

Inhaltsverzeichnis

## Auf dem Weg ins 21. Jahrhundert

### Medizin – Naturwissenschaft – Technik

<b>Vorwort</b>	125	Markus Bohn <b>Die Steigerung von „klein“: Mini, Mikro, Nano</b>	158
Gábor Paál <b>Bewusstsein: eine harte Nuss</b>	127	Klaus Herbst <b>Der Computer der Zukunft</b>	162
Kurt Sauerborn <b>Herz-Kreislauf-Krankheiten</b>	130	Hermann-Michael Hahn <b>Der Griff nach den Sternen</b>	165
Stefanie Seltmann <b>Krebs im 21. Jahrhundert</b>	135	Frank Niess <b>Macht und Ohnmacht der Experten</b>	169
Reinhard Spiegelhauer <b>Ersatzteillager Mensch?</b>	139	<b>Das politische Buch</b>	176
Stefanie Seltmann <b>Das menschliche Erbgut</b>	142	Einzelbestellungen und Abonnements bei der Landeszentrale (bitte schriftlich)	
Kurt Sauerborn <b>Kinder nach Maß?</b>	146	Impressum: Seite 134	
Susanne Irmen <b>Die Rückkehr der Seuchen</b>	150	Bitte geben Sie bei jedem Schriftwechsel mit dem Verlag Ihre auf der Adresse aufgedruckte Kunden-Nr. an.	
Markus Bohn <b>Mehr als Plaste und Elaste</b>	154		



# Auf dem Weg ins 21. Jahrhundert

*macht in unseren Tagen die Entschlüsselung des menschlichen Erbguts Schlagzeilen. Spektakulär an die Öffentlichkeit getreten sind der US-amerikanische Wissenschafts-Unternehmer Craig Venter mit seiner Firma Celera Genomics Inc. sowie die Wissenschaftler der internationalen Forschungsgemeinschaft Human Genome Organization (HUGO), einer öffentlich finanzierten Unternehmung. Auch deutsche Wissenschaftler sind am HUGO-Projekt beteiligt, unterstützt vom Bundesforschungsministerium. Zwar gelten jetzt die menschlichen Erbinformationen damit als nahezu entschlüsselt – doch deren Funktionen sind weitgehend noch unbekannt. Es gibt also noch viel zu tun, sehr viel sogar. Rund 100 000 Gene im menschlichen Körper sind in Hinblick auf ihre Funktionen noch unbekannt.*

*Die Entschlüsselung des menschlichen Genoms steht auf der Liste wissenschaftlicher Erfolge nicht allein da. Viele aufregende Entwicklungen zeichnen sich ab. Auf dem Weg ins 21. Jahrhundert mag es angebracht erscheinen, ein wenig in die Zukunft zu blicken und abzufragen, was an neuen Entwicklungen im Bereich von Wissenschaft und Technik sich abzeichnet. Da unsere Zeitschrift „Der Bürger im Staat“ zum größten Teil von Menschen mit eher geisteswissenschaftlichem Hintergrund gelesen wird, sollten wir uns hier den Gebieten Medizin, Naturwissenschaft und Technik zuwenden.*

*In vielen Bereichen von Medizin, Naturwissenschaft und Technik sind beträchtliche Erfolge, wenn nicht gar Durchbrüche erzielt worden. Das betrifft den Kampf gegen die Herz-Kreislauf-Krankheiten, die bislang noch Todesursache Nr. 1 bei uns sind. Die Erfolge in der Therapie sind beachtlich, von neuen Diagnose-Möglichkeiten angefangen über neue Arten des Medikamenteneinsatzes und neuen, minimal-invasiven Operationsmethoden bis hin zu den Transplantationsmöglichkeiten. Allerdings ist Krebs als Erkrankung im Vormarsch, ist dabei, Platz 1 zu übernehmen, doch auch hier sind in der Bekämpfung durchaus Fortschritte sichtbar.*

*Die Fortschritte im Bereich der Medizin insgesamt beruhen nicht zuletzt auf den ganz neuen Möglichkeiten der „Ersatzteil-Medizin“ und der Gen-Therapie, Ersatzteile, die nicht mehr als Fremdkörper abgestoßen werden, sondern vom Körper als eigen angenommen und weiterentwickelt werden. Die Gen-Therapie versucht ihrerseits, Erbinformationen zu korrigieren.*

*Kinder nach Wunsch sind längst Realität. Kinder*

*nach Maß könnten Realität werden, wenn man sich die neuen Möglichkeiten der Entschlüsselung menschlicher Erbanlagen zu Nutze macht. Im Falle der Zeugung im Reagenzglas lässt sich heute schon diagnostizieren, ob das Kind später eine Erbkrankheit haben wird. Andere Informationen ließen sich ebenfalls gewinnen. Hier vor allem taucht eine Fülle von Fragen rechtlicher, aber mehr noch ethischer Natur auf. Auch stellt sich die Frage, was man mit nicht benötigten befruchteten Zellen macht – und auch machen darf –, möglicherweise sogar im Dienste der Gesundheit anderer.*

*Doch nicht nur Erfolge gibt es auf dem Gebiet der Medizin. So ist auf dem Weg ins 21. Jahrhundert eine Rückkehr der Seuchen zu beobachten, von denen man meinte, sie seien bald ein Thema von gestern. Für die Rückkehr gibt es angebbare Gründe. Der Zusammenbruch der politischen Systeme im Bereich des ehemaligen Ostblocks hat auch deren Gesundheitssystem in Mitleidenschaft gezogen. Zunehmende Mobilität, aber auch Sorglosigkeit sind weitere Ursachen. Zudem dringt der Mensch weltweit in immer neue Gebiete ein, wo Krankheitserreger sich eingenistet haben. Übervölkerung und Armut tun das Übrige. Es gibt Menschen, die argwöhnen: Mit Seuchen versuche die Erde, sich des Parasiten Mensch zu erwehren. Seuchenerreger sind vor allem außerordentlich wandlungs- und anpassungsfähig. So müssen immer neue Impfstoffe und Arzneimittel entwickelt werden. Bei manchen, wie bei dem Grippe-Erreger, befindet sich die Medizin in einem ständigen Wettlauf, der gelegentlich an die Geschichte von Hase und Igel erinnert.*

*Die Entwicklung neuer Werkstoffe ist auch, aber nicht nur für die Medizin interessant. Vor allem bei der Energiegewinnung und im Bereich des Verkehrs können neue Werkstoffe Beachtliches bieten, höhere Leistungen zu erzielen, Ressourcen zu sparen. Leichtere Flugzeuge und leichtere Autos z. B. können einen wesentlichen Beitrag zur Einsparung von Energie und zur Senkung des Schadstoffausstoßes sein. Neue Techniken, gerade auch auf dem Gebiet der Elektrotechnik, erlauben es, alles immer kleiner zu machen. Die Fortschritte im Bereich der Informationstechnik wären ohne diese Verkleinerungen nicht denkbar. Allerdings sind die Grenzen immer stärkerer Verkleinerung in Sicht. Neue Werkstoffe und neue Systeme sind in Erprobung: für den Computer von morgen.*



*Am spektakulärsten war in den letzten Jahrzehnten vielleicht die Fahrt zum Mond, mit dem ersten bemannten Flug im Juli 1969. Inzwischen wird bereits der Mars angesteuert. Doch sind – wie bereits das Flugprogramm zum Mars erkennen läßt – dem Griff nach den Sternen Grenzen gesetzt. Mancher mag sich fragen: Wozu das alles, wozu auch die hohen Kosten? Letztlich sollen damit Erkenntnisse gewonnen werden, die uns hier unten auf der Erde nutzen, bei der Suche nach besseren Materialien z. B., bei der Therapie von Krankheiten, bei der Erkundung unserer Erde und ihrem möglichen Schicksal.*

*Zu den wichtigen Aufgaben von Politik gehört es, auf dem Weg ins 21. Jahrhundert die Weichen richtig zu stellen. Forschungspolitik ist somit – neben der verwandten Bildungspolitik – eine der zentralen Aufgaben der Zukunftssicherung geworden. Im internationalen Vergleich steht Deutschland in der Standortsicherung gar nicht schlecht da. Der Beratungsbedarf von Politik wird hier besonders sichtbar, neben dem Bedarf an Politikberatung auch auf den Gebieten von Außen- und Sicherheitspolitik sowie der Wirtschafts- und Sozialpolitik. Politikberatung hat sich auch bei uns institutionalisiert, wenngleich nicht im selben Umfang wie in den USA. Auch für Forschungspolitik ist es wichtig, eine Bestandsaufnahme darüber vorzunehmen, was gegenwärtig auf dem Weg ins 21. Jahrhundert sich an Möglichkeiten abzeichnet.*

*Fortschritt auf allen Gebieten, nicht nur auf dem der Medizin, die Fülle neuer Möglichkeiten*

*wirft auch eine Fülle neuer Probleme und Fragen auf: rechtliche Fragen, mehr noch ethische Fragen, damit letztlich auch politische Regelungsprobleme. Darf man alles machen, was man machen kann? Wenn nicht, muss die Politik Grenzen setzen, die sich in rechtlichen Normen niederschlagen. Doch über diese Grenzen, über die ethischen und rechtlichen Implikationen all dieser neuen Möglichkeiten, die bereits auf dem Weg ins 21. Jahrhundert sichtbar werden, muss ein breiter Diskurs stattfinden, nicht nur unter Fachleuten, nicht nur unter Theologen und Philosophen. Ein solcher breiter gesellschaftlicher Diskurs muss jedoch informiert geführt werden. Dafür zu sorgen, gehört zu den Aufgaben politischer Bildungsarbeit.*

*Ein Problem besteht für die politische Bildung darin, Autorinnen und Autoren zu finden, die diese schwierigen Materien für Laien verständlich machen können. Wir haben den Weg der Zusammenarbeit mit der Wissenschaftsredaktion des SWR-Hörfunks gewählt. Die Annahme, dass Hörfunkredakteure und –redakteurinnen besonders geübt sein müssen, komplizierte wissenschaftliche Gegenstände anschaulich zu machen, kurz und ohne sie sichtbar machen zu können, hat sich als richtig erwiesen. Der Wissenschaftsredaktion des Südwestrundfunks in Baden-Baden und ihrem Redaktionsleiter Dr. Markus Bohn sei herzlich für die Zusammenarbeit gedankt!*

*Hans-Georg Wehling*



# Bewusstsein: eine harte Nuss

Hirnfunktionen, Bewusstseinszustände, Manipulationsgefahren

Von Gábor Paál

Gábor Paál ist freier Mitarbeiter im Hörfunk des SWR, Baden-Baden.

Wie der Mensch Reize verarbeitet, ist inzwischen bekannt. Doch wie entsteht daraus Bewusstsein – und wofür ist es gut? Bewusstsein ist nichts Statisches, es gibt unterschiedliche Bewusstseinszustände, die wir – je nachdem – positiv oder negativ empfinden und die sich zum Teil auch beeinflussen lassen, durch Drogen beispielsweise. Je mehr wir über das Hirn Bescheid wissen, desto leichter lässt sich das Bewusstsein auch beeinflussen. Den richtigen Umgang mit den Bewusstseinszuständen zu lernen, ist auch eine pädagogische Aufgabe. *Red.*

## Der Unterschied zum Zombie

Die Frage des Bewusstseins hat mit Zombies zu tun. In der Wissenschaft werden Zombies so definiert: Der Zombie ist ein menschenähnliches Wesen. Er reagiert wie ein Mensch, bewegt sich wie ein Mensch, redet wie ein Mensch. Öffnet man seinen Schädel, findet sich ein voll funktionsfähiges Gehirn. Doch der Zombie hat kein Bewusstsein. Alles, was er tut und macht, geht maschinenhaft vor sich. Er erlebt nichts.

