrun,
Hubert Hofmann,
Lern- und Leistungsempfinden:
Erste Befunde eines
Forschungsprogramms.
In: Matthias Jerusalem,
Reinhard Pekrun (Hrsg.),
Emotion, Motivation und
Leistung.
Göttingen 1999,
S. 247–267.

Moshe Zeidner,
Test anxiety:
the state of the art.
New York 1998.

■ Bildnachweis

4
nach:
Paul Ekman, Wallace Friesen,
Facial action coding system:
manual.
Palo Alto 1978.

5
Lehrstuhl für Psychologie V,
Universität Regensburg.

6
nach:
Peter Lang, Arne Öhman,
Dieter Vaitl,
The international affective
picture system.
Gainsville 1988.

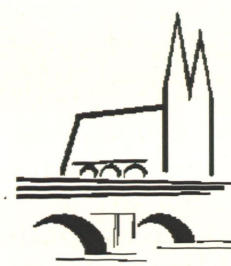
7
nach:
Dr. phil. Jörg Meinhardt,
Lehrstuhl für Psychologie V,
Universität Regensburg.

9 10
nach:
Dr. phil. Herbert Hoffmann,
Lehrstuhl für Psychologie V,
Universität Regensburg.

11
Infografik:
Ludwig Otto,
für Atelier Irmgard Voigt,
München.

Ihr Systemanbieter





Gehmeyr
GmbH & Co. KG
Technischer Betrieb

Auerbacher Str. 2 · 93057 Regensburg · Tel.: 09 41/ 6 96 81-0

Für Industrie und Handwerk

13

Vorschau

13

■ Essay

Prof. Dr. Jörg Traeger
Picasso 1937
»Guernica« und die Freiheit

Prof. Dr. Andreas Schäfer
**Buntes Treiben
im Inneren des Protons**
Die komplexe Dynamik
von Quarks und Gluonen

Prof. Dr. Rolf Schoenberger
**Interkulturalität
im Mittelalter?**
Die Präsenz des Islam in der
christlichen Philosophie

Prof. Dr. Stefan Dove
**Neue Wirkstoffe
vom Reißbrett?**
Computer modellieren
molekulare Schlüssel
für biologische Schlösser

Prof. Dr. Jürgen Heinze
**Anarchie oder
Despotismus**
Was bestimmt die
Struktur von Tiergruppen?

Prof. Dr. Jürgen Schmude
**Inszenierung oder
Realität**
Zur Thematisierung
touristischer Produkte

Prof. Dr. Edith Feistner
**Wie wirklich ist
die Wirklichkeit?**
Legenden und Märchen
im Mittelalter
und in der Romantik

Prof. Dr. Rüdiger Marmulla
**Kollege Computer,
bitte zum OP!**
Computersysteme
übernehmen Navigations-
funktionen in der Chirurgie

■ Blickpunkt

Prof. Dr. Rüdiger Schmitt
**Das Rad – erfunden
vor 2 Mrd. Jahren**
Über die Motorik
rotierender Bakteriengeißeln

Schriftenreihe der Europa-Kolloquien im Alten Reichstag

Band 1

Günther Lottes (Hrsg.)
Region, Nation, Europa
*Historische Determinanten
der Neugliederung eines Kontinents*

Tagungsband der
Europa-Kolloquien
im Alten Reichstag Regensburg
1991

320 Seiten, broschiert
ISBN 3-927529-90-7
DM 48

Band 2

Günther Lottes (Hrsg.)
**Soziale Sicherheit
in Europa**
*Renten- und
Sozialversicherungssysteme
im Vergleich*

Tagungsband der
Europa-Kolloquien
im Alten Reichstag Regensburg
1992

340 Seiten, broschiert
ISBN 3-927529-91-5
DM 59

Band 3

Robert Hettlage (Hrsg.)
**Bildung in Europa:
Bildung für Europa?**
*Die europäische Dimension
in Schule und Beruf*

Tagungsband der
Europa-Kolloquien
im Alten Reichstag Regensburg
1993

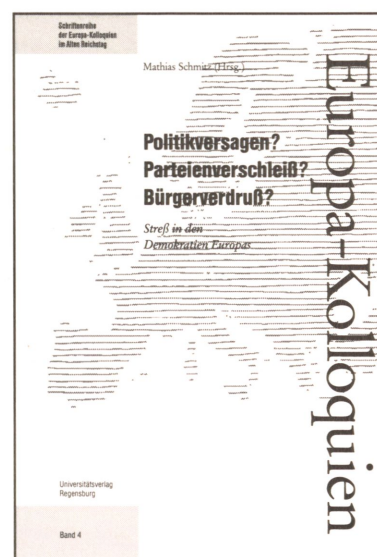
372 Seiten
ISBN 3-9803470-8-7
mit Abbildungen
DM 59