Der „Zombie“ ist ein Fachbegriff: Ein Gedankenkonstrukt, das für all die Probleme steht, mit denen sich die Bewusstseinsforscher herumschlagen. Können wir sicher sein, dass es keine Zombies gibt? Diese Frage ist nur eine andere Umschreibung für das Problem, das die Düsseldorfer Neuropsychologin Petra Stoerig folgendermaßen beschreibt: „Das einzige, was ich sicher weiß, ist, dass ich selbst bei Bewusstsein bin. Und dann kann ich natürlich vermuten, mein Gegenüber hat das wahrscheinlich auch. Aber nachweisen kann ich das letztlich nicht.“

Ihr Interesse konzentrierte sich im Grunde auf drei Fragen, sagt Stoerig: Welche Vorgänge im Gehirn erzeugen Bewusstsein? Wozu ist es gut? Und wer hat es überhaupt?

## Warum empfinden wir Lichtwellen als Farben und Schallwellen als Töne?

Die Frage nach dem Bewusstsein ist ein Überbleibsel des alten Leib-Seele-Problems. Ein Überbleibsel deshalb, weil viele Zusammenhänge zwischen Körper und Seele inzwischen geklärt sind. Wie der Mensch Reize verarbeitet, wie er lernt, wie psychische Störungen entstehen – zumindest im Prinzip sind die verantwortlichen Mechanismen bekannt. Doch warum der Mensch bei all diese Vorgängen überhaupt

etwas erlebt, darauf gibt es bislang keine Antwort. Warum empfinden wir Lichtwellen als Farben und Schallwellen als Töne? Warum sehen wir langwelliges Licht als „rot“ und kurzwelliges als „violett“?

Der Berliner Philosoph Peter Bieri macht das anhand eines Gedankenspiels deutlich: Selbst wenn wir einen genauen Einblick in das Gehirn hätten, genau beobachten könnten, wie die Neuronen auf welche Reize reagieren, bringt uns das keinen Schritt weiter. Alle Vorgänge im Gehirn könnten im Prinzip auch ablaufen, ohne dass wir dabei auch nur die Spur eines Erlebnisses hätten. „Qualia-Problem“ nennen das die Philosophen, im angelsächsischen Raum spricht man auch ganz pragmatisch vom „hard problem“, frei übersetzt: der harten Nuss.

## Bewusstsein: das sinnvolle Zusammenbinden einzelner Reize

Auf den ersten Blick scheint das Qualia-Problem – wie viele philosophische Fragen – ziemlich abgehoben. Tatsächlich aber begegnet es den Wissenschaftlern in einigen konkreten und sehr merkwürdigen Phänomenen, die sie lange nicht beachtet hatten und von denen sie erst in den letzten Jahren erkannt haben, dass sie ihnen beim Verständnis des Bewusstseins weiterhelfen könnten. Die Bewusstseinsforscher begegneten zum Beispiel Synästhetikern. Menschen, bei denen verschiedene Sinneskanäle miteinander verknüpft sind. Synästhetiker sehen Klänge, hören Gerüche oder fühlen Farben. Hinderk Emrich, Leiter der psychiatrischen Abteilung der Medizinischen Hochschule Hannover, hat im Laufe der letzten Jahre viele Synästhetiker interviewt. In der Synästhesie sieht Emrich nicht zuletzt ein Phänomen, das wie kaum ein anderes den eigentlichen Kern der Bewusstseinsproblematik verdeutlicht: Die Frage nach dem konkreten Erleben. „Bewusstsein haben heißt ja, bestimmte Phänomene im mentalen Raum miteinander zu verbinden sagt Emrich. „Wenn ich zum Beispiel eine Tasse nehme, die hat einen bestimmten Schimmer, es kommt vielleicht etwas Dampf heraus, es fühlt sich warm an. Alle diese verschiedenen Sinneseindrücke werden so miteinander verknüpft, dass die Tasse als Einheit wahrgenommen wird. Es wird also vom Bewusstsein immer eine Einheit erzeugt.“ Bewusstseinsforscher bezeichnen diesen Vorgang als *Binding* – das sinnvolle Zusammenbinden einzelner Reize. Die Synästhetiker, sagt Hinderk Emrich, seien deswegen so spannend, weil sie an einer Stelle, wo sie normalerweise nicht vorgesehen ist, eine Bindung herstellen, etwa zwischen einem visuellen Reiz und einer akustischen Wahrnehmung.

mung. Emrich spricht von „Hyperbinding“. Synästhetiker, so könnte man sagen, verfügen demnach über zusätzliche Bewusstseins Ebenen. In ihrem bewussten Erleben spielen sich Dinge ab, die anderen Menschen fremd sind.

## „Blindseher“

Bei anderen Menschen dagegen ist das Bewusstsein reduziert. Petra Stoerig hat beispielsweise so genannte „Blindseher“ untersucht. Dabei handelt es sich um Menschen, die glaubhaft versichern, sie könnten nichts sehen, die sich aber dennoch genau so verhalten, als ob sie es doch könnten. Sie fangen einen Ball, weichen Hindernissen aus und können mit hoher Trefferrate Gegenstände benennen, die sich in ihrem Gesichtsfeld befinden. Die Interpretation dieses Phänomens liegt auf der Hand: Blindseher sehen unbewusst.

Neurologisch lässt sich dieses unbewusste Sehen erklären. Sehen ist nicht nur eine lineare Weiterleitung eines äußeren Reizes über das Auge ins Gehirn. Vielmehr verzweigt sich der Informationsstrom im Gehirn. Das Bewusstsein, also das bewusste Gewahrwerden, dass man etwas sieht, entsteht offenbar in der Hirnrinde, im visuellen Cortex. Doch die Bildinformation gelangt gleichzeitig auch in andere Hirnbereiche, wo sie ebenfalls weiterverarbeitet wird, nur eben unbewusst. Ist der visuelle Cortex verletzt, fallen bestimmte Teile des bewussten Sehens ganz – oder teilweise – aus. Es gibt auch das Phänomen der *selektiven Blindheit*: Je nachdem, wie weit die Nervenschädigung vom Auge entfernt ist, sind unterschiedliche Aspekte des Sehens betroffen. So gibt es Menschen, die nur schwarzweiß sehen. Sie haben keine bewusste Farbwahrnehmung. Andere wiederum können keine Bewegungen verfolgen. Manchen Patienten ist es nicht einmal mehr möglich, die Reize ihrer Umgebung zu einem einheitlichen Eindruck zu integrieren. Das, was sie erleben, sagt Petra Stoerig, lässt sich am ehesten beschreiben als ein Film, der nur aus unzusammenhängenden Flecken besteht. Ein abstraktes Gemälde in Bewegung.

## Neglect-Patienten sehen nur einen Teil der Welt

Eine weitere Stufe des Bewusstseinsausfalls zeigt sich bei den so genannten Neglect-Patienten. Ihr Krankheitsbild ist noch seltsamer. Sie nehmen nicht nur bestimmte Dinge in ihrem Gesichtsfeld nicht mehr bewusst wahr, im Weltbild eines Neglect-Patienten kommt ein Teil der Welt gar nicht mehr vor. Alles, was auf ihrer linken Seite ist, entzieht sich ihrer Vorstellung, erklärt Stoerig. „Zum Beispiel rasie-

ren sie nur die Hälfte ihres Gesichtes. Ein Neglect-Patient muss auch ganz mühsam lernen, dass er auf der linken Seite seines Tellers auch Essen hat. Und nicht nur auf der rechten. Er kriegt also ein normales Klinikessen hingestellt, isst die rechte Hälfte auf dem Teller auf, und dann ist er nicht satt geworden und sagt, er hätte gerne noch was, aber die ganze andere Hälfte liegt da. Manchmal kompensieren diese Patienten dies dann, indem sie sich um sich selber drehen, sodass es dann auf die andere Seite kommt, damit sie das aufessen können. Einen bemerkenswerten Fall schildert auch der italienische Psychologe *Edoardo Bisiach*: Er bat eine Neglect-Patientin, ihm den Weg vom Mailänder Dom zur Universitätsklinik zu beschreiben. Ihre Wegbeschreibung führte ans Ziel, allerdings über einen großen Umweg: Die Route enthielt ausschließlich Abzweigungen nach rechts.

### **Bewusstsein als abgestimmte Aktivität von Neuronen?**

All diese Fälle: Blindsehen, selektives Blindsehen und die Neglect-Patienten sind für *Petra Stoerigein* eindeutiges Zeichen, dass es im Gehirn kein abgegrenztes Bewusstseinszentrum gibt. Das Bewusstsein werde vielmehr jeweils einzelnen Komponenten der Wahrnehmung und des Denkens zugeschaltet. Die Wahrscheinlichkeit, dass man im Gehirn *ein* Areal findet, das für Bewusstsein zuständig ist, hält sie für „praktisch null“. Tatsächlich haben die meisten Forscher die Hoffnung, irgendwo im Gehirn den Bewusstseinschalter zu lokalisieren, inzwischen aufgegeben. Doch die Anstrengungen, überhaupt neuronale Korrelate für das Bewusstsein zu finden, gehen weiter. Dabei lassen sich im Wesentlichen zwei Schulen ausmachen. Zur einen gehört der Frankfurter Hirnforscher *Wolf Singer*. Er konzentriert sich auf das *Binding*-Phänomen. *Singer* geht davon aus, dass die bewusste Wahrnehmung eines Reizes auf neuronaler Ebene einem gemeinsamen Feuern von Neuronen entspricht. Die Neuronen, über die etwa die Farbe eines Gegenstandes verarbeitet wird, können woanders liegen als die, die für die Konturen zuständig sind. Aber wenn wir etwas als eine Einheit wahrnehmen, dann stimmen sich die Nerven der betroffenen Gruppen ab und feuern im Gleichtakt, und zwar zwischen 30 und 80 Mal in der Sekunde. *Singer* spricht von „Synchronisation“. Dem *Binding*, dem in sich stimmigen bewussten Erleben entspricht also eine abgestimmte Aktivität der Neuronen.

### **Die Fähigkeit, das eigene Routine-Verhalten zu reflektieren und zu korrigieren**

Dem Bremer Neurobiologen *Hans Flohr* reicht diese Erklärung jedoch nicht aus. Zwar könnte die Synchronisation erklären, wie das Gehirn Dinge als „Einheiten“ repräsentiert. Doch damit sei noch nichts darüber gesagt, warum das *bewusst* geschieht. *Flohr* hat eine andere Theorie: Seiner Ansicht nach sind so genannte NMDA-Synapsen für bewusstes Erleben verantwortlich. *Synapsen* sind Kontaktstellen zwischen Nervenzellen. An ihnen

wird das Signal einer Zelle mit Hilfe von chemischen Botenstoffen an die nächste Zelle weitergeleitet. Die NMDA-Synapsen, die vor allem in der Hirnrinde verbreitet sind, haben einige besondere Eigenschaften, die mit dem Bewusstsein zusammenhängen könnten. Da ist zum einen der Faktor *Zeit*: Auch wenn es uns nicht so vor kommt, handeln wir in der Regel viel schneller als wir uns dessen bewusst sind. Wir ziehen die heiße Hand sofort von der Herdplatte – den Schmerz spüren wir aber erst im Nachhinein. Wir drücken einen Knopf – aber erst eine knappe halbe Sekunde später werden wir uns dieser „Entscheidung“ bewusst. Das alles weiß man seit den 70er-Jahren. Doch *Flohr* konnte nun zeigen, dass die Vorgänge an den NMDA-Synapsen ebenfalls relativ langsam vorstatten gehen. Und er konnte zeigen, dass immer dann, wenn wir kein Bewusstsein haben – nämlich unter Narkose – die NMDA-Synapsen *nicht* aktiv sind.

*Flohr* scheut sich davor zu behaupten, er habe nun das jahrtausende alte Rätsel „Bewusstsein“ gelöst. Er spricht bescheidener von einer „Theorie der Anästhesie“. Doch wenn er recht hat, hätte er zwei der drei Fragen von *Petra Stoerig* beantwortet: Wie entsteht bewusstes Erleben? Durch die Aktivität von NMDA-Synapsen. Wer hat es? Jeder Organismus, der NMDA-Synapsen hat – und das sind bei weitem nicht nur Menschen. Und auch auf die dritte Frage – wozu ist das Bewusstsein gut? – hat *Flohr* eine Antwort parat. Bewusstsein, sagt *Flohr*, heiße letztlich Metarepräsentation: Wenn wir bewusst etwas wahrnehmen, verfüge unser Gehirn nicht nur über eine Repräsentation des eigentlichen Objekts, sondern auch über eine Repräsentation unseres eigenen Gehirnzustands. Damit verbunden wären zusätzliche Fähigkeiten, die auch evolutionär von Vorteil wären. Wenn schnelle Entscheidungen gefragt sind, bringe das Bewusstsein nichts, betont *Flohr*. Dazu sei es zu langsam, wir greifen in diesen Fällen lieber auf Routine-Reaktionen zurück. Doch die Fähigkeit zur Metakognition erlaube es den Organismen, die über Bewusstsein verfügen, im Nachhinein ihr Routine-Verhalten zu reflektieren und gegebenenfalls zu korrigieren.

Wenn diese Theoriestimmt, dann bedeutet das auch: Zombies hätten kein Bewusstsein und könnten ihr Verhalten somit auch nicht reflektieren. Und das bedeutet: Entweder es kann keine Zombies geben, oder sie sind so dumm, das wir es merken würden.

### **Bewusstsein lässt sich manipulieren**

Während die Frage nach der Natur des Bewusstseins eher philosophischer Natur ist, haben die Forschungen, die sich mit *Bewusstseinsveränderungen* beschäftigen, sehr praktische Auswirkungen. So beschreiben die Fortschritte in Chemie und Pharmazie der Welt nicht nur immer bessere *Medikamente*, sondern auch immer wirksamere *Drogen*. Zu den jüngsten und gefährlichsten gehören *Crystal-Speed* und *Yaba*. Beides sind Amphetaminderivate. *Chrystal-Speed* steigert die Aggressivität, und das für einen Zeitraum von bis zu drei Tagen. Die Designer-Droge *Yaba* wie-

derum ist ein extrem starkes Aufputzmittel, das bereits bei der ersten Einnahme süchtig macht. Aber auch die Erkenntnisse der Neurobiologie werden neue Einsichten über das Gehirn bringen, und damit aber auch neue Ansätze, um Vorgänge im Gehirn zu manipulieren. Der Bremer Philosoph *Thomas Metzinger* bringt es auf den Punkt:

„Es wird immer bessere Methoden geben, bewusstes Erleben zu verändern. Es wird nicht nur Neurotechnologien geben, wie sie jetzt schon in der Medizin angewandt werden, sondern echte Bewusstseinstechnologien: Methoden, das Gehirn zu beeinflussen, um Bewusstseinszustände zu erzeugen.“

### **Drogen gehören zu den ältesten Möglichkeiten**

Drogen gehören zu den ältesten Möglichkeiten, das Bewusstsein zu manipulieren. Darauf weisen Untersuchungen der Maleereien in der französischen Höhle „Pech Merle“ hin. Es sind Bilder von Pferden und menschlichen Händen, wobei die Hände als Negativ abgebildet sind – wie bei einem Siebdruck. Der Umriss ist schwarz, die Hand selbst ist weiß. Die Künstler haben vor 25 000 Jahren die Farbe offenbar auf die Wände der Höhle geblasen, und zwar direkt mit dem Mund. Als die Archäologen die Technik der Steinzeitmenschen nachvollziehen wollten, rieten ihnen Mediziner nachdrücklich davon ab: Die schwarze Farbe der Bilder enthalte Manganoxyd. Manganoxyd könne starke Nervenschädigungen hervorrufen. Außerdem löse es Halluzinationen aus. Dies weckte jedoch nur umso mehr das Interesse der Forscher: Sollten die Steinzeitmenschen ihre Höhlenbilder im Rausch auf die Wände geblasen haben? Sind vielleicht die gepunkteten Pferdebilder Ausdruck der Halluzinationen, die die Künstler erlebt haben, als sie den Farbstoff im Mund hatten?

Noch sind einige Fragen offen, doch die Vermutung hat einiges für sich: In fast allen Kulturen gibt es Hinweise auf den Gebrauch von Psychedelica. Opium hatten schon die Sumerer vor 6000 Jahren unter Volk gebracht. Die Inkas im hoch gelegenen Machu Picchu halfen sich gelegentlich mit Kokain, wenn sie in der dünnen Luft der Andenschwere Arbeiten zu verrichten hatten. Die sibirischen Schamanen versetzen sich mit Hilfe des hochgiftigen Fliegenpilzes in Trance, die Azteken holten sich ihre Illusionen vom mescalinhaltigen Peyote-Kaktus, der heute fester Bestandteil der *Native American Church* ist. Selbst viele unserer Gewürze wie Muskat oder Pfeffer enthalten drogenwirksame Stoffe. Allerdings ist darüber noch recht wenig bekannt, meint *Udo Pollmer* vom Europäischen Institut für Lebensmittel- und Ernährungswissenschaften. „Würde man das intensiver untersuchen, dann könnte man diese Gewürze bei uns nicht mehr kaufen, weil sie dann unter das Betäubungsmittelgesetz fielen.“ Tatsächlich genügen scheinbar harmlose Substanzen, um unser Bewusstsein zu verändern. Schon eine Tasse Tee oder ein Stück Schokolade versetzen unser Erleben mit einem Schuss Euphorie.

## Drei Dimensionen unseres Bewusstseins

Der Begriff „veränderte Bewusstseinszustände“ ist somit tückisch. Er suggeriert, es gäbe auch „normale“ Bewusstseinszustände. Doch auch sportliche Aktivität, meditative Musik, ein feuchtkaltes Wetter oder auch ein freundliches Lächeln beeinflussen unseren Bewusstseinszustand. Die Vorstellung, wir könnten uns jemals in einem unbeeinflussten Bewusstseinszustand befinden, ist daher falsch. Unser Bewusstsein ist, wenn man so will, immer verändert.

Letztlich lässt sich unser Erleben in drei Kategorien beschreiben, erklärt der Psychiater *Hinderk Emrich* von der Medizinischen Hochschule Hannover. Da ist zunächst die *quantitative* Dimension, die zwischen „mehr“ und „weniger“ Bewusstsein differenziert. Bei totaler Aufmerksamkeit haben wir einen hohen Grad an Bewusstsein. Im Tiefschlaf oder unter Narkose dagegen haben wir nur wenig oder gar kein Bewusstsein. Auch hier kann man mit Drogen eingreifen: Nikotin, Coffein und stärkere Amphetamine können den Wachheitsgrad vorübergehend leicht erhöhen. Ein Narkotikum wie Lachgas dagegen kann den Organismus in wenigen Sekunden in die Bewusstlosigkeit befördern.

Die zweite Dimension der Bewusstseinsveränderung, fährt *Emrich* fort, sei die *qualitative*. Das sind die Prozesse, die durch Psychedelica ausgelöst werden. Die Wahrnehmung wird verzerrt. Gegenstände verändern ihre Gestalt, verschwimmen, lösen sich in einzelne Farbflecken auf. Sogar das Ich-Bewusstsein kann dann zerfallen in viele kleine Ichs – oder in ein großes Nichts.

### Am problematischsten ist die emotionale Dimension

Die dritte Dimension schließlich ist die *Emotion*. Totale *Euphorie* auf der einen, tiefe *Depression* auf der anderen Seite – das sind die Pole, zwischen denen sich das Stimmungsbarometer bewegen kann. Wer hier chemisch etwas nachhelfen will, greift zu Morphinen oder Antidepressiva. Diese emotionale Dimension der Bewusstseinsveränderung ist die problematischste. Denn sie ist es, die süchtig macht. Der Drogenabhängige, sagt *Hinderk Emrich*, sei nicht süchtig auf die Verzerrung seiner Erlebniswelt oder die Steigerung seines Bewusstheitsgrades. Er sei süchtig auf das damit verbundene gute Gefühl, das die Droge ihm beschert – solange bis die Wirkstoffe im Gehirn wieder abgebaut werden und sich der Gemütszustand umkehrt – wie bei Marihuana, beim Heroin oder beim Kokain.

Drogen simulieren natürliche Mechanismen. Sie setzen Substanzen frei, die so oder ähnlich auch ohne Drogeneinnahme im Gehirn freigesetzt werden können. Den eindrucksvollsten Beleg dafür bilden die *Endorphine*, morphiunähnliche Substanzen, die der Körper insbesondere bei extremen Belastungen freisetzt. In ihren Genuss kommen hier zu Lande insbesondere Marathonläufer. Meistens irgendwo bei Kilometer 30 beginnt der Körper mit der Ausschüttung der selbsterzeugten Aufputzmittel. Sie verschaffen dem Jogger ein rauschartiges Hochgefühl, das ihn erneut in Fahrt bringt. Doch auch in anderen Kulturen haben die Menschen Techniken gefunden, um sich mithilfe von Endorphinen in Trance und Ekstase zu bringen und selbst extreme Schmerzen zu unterdrücken. Tanzen im lauten Wirbel schneller Trommeln kann die körpereigene Drogenfabrik ebenso in Gang setzen wie totale Askese: Fasten, starke Dehydrierung oder auch vollkommene soziale Abschottung. Neben den Endorphinen wurden vor einigen Jahren auch körpereigene *Cannabinoide* entdeckt, Wirkstoffe, die vergleichbar mit Haschisch sind.

### Drogen hätten keinen Effekt, wäre das Gehirn nicht darauf vorbereitet

Drogen hätten keinen Effekt, wäre das Gehirn nicht darauf vorbereitet, auf die Inhaltsstoffe zu reagieren. Drogen verändern die Kommunikation zwischen den Neuronen. Den Schlüssel dazu bilden die Neurotransmitter, die Botenstoffe, über die eine Nervenzelle Informationen an die nächste Nervenzelle weitergibt. Einige Drogen sorgen dafür, dass bestimmte Nervenzellen verstärkt Neurotransmitter ausschütten. Daneben gibt es noch andere Substanzen, die gewissermaßen für die Feineinstellung zuständig sind, so genannte Neuromodulatoren. Sie können beispielsweise den Abbau eines Transmitters unterbinden. Der Transmitter reichert sich dann im Gehirn an. „Wahrscheinlich gibt es 500 bis 1000 Neuromodulatoren, und im Moment sind aber nur zehn bis zwanzig biochemisch erfasst. Bis man das überschaut, wie das bewusste Erleben im einzelnen funktioniert und wie man dieses Wissen pharmazeutisch nutzen kann, wird man wohl noch bis zu hundert Jahren brauchen“, vermutet *Hinderk Emrich*.

### Je besser man das Gehirn versteht, desto leichter ist es zu manipulieren

Doch auch wenn es noch eine Weile dauern wird, die Wissenschaft ist auf dem

besten Weg, das menschliche Erleben zu entschlüsseln. Dies wird nicht ohne Folgen bleiben. Je besser man das Gehirn versteht, desto präziser kann man es auch manipulieren. *Thomas Metzinger*: „Das kann durch radikalisierte neue Formen von Unterhaltungselektronik geschehen, durch neue Medikamente, auch durch neue illegale Drogen. Das bedeutet aber, wir müssen uns rechtzeitig, bevor wir von der Entwicklung überrollt werden, Gedanken darüber machen, was überhaupt gute und wünschenswerte Bewusstseinszustände sind.“ Und schließlich kann man nicht nur das eigene Erleben verändern, sondern auch das Bewusstsein von anderen. Die Werbeindustrie etwa, meint *Metzinger* habe natürlich ein Interesse daran, uns mit Hilfe von Bewusstseinsmanipulationen Kaufwünsche einzupflanzen.

### Eine große politische und pädagogische Herausforderung

All diese Möglichkeiten stellen für unsere Kultur eine große Herausforderung dar. *Metzinger* listet die Probleme in einem Katalog von Fragen auf:

„Welche Bewusstseinszustände wollen wir in unserer Gesellschaft fördern, welche Bewusstseinszustände wollen wir verbieten? Was ist psychologische Gesundheit, was ist pathologisch, was muss man therapieren?“

Und ein ganz heißes Eisen:

„Welche Bewusstseinszustände wollen wir unseren Kindern zeigen, den RTL-Bewusstseinszustand oder den Meditations-Bewusstseinszustand? Welche Arten von bewusstseinsverändernden Drogen wollen wir unseren Kindern zeigen – den Alkohol-Bewusstseinszustand oder den LSD-Bewusstseinszustand?“

*Metzinger* hält es durchaus für überlegenwert, mit Jugendlichen in der Schule Meditationsübungen oder Klartraumtraining zu praktizieren, um sie an einen selbstbestimmten, verantwortlichen Umgang mit ihrem eigenen Erleben heranzuführen.