Band 4

Mathias Schmitz (Hrsg.)
**Politikversagen?
Parteienverschleiß?
Bürgerverdruß?**
*Streß in den
Demokratien Europas*

Tagungsband der
Europa-Kolloquien
im Alten Reichstag Regensburg
1994

328 Seiten
mit grafischen Darstellungen
ISBN 3-930480-30-1
DM 59

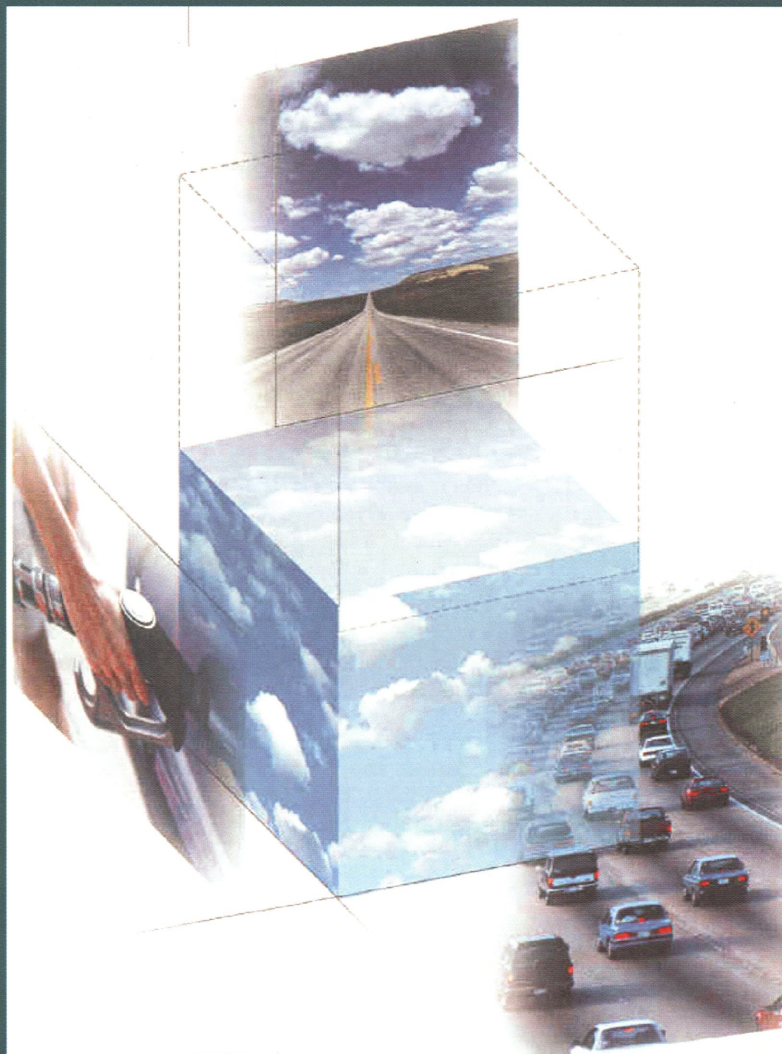


Universitätsverlag Regensburg
Margaretenstraße 4
93066 Regensburg

Schriftenreihe
der Europa-Kolloquien
im Alten Reichstag

dmc²
Degussa Metals Catalysts Cerdec

Automotive Catalysts



dmc²
Degussa Metals Catalysts Cerdec AG
R&D and Technical Service
P.O. Box 13 51
D-63403 Hanau
Tel. +49-6181-59-4249
Fax. +49-6181-59-4517

Fassen Sie Ihre ZUKUNFT ins Auge!

©2000 Infineon Technologies AG

TRAUMJOBS – JETZT INFORMIEREN!

Für Visionäre der
Naturwissenschaften
Informatik
Wirtschaftswissenschaften

FÜR WEITERDENKER – Wenn Sie neue Halbleiter-Welten ergründen wollen, in der drahtlosen und drahtgebundenen Kommunikation, für die Automobil- und Industrieelektronik, für Sicherheitssysteme und Chipkarten oder Speicherbausteine, dann beginnen Sie jetzt:

IHREN BLICKWINKEL zu verändern und Utopien in Realität zu verwandeln. Denn das können Sie – bei uns im **Praktikum**, mit Ihrer **Diplomarbeit** oder im **Job, direkt nach dem Studium**.

CONTACT US! Wir würden Sie gerne kennenlernen! Morgen? Ansprechpartner und eine Auswahl an offenen Stellen finden Sie im Internet, oder fragen Sie Gerald Froidl, E-Mail: Gerald.Froidl@infineon.com

www.infineon-JobCenter.de



Never stop thinking.