„In allen Kulturen haben junge Menschen nach diesen Grenzerfahrungen gesucht. Die Frage ist, wie kann sowas auf eine ungefährliche und produktive Weise kanalisieren?“

Er sei allerdings nicht optimistisch, dass diese Vision Wirklichkeit wird. Ihm gehe es um eine „rationale Bewusstseinskultur“. Doch weder die Wissenschaft noch die Philosophie sei derzeit in der Lage, auf all diese Probleme verbindliche Antworten zu geben.

# Herz-Kreislauf-Krankheiten

Die Fortschritte einer leistungsstarken Herzmedizin

Von Kurt Sauerborn

*Kurt Sauerborn arbeitet seit Jahrzehnten als Wissenschaftsredakteur beim Hörfunk, erst beim SDR, dann beim SWR. Er hat sich vor allem einen Namen als Medizin-Redakteur gemacht, nahezu legendär in der Sendung „Ruf Heidelberg ...“ bzw. später „Ruf Mannheim ...“*

**Die Fortschritte der Herz-Kreislauf-Medizin sind beträchtlich: mit Hilfe besserer Diagnose-Techniken, pharmazeutischer Innovationen, der Anwendung minimal-invasiver Operationsmethoden auch auf diesem Gebiet. Xenotransplantationen, etwa von Schweineherzen, treten an die Stelle von Transplantationen der Organe Verstorbener, womit auch das Problem zu geringer Organspenden gelöst würde. Selbst Kunstherzen scheinen in absehbarer Zeit möglich zu sein. Das Leben kann so verlängert werden. Ob es dann aber in jedem Fall noch lebenswert ist, ist eine andere Frage.** Red.

## Ein bevorstehender Platzwechsel auf der Liste der Todesursachen

Überraschungen kommen manchmal aus einer Richtung, die man nun gar nicht erwartet. So wurde im März beim *Deutschen Krebskongress 2000* in Berlin erstmals einer breiten Öffentlichkeit bekannt, dass es nach Einschätzung von Epidemiologen, Medizinstatistikern und anderer Prognostiker im Gesundheitswesen bis zum Jahr 2010 einen Platzwechsel auf der Liste der Todesursachen geben wird. An erster Stelle sollen dann nicht mehr die Herz-Kreislauf-Krankheiten stehen, sondern die Krebserkrankungen.

Diese Voraussage unter Krebsmedizinern ist weder als Eingeständnis mißzuverstehen, in der Tumormedizin werde schlechte Arbeit geleistet noch als Nestbeschmutzung. Nein, gewiss nicht, die Krebsärzte machen ihren Job genau so gut wie ihre Kollegen in anderen medizinischen Disziplinen. Nach wie vor stehen sie freilich vor der Tatsache, daß Krebs eine sehr komplexe Erkrankung ist, die nicht nur ein Organ, sondern den Organismus befällt. Wenn ein Herzchirurg einen *Bypass* anoperiert, sichert er in der Regel auf einen Schlag wieder den Blutfluss zum Herzen. Das Organ Herz und der Körper erholen sich darauf hin. Doch welches Ergebnis kann ein operativer Eingriff in der Tumormedizin bringen? Der Chirurg nimmt ein entartetes Stück Darm weg, aber der Organismus des Patienten leidet unter den längst vorhandenen Metastasen weiter bis zum bitteren Ende.

Fortschritte und Mißerfolge in der Medizin liegen nahe beieinander. Und schon

deswegen sind statistische Voraussagen für das Jahr 2010 mit Vorsicht zu genießen. Doch eines muß man den Krebsmedizinern lassen: Sie zollen ohne Rücksicht auf die Reputation des eigenen Standes den Kollegen vom anderen Fach indirekt ein dickes Lob dafür, welche Erfolge die Herzmedizin jetzt schon und erst recht künftig vorzeigen kann, unabhängig davon, ob die Prognose stimmt oder nicht. Deswegen folgen hier – beispielhaft – einige Beweise dafür, dass an der epidemiologischen Prophezeiung: „Platzwechsel auf der Liste der Todesursachen“ einiges stimmen kann.

## In der Diagnose: Herzkatheter adé?

Beim *Deutschen Röntgenkongress* im Mai 2000 in Wiesbaden überschlugen sich auch gestandene Experten mit positiven Werturteilen über Röntgenbilder, die mit einer weiterentwickelten Technik der *Computertomografie* (CT) entstanden waren. Von einer „bisher nie dagewesenen Bildqualität“ sprachen sie. Und der Erstanwender dieser Technik, Prof. Dr. *Maximilian Reiser*, Direktor des *Instituts für Radiologische Diagnostik* am Klinikum Großhadern in München schwärmte: „Ich habe mich lange genug mit der Computertomografie beschäftigt, aber was diese Röntgentechnik jetzt leistet, das ist einfach faszinierend“. Was ist passiert?

Die CT liefert bekanntlich Schnittbilder aus dem menschlichen Körper. Ohne banal zu werden, kann man diese Aufnahmetechnik durchaus mit dem Aufschneiden einer Salami vergleichen. Erst wenn man geschnitten hat und eine Scheibe betrachtet, weiß man einiges über die Qualität der Wurst: wie grob oder fein ihre Bestandteile sind, wieviel Fleisch oder Fett sie enthält usw.

Um bei der CT ein solches Schnittbild des Menschen zu erhalten, umkreist eine Röntgenröhre den Patienten, der auf einem Schlitten liegt und langsam unter dem Strahlenkreis durchgeschoben wird. Bei der neuen, weiterentwickelten CT-Technik ziehen nun vier Röntgenquellen für gleichzeitig vier Schnittbilder ihre jetzt spiralförmigen Kreise um den Patienten. Der muß 25 bis 35 Sekunden den Atem anhalten und fertig sind die Schnittbilder. Pro Bild ist die aufgenommene Körperschicht nur 1mm dünn, das heißt die Bildauflösung mit all den Details, die da sichtbar werden, ist exzellent. Jedes der Bilder wird mit aufwendigen Rechenprogrammen digitalisiert, landet also im Computer. Und der Betrachter am Monitor hat nun alle Möglichkeiten, sich zu informieren. Er schaut sich beispielsweise das Herz und die Herzkranzgefäße dreidimensional in Gesamtansicht an,

dreht und wendet das Bild nach allen Richtungen oder er holt sich ein Detail heraus, etwa die Innenansicht eines Blutgefäßes. Und spätestens jetzt horchen auch Experten auf. Die hohe Bildauflösung der neuen CT-Technik ermöglicht Innenansichten von Blutbahnen. Endoskopie aus Blutgefäßen ohne Optik, ohne Katheter. Zwar konnte man bisher schon mit Ultraschall-Sonden, die in die Speiseröhre eingeführt werden, Innenansichten des Herzens und großer Blutgefäße sichtbar machen, aber die Bildauflösung reicht dabei nicht für Details. Jetzt ist der Zustand der Gefäßwände zu betrachten und zu beobachten, wieviel von einer Blutbahn verschlossen ist und womit. Die Herzmediziner sagen: „Wir kriegen nicht nur eine quantitative, sondern auch eine qualitative Aussage über den Gefäßverschluss“.

## Die neuen Diagnosemöglichkeiten werden die Herzmedizin in vielerlei Hinsicht verändern

Die hoch auflösenden CT-Bilder werden die Herzmedizin in vielerlei Hinsicht verändern.

1. eignet sich diese Technik als *nicht-invasive Diagnostik*, um das Arteriosklerose-Risiko und damit die Gefahr eines Herzinfarkts abzuschätzen. Nicht-invasiv heißt, der Körper muß nicht wie bei einer Untersuchung mit dem Katheter mit einem Schnitt geöffnet werden. Genau das geschieht ja bei einem Katheter, der mit einer Körperöffnung in der Leistengegend durch die Blutbahn bis zum Herz vorgeschoben wird, eine nicht ganz risikoarme Prozedur. Die neue Technik arbeitet dagegen berührungslos und sogar mit einer etwas geringeren Strahlenbelastung als bei der herkömmlichen CT.

2. Der Herzkatheter wird zumindest in dem Teil seines Einsatzbereichs an Bedeutung verlieren, in dem es um die Inspektion von Blutgefäßen geht. Dies führt zu einer *Umverteilung von Kompetenzen und Pfünden* in der Medizin. Das Katheterisieren war bisher eine Domäne der Kardiologen. Reiser hat in weiser kollegialer Taktik die neuen Anwendungen in Zusammenarbeit mit Kardiologen entwickelt, nicht gegen sie.

3. Die *Kosten* für ein Computertomogramm der neuen Art belaufen sich auf 400,- DM, für eine Untersuchung mit dem Katheter einschließlich des dafür notwendigen, wenn auch nur kurzen stationären Aufenthaltes auf rund 2000,- DM. Seit 1 ½ Jahren läuft in München eine Studie mit der neuen Methode an 70 Patienten. Bis-

her waren im Vergleich Katheter gegen CT 90% der Bilder deckungsgleich. Gesundheitspolitiker und Kassen werden aufmerksam werden.

4. Die neue CT-Technik ist ein Musterbeispiel dafür, wie wertvoll und erfolgreich *interdisziplinäre Zusammenarbeit* unter Wissenschaftlern sein kann. Kein Blockdenken, keine Lagergrenzen, Kooperation über das eigene Fach und den eigenen Horizont hinaus. Und davon profitieren Patienten und die Herzmedizin. Die hohe fachliche Aussagekraft der Bilder und die vergleichsweise geringen Diagnosekosten werden dafür sorgen, daß bestimmte Herz-Kreislauf-Leiden, wie eben die Arteriosklerose, früh erkannt und eine große Zahl von Herzinfarkten vermieden werden können.

Andere bildgebende Verfahren werden natürlich ebenfalls technisch weiterentwickelt, so dass auch von der *Ultraschall-Echokardiografie* wie auch von der *Kernspintomografie* – beide Verfahren arbeiten ohne Röntgenstrahlen – künftig bessere Bilderergebnisse zu erwarten sind. Die Industrie als Motor des Fortschritts schläft nicht.

### Medikamente fürs Herz: Was heißt eigentlich noch Kontraindikation?

Nie zuvor wurden soviel eherne Regeln der medikamentösen Herztherapie außer Kraft gesetzt wie in den letzten 5 bis 10 Jahren. Und das ist auf die stürmische Medikamentenentwicklung zurückzuführen. Salopp formuliert handelt die Pharmaindustrie auch schon mal nach der Devise: Wir haben einen neuen Wirkstoff, jetzt brauchen wir nur noch eine Krankheit dafür. Und diese neue Substanz muß schnell auf den Markt. Folglich wird sie für möglichst wenige medizinische Indikationen amtlich zugelassen. Denn je mehr Indikationen desto länger laufen die erforderlichen klinischen Prüfungen und desto komplizierter wird der Akt der amtlichen Zulassung. Diese Zulassung hat als verbindliche Richtlinie therapeutische und juristische Konsequenzen. Wer beispielsweise als Arzt ein Medikament gegen Herzschwäche verschreibt, das aber nur zur Behandlung von Bluthochdruck zugelassen ist, der gerät in die Nähe eines justitiablen Kunstfehlers, wenn auf dem Beipackzettel die Herzinsuffizienz ausdrücklich kontraindiziert ist. Doch nicht einmal mehr auf einst eherne Regeln ist Verlaß in der Herzmedizin.

Beispiel *Betablocker*. Für die Entdeckung dieser Wirkstoffgruppe gegen Bluthochdruck ist einmal der Nobelpreis verliehen worden. Kontraindikation Herzschwäche. Bis sich Amerikaner noch einmal das Wirkprofil eines bestimmten Betablockers, der in Deutschland entwickelt worden war, genauer angeschaut haben. Ergebnis: Einige Präparate mit Betablockern eignen sich hervorragend gegen die Herzinsuffizienz.

Beispiel *ACE-Hemmer*. Diese Wirkstoffgruppe ist wesentlich jünger auf dem Markt als die Betablocker und war anfänglich auch nur gegen die Hypertonie,

den Bluthochdruck, im Einsatz. Jetzt ebenfalls gegen Herzschwäche.

Und an die *Kombination beider Wirkstoffgruppen* trauten sich Kardiologen jahrelang schon gar nicht heran, nach dem Motto: Das macht man nicht, Betablocker mit ACE-Hemmern zu kombinieren, denn es könnte theoretisch Komplikationen geben. Eine weitere, jetzt überholte Einstellung zugunsten vor allem von Patienten mit schwerer Herzschwäche.

### Pharmazeutische Innovationen

Noch einmal hinzuschauen in vorliegende Forschungsergebnisse, sie zu überprüfen, neu nachzudenken und einen anderen Therapieansatz als bisher zu suchen, wenn auch nur mit etwas geänderter Wirkstoffdosierung, wie das bei dem Betablocker der Fall war, das lohnt sich oft. Und es lohnt sich natürlich auch, neue Wirkstoffgruppen zu entwickeln.

Beispiel: die *Statine*. Sie haben für Furore gesorgt in den letzten Jahren. Das sind jene Substanzen, die den Fettstoffwechsel günstig beeinflussen, den *Cholesterinpegel* senken, die *Triglyceride* in Schach halten, an der Innenwand der Blutgefäße verhindern, dass sich Beläge bilden usw. Mit solchen Substanzen ist ein wesentliches Risiko für Herzinfarkt, nämlich zu hohe Blutfettwerte, auszuschalten.

Pharmazeutische Innovationen, immer spezifischer wirkende und wenigstens nebenwirkungsarme, wenn schon nicht -freie Präparate, tragen also wesentlich zu den Erfolgen der Herzmedizin bei. Medikamentös gut eingestellte Patienten mit schwerer Herzinsuffizienz, um bei diesem Beispiel zu bleiben, entgehen jahrelang einer Herztransplantation oder dem Tod. Und die positive Entwicklung wird weiter gehen. Erinnert sei nur an die zahlreichen Ansätze mit der Gentherapie, die sich zum Teil schon in der klinischen Prüfung befinden.

Beim Kongress der *Sektion Herzkreislauf-Forschung der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie* im April 2000 in Mannheim berichtete Prof. Dr. *Günter Breithardt*, Präsident der Kardiologen:

„Wir haben in den Altersgruppen der 50-60 und der 60-70jährigen in den letzten 10 – 20 Jahren schon einen Rückgang in der Sterblichkeit statistisch für alle Herzleiden um 30-40% zu verzeichnen. Das sind dramatische Erfolge. Nur ist das ein sehr enger Blickwinkel auf ein bestimmtes Alter und zu pauschal im Bezug auf alle Herzerkrankungen. Wenn man genau differenziert, liegen die Zahlen deutlich niedriger, aber auch das ist schon ein Fortschritt“.

### Herzchirurgie: kleiner Ritz statt großer Schnitt?

Bei diesem Thema ist in der Herzchirurgie ebenso wie in der allgemeinen Chirurgie noch ein großes Lagerdenken zu spüren, und was für eines. In diesem Jahr werden weniger als 5% aller Herzoperationen *endoskopisch*, also mit einem *minimal-invasiven* Eingriff operiert. Ein schonender Eingriff ist längst üblich am Knie, der Gallenblase, den Eierstöcken, nur in der Herzchirurgie wird dieses Verfahren zögerlich

angenommen. Das hängt damit zusammen, wie ein Herzchirurg ausgebildet ist, welche Operationstechniken er gelernt hat, ob er lieber ein großes Operationsfeld vor sich sehen möchte oder sich quasi mit einem Blick durch ein Schlüsselloch in das Körperinnere begnügt. Und es hängt heutzutage vor allem damit zusammen, welches Verhältnis er zur Technik und speziell zur Computertechnik hat. Es gibt also auch eine *Generationenfrage*, Orthopäden haben mindestens schon 10 Jahre Erfahrungen sammeln können mit modernen Operationsmethoden.

Leider noch viel zu wenig berücksichtigt werden die *Wünsche der Patienten*, denn: großer Schnitt bedeutet Öffnung des Brustkorbs über eine Länge von 30 bis 40 cm, Durchtrennen von Knochen, lange Liegezeit in der Klinik, Schmerzen. Minimal-invasiv operierte Herzpatienten können oft nach einer Woche nach Hause, erreichbares Traumziel, sagen deren Verfechter: 2 bis 3 Tage. Kleiner Ritz heißt: drei jeweils 1 cm große Löcher durch die Haut und zwischen die Rippen hindurch, durch die technische Miniatur-Instrumente in den Brustkorb eingeführt werden. Operationswerkzeuge, Glasfasern mit Licht zum Ausleuchten des Operationsfeldes, eine Videoptik usw. Der Chirurg arbeitet nur über Bilder, die er auf einem Fernsehmonitor sieht. Vorteil dieses Verfahrens: patientenschonender Eingriff, kurzer Klinikaufenthalt, wenig Schmerzen. Nachteil: bei akuten Komplikationen während dieses minimal-invasiven Eingriffs müssen die Herzchirurgen auf die große Brustkorböffnung umsteigen.

Diese Art von Herzchirurgie wird inzwischen technisch aufgerüstet. An vier Herzzentren in der Bundesrepublik wird nicht nur minimal-invasiv operiert, sondern von einem *Roboter* gesteuert. Zwei dieser Zentren, Dresden und Leipzig, nehmen für sich in Anspruch, weltweit führend zu sein mit dieser Operationsmethode. Bei dem Herzchirurgen-Kongress in Luzern im Februar 2000 zog Prof. Dr. *Friedrich Wilhelm Mohr* vom *Herzzentrum Leipzig* einen historischen Vergleich:

„Vor 100 Jahren haben die Chirurgen mit den gleichen Instrumenten operiert wie heute, Skalpell, Zange, Pinzette usw. Inzwischen sind zwar die Operationsmethoden verfeinert worden, aber wir benutzen noch die gleichen Werkzeuge wie damals. Ebenfalls vor 100 Jahren hat Carl Benz das erste Auto gebaut mit Blechschere, Zange, Hammer, Schraubenschlüssel usw. Und nun sehen Sie sich mal eine moderne Automobilproduktion von heute an. Da produzieren Maschinen Autos, hochpräzise Roboter, die vieles viel besser können als der Mensch.“

In der Tat ist hinreichend bekannt, dass Roboter und Roboterinnen nicht verheiratet sind, also nicht morgens schlechter Laune in den Dienst kommen, dass ihre Hände nicht zittern, weil sie vor dem Dienst Tennis gespielt oder am Abend zuvor zuviel Alkohol getrunken haben und dass sie nicht nach einem falschen Handgriff ausflippen, wie das bei einem Menschen ja vorkommen kann. Umgekehrt fehlt dem Roboter in der Chirurgie das

taktile Feingefühl der menschlichen Hand, der Tastsinn, der bei Operationen darüber Auskunft gibt, wie fest ein Körpergewebe beschaffen ist und mit welchem Druck deswegen das Messer geführt werden muss. Im Moment noch fehlt dieses Feingefühl dem Roboter, denn derzeit entwickelt ein *Fraunhofer-Institut* einen Druck-Sensor für robotergestützte Operationen. Die technisch zweite Phase der minimal-invasiven Eingriffe hat begonnen, sagt *Mohr*: „Die endoskopischen Eingriffe am Herzen, wie sie bisher vorwiegend vorgenommen werden, entsprechen in Analogie wie beim Chinesen zu essen. Mit Stäbchen.“

In dieser Situation beziehen nun beide Lager in der Herzchirurgie ihre Position: Die konventionell orientierten Chirurgen bleiben nach wie vor bei der großen Brustkorböffnung, die progressiven setzen auf technische und digitale Aufrüstung. *Mohrs* Kollege vom *Herzzentrum Dresden*, Prof. Dr. *Stephan Schüler* meint: „Gut, wenn wir die Hände des Chirurgen im Brustkorb des Patienten brauchen, dann bringen wir die auch dort hinein, aber ohne große Körperöffnung“.

### **Robotik in der Herzmedizin: drei computergesteuerte künstliche Chirurgenarme**

Wer einen Operationssaal von innen kennt, wenn auch nur aus einem einigermaßen milieugerechten Film, der sollte sich von diesem Bild und Eindruck schnellstmöglich trennen. Der Herzchirurg von heute, der robotergestützt operiert, sitzt vor einer Konsole genannten Einrichtung, die man auch mit dem Wort *Steuerpult* beschreiben könnte. Er blickt auf ein großes, dreidimensionales Bild, und seine Hände greifen an Tasten und Steuerknüppel. Über eine „digitale Strecke“, also mit Datenübertragung bewegt er Operationswerkzeuge einschließlich Zubehör. Diese Werkzeuge sind Manipulatoren, technische Verlängerungen der Arme und Hände des Chirurgen. Ebenso die Finger, die aus mehrgliedrigen Stahlgelenken bestehen und mit sechs Freiheitsgraden schwenkbar sind. Arme, Hände und Finger des Chirurgen stecken technisch miniaturisiert, damit sie durch ein jeweils 1 cm großes Loch passen, tatsächlich im Brustkorb des Patienten. Und der liegt mehrere Meter vom Steuerpult entfernt auf einem Operationstisch. Wenn der Herzchirurg aus der Ferne nun den digitalen Befehl gibt: „Messer 2 mm nach unten, aber Handgelenk dabei um 3 Grad drehen“, dann führt der Roboter diese Anweisung präzise aus. Auch den nächsten Befehl: „das gleiche, nur jetzt 3 mm weiter rechts und Handgelenk in Gegenrichtung“. Für den guten Blick in das Körperinnere sorgen hervorragende Kleinst-Objektive, die besser als manches menschliche Auge sehen und eine bis zu 10fache Vergrößerung des Objektfeldes ermöglichen. Präzise wie nie zuvor lässt sich mit dieser Technik operieren, sagen ihre Verfechter. *Mohr* und *Schüler* wissen, dass sie ihre skeptischen Kritiker im Lager der konventionellen Herzchirurgie und letztlich auch die Patienten nur dann von

den neuen Methoden überzeugen können, wenn sie Operationserfolge vorweisen, die mit denen konventioneller Herzchirurgie mindestens identisch sind. Und diese Daten haben sie inzwischen. Bewährt hat sich die neue Methode vor allem bei Operationen an den Herzkranzgefäßen – die stellen mit rund 75% ohnehin den größten Anteil in der Herzchirurgie dar –, aber auch schon an Herzklappen und bei angeborenen Herzfehlern.

Kein Vorteil ohne Nachteil, wobei die Akzente eindeutig gesetzt sind: es gibt keine entscheidenden Nachteile mehr in fachlich, herzchirurgischer Hinsicht, sondern in der technischen Handhabung der Geräte. „Die Operationen dauern einfach noch zu lang“, räumt *Schüler* ein, „die Präzision, mit der wir die künstlichen Arme und Hände führen müssen, erfordert Zeit. Wir müssen die Operationen auch völlig anders planen als konventionell. Denken Sie nur daran, dass der Chirurg nicht wie im realen Operationssaal keinen Assistenten hat.“ Und damit ist das Geheimnis gelüftet, warum der Roboter-Chirurg mit drei Armen arbeitet. Der dritte ist der digitale Assistent, der z.B. eine Körperhöhle spreizt. Sogar ein vierter Arm im Brustkorb ist bei komplizierten Eingriffen einsetzbar. Und damit öffnet sich eine völlig neue Dimension der robotergestützten Herzoperationen. Es arbeiten zwei Herzchirurgen gleichzeitig an verschiedenen Steuerpulten in der Brust des gleichen Patienten. Es gilt also noch viel zu lernen, viel zu experimentieren mit diesen neuen Operationsmethoden, und deswegen können sich konventionelle Chirurgen-Kollegen noch beruhigt zurücklehnen: so schnell wächst da keine ernst zu nehmende Konkurrenz heran. Und sie nehmen ein weiteres Argument zum Beschwichtigen für sich in Anspruch. In den USA, dem Schrittmacherland des Fortschritts, sind diese neuen robotergestützten Herzoperationen von der amerikanischen Aufsichtsbehörde FDA noch nicht zugelassen. Diese Tatsache hat auch bei uns schon in Ethik-Kommissionen entsprechender medizinischer Fachgesellschaften Diskussionen ausgelöst, mit vorläufig unentschiedenem Ausgang. *Stephan Schüler* ist optimistisch:

„Wir haben bewiesen, daß man eine komplexe Bypassoperation über drei 1 cm große Schnitte fachgerecht machen kann. Allein diese Tatsache zeigt, wohin die Richtung geht. Und das ist erst der Anfang.“

### **Im Interesse des Patienten**

Dass sich die Herzchirurgie in Richtung minimal-invasiver Eingriffe bewegt, kann nur im Interesse der Patienten liegen. Sie wünschen sich schonende Verfahren, die den Gesamtorganismus wenig belasten, nicht nur kurze Liegezeiten und wenig Schmerz. Und ein Kriterium für organismusschonende Operationen ist, ob eine *Herz-Lungen-Maschine* (HLM) für eine Operation verwendet werden muss oder nicht. Diese Maschine rettet zweifellos Leben, hat also einen hohen Stellenwert in der Herzmedizin, aber sie belastet auch den Körper, weil z.B. während der Opera-

tion das Blut in diesen Apparat ausgeleitet wird. Das hat Folgen für das Blutbild und für die Abwehrkraft des Patienten, für sein Immunsystem. Der Patient braucht außer der Operation zusätzliche begleitende medikamentöse Therapien, die solche Mängel wieder ausgleichen, aber sehr teuer sind. Und schaut man sich nun einmal die Leistungsbilanz der deutschen Herzchirurgie für das Jahr 1999 an, dann stehen da interessante Zahlen: an allen rund 122 000 konventionellen Herzoperationen war rund 97 000 mal die HLM beteiligt, also mit einem überwiegenden Anteil. Bei den rund 3 900 minimal-invasiven Eingriffen ist das Verhältnis genau umgekehrt: bei 2 900 davon war die HLM nicht nötig. Also der überwiegende Teil verlief hier schonend. Es ist völlig klar, daß sich nicht alle Herzleiden für einen minimal-invasiven Eingriff eignen und schon deswegen die HLM statistisch überproportional erscheint. Man kommt oft nicht ohne sie aus, aber der Trend für Vorteile des anderen Verfahrens ist genau so deutlich.

### **Statt Transplantation Kunstherz?**

Den *Tod auf der Warteliste* gibt es noch immer, nicht nur in Deutschland, obwohl hier der Operationsstau in den letzten Jahren deutlich abgebaut werden konnte. Doch die Zahl der Organspenden ist rückläufig. Folglich sank die Zahl der Herztransplantationen von rund 550 im Jahr 1997 auf 500 im Jahr 1999. Nach einer Statistik der europäischen Koordinationsstelle für Transplantationen *Eurotransplant* starben 1998 20% der Patienten auf der Warteliste für Herztransplantationen, 30% auf der für Lungenübertragungen und 40% auf der für die kombinierte Herz-Lungen-Verpflanzung.

Damit die Patienten den Zeitpunkt der für sie lebensnotwendigen Transplantation erreichen und nicht früher sterben, mussten in den letzten Jahren die Herzchirurgen immer mehr die Hilfe der Technik in Anspruch nehmen. Und tatsächlich gelang es in 75 bis 80% der Fälle mit technischen Systemen, die Wartezeit zu überbrücken, bis das passende Spenderherz eintraf. Doch diese Lebenserhaltungssysteme waren und sind sperrige Apparate, an die ein Patient über Leitungen angeschlossen ist. Die Energieversorgung, sprich die Batterie, muß auf Rädern neben dem Kranken hergezogen werden. An der Schnittstelle Mensch-Maschine, also dort wo die Kabel in den Körper eindringen, besteht immer die Gefahr einer Infektion mit Entzündung. Und das Risiko einer Embolie ist hoch, weil sich in dem maschinell umgewälzten Blut Gerinnsel bilden können. Ein Risiko, das auch schon von den mechanischen Herzklappen her bekannt ist. Immer wenn Blut mit einer fremden Oberfläche in Berührung kommt, neigt es zur Gerinnung. Ein solches System kann also, um möglichst alle Risiken gering zu halten, nur wörtlich „Leben erhalten“ bis zur hoffentlich möglichen Transplantation.

Von einem echten Kunstherzen lässt sich eigentlich erst seit November 1999 sprechen. Da hat nämlich weltweit erstmals Prof. *Rainer Körber* im *Herzzentrum Bad*

Oeynhausener ein kompaktes technisches Gebilde in einen Menschen eingebaut, eine Pumpe mit integrierter Stromversorgung. Für diese Einpflanzung von Technik wählt er nur Patienten aus, die nicht auf der Warteliste stehen, denen nicht einmal mit einer Transplantation zu helfen wäre, weil sie multimorbid sind und die nicht vertragen würden oder gegen Medikamente allergisch reagieren, die später nach der Organübertragung zur Unterdrückung der Körperabwehr fällig wären. „Wenn wir jetzt nachweisen können, daß wir solchen Menschen, die keine Chance zum Überleben haben, mit dieser implantierbaren kompakten Technik helfen können“, sagt Körber, „dann sind wir auf dem Weg zur Dauerlösung und damit zu einer technischen Alternative zur Organ-Transplantation. Wenn Sie mal zurückdenken und sich an die ersten 100 Einsätze schwerfälliger Maschinen erinnern, an die Menschen angeschlossen waren, das ist gar nicht so lange her, da betrug die Überlebenszeit im Schnitt 29 Tage. Mit solchen Ergebnissen würden Sie heute bei jeder Ethik-Kommission durchfallen, die über den Einsatz der Therapie zu entscheiden hat“.

Körbers Patienten haben mit dem voll implantierbarem Kunstherz inzwischen Monate überlebt. Über die Lebensqualität der betroffenen Patienten gibt es freilich unterschiedliche Aussagen. Man könne sich mit einem solchen Kunstherz ins Auto setzen und selbst nach Sizilien fahren, wenn man nur das Aufladen der Herzbatte nicht vergisst, ist zu hören. Duschen und schwimmen sei möglich, weil der Körper nicht wegen Leitungen und Schläuchen nach außen offen ist. Doch genau dieses Aufladen als Symbol dafür, wie abhängig man von der Technik ist, so die andere Meinung, drücke doch sehr auf die Seele. „Alle halbe Stunde an die Steckdose zu müssen und den eingepflanzten Akku durch die Haut hindurch nachzuladen, läßt kein Freiheitsgefühl aufkommen“. Hier hilft die Technik weiter. Inzwischen gibt es für dieses Kunstherz Akkus mit einer Kapazität von 4 Stunden und die Batterien werden immer kleiner. Interessanterweise kommen diese Kunstherzen aus den USA nach Bad Oeynhausener. „Weil unsere Klinik eine große Erfahrung hat sowohl mit lebenserhaltenden Systemen als auch mit Transplantationen, können wir hier die neueste Technik testen. Unter Murren der Aufsichtsbehörden in den Staaten, denn die Entwicklung dieses Kunstherzes ist mit öffentlichen amerikanischen Geldern gefördert worden. Es bleibt wohl nur eine Frage der Zeit, bis wir die Maschinchen kaufen müssen,“ argwöhnt Körber. Doch er tröstet sich gleich mit der internationalen Reputation, die er mit den ersten Einpflanzungen von Kunstherzen gewonnen hat:

„Es gibt sicher auch in den USA Spitzenkliniken, aber dass wir hier mitmischen können, beweist, dass die deutsche Herzmedizin generell international an der Spitze liegt.“

Die ersten 10 Kunstherzen kommen kostenlos nach Deutschland, hier werden lediglich die Operationskosten bezahlt. Nach den Tests soll ein Kunstherz zwischen

100 000,- und 150 000,- DM kosten, soviel wie eine Transplantation. Und Kunstherzen, die andere Hersteller gerade entwickeln, sorgen für Wettbewerb. Inzwischen ist in Freiburg sogar einem dreijährigen Mädchen ein Kunstherz eingepflanz worden.

### Von Schweinen und Menschen: Xenotransplantationen

Nein, keine Affen, keine menschenähnlichen Primaten sind mehr als Organlieferanten für Menschen vorgesehen, sondern Schweine. Und das aus zwei Gründen: Schweine stehen in ausreichender Menge zur Verfügung, und sie lassen sich genetisch so manipulieren, daß ihre Organe weniger als üblich bei Fremdkörpern vom Menschen abgestoßen werden. Unter einer wichtigen Voraussetzung freilich: nicht nur das Schwein muß dann als so genanntes „transgenes“ Tier biologisch auf Menschen angepasst werden, sondern umgekehrt im gewissem Umfang auch der Mensch auf Schweineorgane. Der Herzchirurg Prof. Axel Haverich von der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH), ein Pionier der Xenotransplantationen, also der Übertragung artfremder Organe auf Menschen, benutzt für diese Aufgabe einen Fachbegriff:

„Hier lautet das Stichwort, das wahrscheinlich den Durchbruch bringen wird, Toleranzinduktion. Wir müssen den Empfänger eines solchen Organs vorher sozusagen impfen. Wir brauchen eine neue Taktik, für solche Fälle die Organabstoßung zu verhindern.“

Konkret heißt das: Ob ein Organ abgestoßen wird oder nicht, entscheidet sich auf der Oberfläche von Körperzellen. Dort sitzen Eigenschaften und Merkmale, die diesen unerwünschten Prozess in Gang bringen. Beim Spender Schwein ist die Sache relativ einfach. Mit modernen Methoden der genetischen Manipulation lassen sich *transgene Schweine* züchten, also Tiere mit Zelleigenschaften, die über ihre Art hinausgehen und in diesem Fall menschlichen Körperzellen ähneln. Auf der anderen Seite wird es wohl keinen transgenen Menschen geben. Der wird nicht als verfügbare Masse gezüchtet werden. Aber trotzdem muß die Körperabwehr des Organempfängers Mensch auch auf das Fremdtransplantat eingestellt werden, indem beispielsweise mit dieser Art Impfung seine Immunreaktion gedämpft wird. Es sind also als zweiter Schritt menschliche Körperzellen gefragt, die menschenfreundliche Schweinezellen akzeptieren. Mit dem vornehmen Begriff der Toleranzinduktion wird also als Gentaktik der Mensch – mit Verlaub – in seinen Zellmerkmalen etwas schweineähnlicher gemacht als er von Natur aus ist, wenn auch nur zeitlich begrenzt.

### Da schlägt der Zeitgeist zu: die Tierschützer

In dieser Situation schlägt nun mit seiner bekannten Erbarmungslosigkeit der Zeitgeist zu. Haverich: „Die Tierschützer wehren sich, ich muß schon sagen mit Händen und Füßen gegen die Xenotransplanta-

tion. Spricht man aber mit professionellen Ethikern, dann wird unser Konzept durchaus anerkannt. Und nach Meinungsumfragen wäre mehr als die Hälfte der Bevölkerung bereit, im Notfall ein Schweineorgan zu akzeptieren“.

Die Tierschützer krakeelen also zugunsten der Schweine; dass der Organempfänger Mensch manipuliert werden muss, dagegen haben sie nichts. Im Zusammenhang damit stellen sich doch wohl einige *grundsätzliche Wertefragen*:

wer geht eigentlich auf die Straße, um für das Überleben, für Organspenden zu demonstrieren? Wer geht auf die Straße, um todkranken Menschen zu helfen? Warum hat noch kein Gesundheitspolitiker lautstarke Ideologen gefragt: Wenn Ihr keine Tierversuche wollt, die zweifellos in Zahl und Anwendung reduziert werden müssen und können, aber im Prinzip unersetzlich bleiben, wenn Ihr also diese Versuche nicht wollt, warum gebt Ihr dann nicht Eure Babys dafür her? Fehlt nicht in unserer Gesellschaft eine grundsätzliche Wertediskussion, was ist uns in der Medizin wert? Fragen, die nicht nur Anhänger der Schöpfungstheorie oder der Evolutionstheorie gleichermaßen angehen sollten wie Religionsfanatiker und Atheisten. Und es sind Fragen, die bei der Finanzierung von Gesundheit und Krankheit beginnen, über das akzeptable Machbare oder unwürdige Abweisbare in der Medizin hinausgehen bis hin zu Problemen mit dem Therapieabbruch und Gnadentod.

Bei der Xenotransplantation tauchen nicht nur Probleme in neuer ethischer Dimension auf, es besteht außer dem Abstoßungsrisiko mindestens noch ein anderer fachlicher Zweifel. Bisher sind mit Versuchen schon erste Bedenken ausgeräumt worden, daß mit Tierorganen auch Erreger von Tierkrankheiten auf den Menschen übertragen werden können. Eine endgültige Aussage dazu soll es Ende des Jahres 2000 geben, wenn zwei große Studien mit Großtieren dazu abgeschlossen sind. Axel Haverich ist optimistisch, denn bisher konnten in den notwendigen vor-klinischen Prüfungen alle Infektionszweifel ausgeschlossen werden. Sorge machen ihm vielmehr aus Tierversuchen die noch geringen „Standzeiten“ übertragener Xenotransplantate. Eine Niere funktioniert bisher nur etwa 3 Monate, ein Herz nur 1 Monat und eine Lunge nur wenige Wochen. Mit solchen Daten ist eine Xenotransplantation auf den Menschen im klinischen Versuch keineswegs zu verantworten. Doch die Forschungsergebnisse der letzten beiden Jahre ermutigen, sagt Haverich: „Es ist nur eine Frage der Zeit, bis sie kommt“.

### Fazit: Heißt länger leben gesünder leben?

Bisher ist aus epidemiologischen Vorhersagen bekannt, dass in 10–20 Jahren die Menschen in den hochentwickelten westlichen Ländern im Durchschnitt der Bevölkerung um zwei bis drei Jahre länger leben. Im Durchschnitt heißt: Für ein Individuum kann das auch mal 10 Jahre länger bedeuten. Der Zeitpunkt des Todes wird in jedem Fall hinausgeschoben. Aber in den

gewonnenen Lebensjahren, die hoffentlich mit den Fortschritten beispielsweise der Herzmedizin erzielt werden, lebt der Mensch keineswegs ohne Krankheiten, im Gegenteil. Um nur die schlimmsten der bekannten Alterskrankheiten zu nennen: Krebs und Alzheimer. Wie lebenswert also ein längeres Leben ist, hängt ganz eindeutig von der Lebensqualität ab. Und hohes Alter bedeutet auch keineswegs frei zu sein vom Risiko einer Herz-Kreislauf-Krankheit. Wenn man nun Krankheits-

jahre, in denen ein alt gewordener Mensch möglicherweise dahinsiecht, als verlorene Jahre in Zukunftsprognosen einbezieht, dann sagt Prof. *Günter Breithardt*, Präsident der *Deutschen Gesellschaft für Kardiologie*:

„Dann sieht alles nicht so blendend aus. Die Weltgesundheitsorganisation WHO und die Weltbank haben vor ungefähr drei Jahren eine umfassende Studie vorgelegt, nach der im Jahr 2020 die Herz-Kreislaufkrankheiten nach wie vor an der

Spitze der Todesursachen stehen, gerade weil die Menschen älter werden.“ Paradox? Kehrseite des medizinischen Fortschritts? Nein, Jahre des Siechtums werden von den Betroffenen kaum als gewonnene Lebensjahre empfunden werden. So bleibt die Hoffnung auf andere medizinische Fachdisziplinen und deren Fortschritte, die Lebensqualität garantieren. Die Pille für ewiges Leben „ist ja schon in der Mache“. Das war sie eigentlich immer.

Dieses Bild kann aus  
urheberrechtlichen Gründen  
nicht angezeigt werden

Die Wirtschaftsaussichten für Deutschland sind zur Zeit glänzend: Viele Unternehmen steigern Jahr um Jahr ihre Gewinne, die Bevölkerung begeistert sich für Aktien und die Konjunktur zieht kräftig an. Die Umwelt liegt dagegen allerdings eher schlecht im Kurs. Denn nicht nur das öffentliche Interesse am Thema Umweltschutz hat merklich nachgelassen, auch die Industrie hat ihre finanziellen Bemühungen zur Bewahrung unserer Umwelt deutlich zurückgefahren: So sind die Investitionen in den Umweltschutz von 5,08 Milliarden Mark im Jahr 1996 auf 3,29 Milliarden Mark im Jahr 1998 gesunken – ein Minus für die Umwelt von knapp zwei Milliarden Mark. Das Schwergewicht der Investitionen lag auf der Luftreinhaltung mit 1,33 Milliarden Mark und auf dem Gewässerschutz mit 1,2 Milliarden Mark. Globus

Die Zeitschrift „Der Bürger im Staat“ wird herausgegeben von der LANDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG Baden-Württemberg.

Direktor der Landeszentrale: Siegfried Schiele

Schriftleiter: Prof. Dr. Hans-Georg Wehling, Stafflenbergstraße 38, 70184 Stuttgart, Telefax (07 11) 16 40 99-77.

Herstellung: Schwabenverlag AG Ruit, Senefelderstraße 12, 73760 Ostfildern (Ruit),  
Telefon (07 11) 44 06-0, Telefax (07 11) 44 23 49

Vertrieb: Verlagsgesellschaft W. E. Weinmann mbH, Postfach 1207, 70773 Filderstadt,  
Telefon (07 11) 7 00 15 30, Telefax (07 11) 7 00 15 31.

Preis der Einzelnummer: 6,50 DM, Jahresabonnement 25,- DM Abbuchung.

Die namentlich gezeichneten Artikel stellen nicht unbedingt die Meinung der Redaktion dar. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte übernimmt die Redaktion keine Haftung.

Nachdruck oder Vervielfältigung auf Papier und elektronischen Datenträgern sowie Einspeisung in Datennetze nur mit Genehmigung der Redaktion.

Noch nimmt die Zahl der Erkrankungen zu

# Krebs im 21. Jahrhundert

Prävention – Früherkennung – Neue Therapien

Von Stefanie Seltmann

*Dipl.-Biologin Dr. rer. nat. Stefanie Seltmann hat am Deutschen Krebsforschungszentrum in Heidelberg promoviert. Sie ist Redakteurin der SWR-Wissenschaftsredaktion Hörfunk, Baden-Baden.*

**Krebs hat viele Ursachen, von denen ein Großteil auf Eigenverschuldung beruht: Das Rauchen ist davon die bekannteste. Durch Früherkennung ist die Todesrate deutlich zu senken. Die Therapien setzen verschieden an, Erfolge sind durchaus vorzuweisen, manchmal sogar spektakulär. Ein besonderer Hoffnungsträger stellt dabei die Gentherapie dar. Mehr Aufmerksamkeit müßte gerade bei uns in Deutschland aber auch den Menschen gewidmet werden, denen nicht mehr geholfen werden kann.** Red.

## Die Zahl der Erkrankungen wird noch zunehmen

Jedes Jahr erkranken in der Bundesrepublik Deutschland 300 000 Menschen an Krebs. 45 Prozent von ihnen können definitiv geheilt werden, weitere 15 Prozent werden zwar zunächst von ihrem Tumor befreit, erleiden aber nach relativ kurzer Zeit einen Rückfall. Alle Bemühungen der Tumorforschung haben keine nennenswerte Verbesserung dieser Zahlen bewirkt. Ganz im Gegenteil: Weil Krebs auch eine *Krankheit des Alters* ist und die Zahl alter Menschen erheblich zunehmen wird, erwarten die Mediziner, daß die Zahl der Neuerkrankungen bis zum Jahr 2030 um etwa 50 Prozent zunehmen und Krebs damit noch vor den Herz-Kreislaufkrankheiten den ersten Platz in der Liste der Todesursachen einnehmen wird. Was das für die Gesellschaft, aber auch für den einzelnen bei Konsequenzen haben wird, darüber sind sich die Experten noch nicht ganz einig.

„Im Jahr 2010 wird Krebs die Todesursache Nummer 1 in Deutschland sein – und wir sind nicht darauf vorbereitet!“ verkündete der Präsident der Deutschen Krebsgesellschaft, Professor *Lothar Weißbach*, auf dem *Deutschen Krebskongreß* im März 2000 in Berlin. Dagegen ist Professor *Harald zur Hausen*, der wissenschaftliche Vorstand des *Deutschen Krebsforschungszentrums* in Heidelberg, vorsichtig optimistisch: „Besiegen werden wir den Krebs in absehbarer Zukunft wohl nicht. Aber wir werden ihm einen gehörigen Teil seines Schreckens nehmen!“

Ob und wenn ja, wie dem Krebs beizukommen sein wird, hängt von sehr vielen Faktoren ab, keineswegs nur von der Verbesserung der *Krebstherapie*: Es beginnt mit der Vorbeugung, für die jeder einzelne verantwortlich ist, und geht weiter

über die Früherkennung, denn je früher ein Tumor entdeckt wird, desto größer sind die Heilungschancen. Neue Forschungsergebnisse führen zur Verbesserung von herkömmlichen oder zu völlig neuen Therapiekonzepten und schließlich muß nach erfolgter Behandlung mit dem Erreichten gelebt werden: Hier spielt die psychosoziale Nachsorge eine entscheidende Rolle. Auf allen Stufen sind in den letzten Jahren Fortschritte erzielt worden, die früher oder später Eingang in den klinischen Alltag finden werden. Der folgende Artikel will eine Übersicht geben.

## Fast zwei Drittel der Erkrankungen sind auf Rauchen und falsche Ernährung zurückzuführen

Viele Krebsarten müßten gar nicht erst entstehen, wenn jeder einzelne mehr Rücksicht auf seine Gesundheit nehmen würde: Fast zwei Drittel aller Krebserkrankungen sind auf das Rauchen und falsche Ernährung zurückzuführen, wären also vermeidbar!

Ohne *Rauchen* wäre der Lungenkrebs kein Thema für Krebskongresse, so aber ist er die häufigste Tumorform des Mannes, und die Frauen holen kräftig auf: Schon jetzt steht dieser Tumor an Stelle zwei nach dem Brustkrebs – und wird wohl auch hier bei gleichbleibendem Trend bald ganz vorne stehen. Rauchen begünstigt aber auch die Entstehung anderer Tumoren, vor allem die in der sogenannten „Rauchstraße“: Mundhöhle, Kehlkopf, Luftröhre, Speiseröhre und Magen, aber auch an Tumoren der Harnblase, der Bauchspeicheldrüse und des Gebärmutterhalses erkranken auffallend viele Raucher. Wer gleichzeitig noch Alkohol trinkt, erhöht sein Krebsrisiko zusätzlich: Einerseits ist der Alkohol selbst toxisch, andererseits wirkt er als Lösungsmittel für die im Tabak gelösten Karzinogene: Die können dann rascher aufgenommen werden.

Gesunde *Ernährung* ist wichtig, um dem Darmkrebs entgegenzuwirken: Viel frisches Obst und Gemüse, viele Ballaststoffe, wenig Gebratenes und Fett, heißt hier die Devise. Außerdem gilt auch *Übergewicht* als Risikofaktor für Krebs. Zuviel *Sonne* fördert dagegen die Entstehung von Hautkrebs, die Zahl der Menschen, die in der Bundesrepublik jährlich am sogenannten *malignen Melanom* erkranken, hat sich in den letzten 15 Jahren verdoppelt, eine Folge des Schönheitsideals „knackig braun“!

## Umweltgifte und Virusinfektionen kommen als Ursachen hinzu

Durch epidemiologische Studien haben sich aber auch solche Risikofaktoren für

Krebs herauskristalliert, gegen die sich der einzelne nur schwer zu schützen vermag: Umweltgifte zum Beispiel, wie Asbest oder Benzol, Formaldehyd oder Dieselabgase, denen bestimmte Berufsgruppen vorzugsweise ausgesetzt sind. Aber auch verschiedene Viren konnten als Krebsverursacher entlarvt werden, 15 bis 20 Prozent der weltweiten Krebsfälle sind vermutlich auf Infektionen zurückzuführen! Die Infektion mit dem *Hepatitis-B* Virus zum Beispiel erhöht langfristig das Leberkrebsrisiko um den Faktor 100, bestimmte Warzenviren, sogenannten *Papillomviren*, führen bei manchen Frauen zu Gebärmutterhalskrebs. Und hier hat die Krebsprävention wirklich etwas vorzuweisen: In Südostasien und in Afrika konnte ein breit angelegtes *Impfprogramm* gegen Hepatitis B das Auftreten von Leberkrebs drastisch senken. Und gegen die Papillomviren wird derzeit in Deutschland ein Impfstoff entwickelt, der sich bereits in der klinischen Prüfung befindet.

## Genetische Ursachen

Zur Vorbeugung werden in Zukunft wohl auch immer stärker genetische Tests herangezogen werden: Einige Krebsarten sind erblich bedingt, so etwa 5 Prozent der *Brustkrebsfälle* der Frau. Hier kennt man bereits zwei Gene, BRCA1 und BRCA 2, die das Brustkrebsrisiko der Trägerin stark erhöht. In Amerika führte dieses Wissen dazu, daß einige Frauen sich nach der Diagnose vorsorglich beide Brüste abnehmen ließen. Und so „hysterisch“, wie das manche Mediziner hierzulande beurteilten, war das offensichtlich nicht: Verschiedene Studien haben ergeben, daß sich die Lebenserwartung von Genträgerinnen beträchtlich erhöht, wenn sie vorsorglich die Brüste amputieren oder sich die Eierstöcke entfernen lassen. Auch das Risiko eines Zweittumors ließ sich durch die drastischen Eingriffe verringern!

Beim *Darmkrebs* gibt es ebenfalls erbliche Formen: Wer hier das entscheidende Gen trägt, erkrankt mit fast 100 prozentiger Wahrscheinlichkeit. Mediziner raten deshalb zu einer engmaschigen Früherkennungsuntersuchung, denn Darmkrebs ist gut heilbar, wenn er rechtzeitig erkannt wird. Allerdings erproben Mediziner auch die vorsorgliche Entfernung der gesamten Darmschleimhaut des Dickdarms, damit erst gar kein Tumor entstehen kann.

## Früherkennung ist die halbe Heilung

Je früher ein Tumor erkannt wird, desto besser kann er komplett entfernt werden und desto größer sind die Heilungschancen. Bei verschiedenen Krebsformen sind solche Früherkennungsmaßnahmen mög-

lich: Beim *Gebärmutterhalskrebs*, ein häufiger Krebs bei Frauen, konnte durch den *Pap-Abstrich-Test* die Gesamtsterblichkeit stark gesenkt werden. Beim Pap-Test wird ein mikroskopisches Präparat auf entartete Zellen untersucht, eine Beurteilung, die in Grenzfällen schwierig sein kann. Deshalb entwickelten Wissenschaftler vom *Deutschen Krebsforschungszentrum* in Heidelberg eine immunologische Methode, mit der ein Eiweiß, das nur die Krebszellen besitzen, mit Antikörpern nachgewiesen werden soll. Diese Technik ist nicht nur zuverlässiger, sondern auch einfacher durchzuführen, beispielsweise in Entwicklungsländern, in denen dieser Tumor häufig auftritt. Die *Mammographie*, die röntgenologische Untersuchung der Brust bei Frauen nach dem 50. Lebensjahr, hat zu einer 30 bis 40 prozentigen Verringerung der Sterblichkeit an Brustkrebs geführt (je nach Studie). Deshalb fordern Gynäkologen die regelmäßige Mammographie aller Frauen ab 50 im Zwei-Jahres-Abstand. Der sogenannte *Hämoccult-Test*, bei dem im Stuhl nach verborgenem (occultem) Blut gesucht wird, könnte zu einer drastischen Verbesserung in der Heilung vom *Darmkrebs* führen – wenn mehr Patienten zur Vorsorgeuntersuchung gingen! Denn leider nutzen nur wenige die Angebote zur Früherkennung. Zur Abklärung eines eventuellen *Prostatakarzinoms* etwa gehen nur 15 Prozent der Männer, weil sie die Tastuntersuchung scheuen!

In Zukunft dürfte vermutlich auch immer mehr die molekulare *Früherkennung* im Vordergrund stehen: So haben amerikanische Krebsforscher an der *John-Hopkins-Universität* in Baltimore eine Methode zur Früherkennung von Blasen Tumoren entwickelt: Sie beruht auf der Beobachtung, das dieser Tumor Krebszellen in den Urin des Patienten abgibt. *David Sidransky* verglich nun bestimmte Marker im Erbgut der Krebszellen mit den Markern im Erbgut von gesunden Zellen aus dem Blut des Patienten. Und fand in 19 von 20 Fällen signifikante Unterschiede. Die Methode ist einfach, schnell und billig, so daß sie eines Tages zumindest für Risikopatienten routinemäßig eingesetzt werden könnte.

### Die schwierige Unterscheidung zwischen Gut und Böse

Das Problem bei der Krebsbehandlung ist nach wie vor die Unterscheidung zwischen gut und böse: Möglichst wenig gesundes Gewebe zerstören, aber gleichzeitig möglichst alle Krebszellen entfernen. Das will der Chirurg mit dem Skalpell, der Radiologe mit den Strahlen und der Chemotherapeut mit den Zellgiften. Und die moderne Krebsforschung hat eine Verbesserung bei allen drei "Standbeinen der Krebstherapie" gebracht, die nicht nur die Entfernung des Tumors präzisiert, sondern auch die oft dramatischen Nebenwirkungen und Spätfolgen reduziert. Aus Platzgründen hier nur ein Beispiel aus der Chemotherapie:

550 Kinder erkranken jedes Jahr in Deutschland an der *Akuten Lymphatischen Leukämie*, der häufigsten Krebsform im Kindesalter. Noch vor 20 Jahren

bedeutete diese Diagnose den sicheren Tod – heute werden dank der sensationellen Erfolge von Chemotherapie und Bestrahlung 80 Prozent der Kinder zunächst von ihrer Krankheit geheilt. Doch der schöne Schein trügt: „Bei einem Viertel der Kinder flackert die Krankheit wieder auf“, weiß Professor *Claus Bartram* vom *Institut für Humangenetik* in Heidelberg, „und selbst die Kinder, die geheilt werden, leiden unter der belastenden Therapie.“ Zu den akuten Nebenwirkungen der starken Krebsmedikamente gehören Haarausfall und Übelkeit, aber auch schwere Infektionen, die lange Krankenhausaufenthalte erforderlich machen.

Noch gravierender sind die *Langzeitfolgen* der Therapie: Sie können von Herzmuskelschwäche über Hörverlust bis hin zu verzögertem Wachstum der kleinen Patienten reichen. Und einige wenige trifft es ganz es besonders hart. „Man weiß, daß die Chemotherapie selbst auch Zweitumoren hervorrufen kann,“ gibt *Claus Bartram* zu bedenken. „Dieses Risiko ist bei der Akuten Lymphatischen Leukämie zwar gering, es liegt bei etwa ein, zwei Prozent, aber trotzdem möchte man es natürlich reduzieren, jedenfalls da, wo man es kann.“

Reduzieren kann man allerdings nur dort, wo man weiß, daß die Therapie auch ausreicht. Und das war bislang das Problem der Krebsärzte, daß sie – zumindest zu Beginn der Behandlung – nicht genau genug überprüfen konnten, ob ihr Patient auf die Medikamente ansprach oder nicht. Ein Maß für die Wirkung der Chemotherapie sind die übriggebliebenen Krebszellen im Knochenmark, denn sie sind es, von denen die gefährlichen Rückfälle ausgehen. Sind diese Zellen nach einigen Wochen der Behandlung verschwunden, gilt das als sehr gutes Zeichen.

Doch die herkömmlichen Nachweismöglichkeiten sind zu unempfindlich, selbst wenn scheinbar alle Krebszellen verschwunden sind, können sich noch Milliarden von bösartigen Zellen im Knochenmark versteckt halten. *Claus Bartram* hat mit seinen Mitarbeitern eine Methode entwickelt, mit der er diese sogenannten *residualen Leukämiezellen* noch in äußerst geringer Anzahl nachweisen kann:

„Wir können jetzt 10 000fach empfindlicher als vorher diese Krebszellen sichtbar machen, das entspricht einer Krebszelle unter einer Million normaler Zellen!“ begeistert sich *Bartram* für die molekularbiologische Methode, die auf der *Polymere-Ketten-Reaktion* beruht:

„Damit können wir schon nach vier Wochen überprüfen, wie ein Patient ganz individuell auf die Therapie anspricht. Bisher wurde erstmal zwei Jahre behandelt, ohne das eigentliche Ziel, nämlich die Krebszellen, zu erkennen.“

Wo mit der sensitiven Methode keine Krebszellen mehr nachweisbar sind, kann die Dosis der besonders toxischen Medikamente um etwa ein Drittel reduziert werden, die Kinder leiden dann wesentlich weniger unter den akuten Nebenwirkungen. Darüberhinaus hoffen die Ärzte natürlich auch, die Langzeitfolgen zu unterdrücken. Aber selbst diejenigen Patien-

ten, bei denen schon bald abzusehen ist, daß ihre Leukämiezellen nicht ausreichend auf die Chemotherapie ansprechen, profitieren von der Untersuchung: Denn sie erhalten dann frühzeitig eine intensivere Therapie, etwa eine Knochenmarkstransplantation, sofern ein geeigneter Spender vorhanden ist. „Man hat bisher diese Therapie für die Fälle vorbehalten, bei denen es nach der Chemotherapie wieder zum Aufflackern der Krankheit kam. Das war dann aber häufig schon zu spät. Heute können wir bereits sehr früh abschätzen, wer diese intensivere Therapie benötigen wird, und wir sind der Meinung, daß wir in diesen Fällen diese intensivere Therapie gleich zu Beginn anbieten sollten.“ fordert *Claus Bartram*.

### Hoffnungsträger Gentherapie

Ein Hoffnungsträger in der Krebsforschung, und zwar sowohl für Patienten wie auch für die Ärzte, ist die Gentherapie. Von den rund 400 laufenden Gentherapie-Studien weltweit sind rund zwei Drittel der Krebsbekämpfung gewidmet. An der Frauenklinik der Universität in Freiburg läuft die derzeit einzige klinische Gentherapie-Studie in Deutschland, die schon in der Phase zwei ist, was bedeutet, daß hier schon auf Wirksamkeit geprüft wird, denn die Phase eins, in der eine neue Therapie erstmal ihre Verträglichkeit beweisen muß, haben die Freiburger bereits erfolgreich abgeschlossen. Professor *Ingo Runnebaum*, Leiter der Studie, behandelt Frauen, bei denen erstmalig Eierstockkrebs aufgetreten ist:

„Nach einer Operation erhalten die Patientinnen in aller Regel eine Chemotherapie, und wir wissen, daß bei sehr vielen Patientinnen im Mittel nach etwa 2 Jahren die Erkrankung wieder auftritt. Und diese Rate des Wiederauftretens möchten wir möglichst verringern, indem wir eine zusätzliche Therapie durchführen, nämlich eine Gentherapie, die so designt ist, daß die Chemotherapie besser wirkt.“

Daß so viele Frauen einen Rückfall erleiden, liegt an den versteckten Tumorzellen, die nach der Operation zurückbleiben. Um die geht es, sowohl bei der Chemotherapie als auch jetzt bei der zusätzlichen Gentherapie. Das Gen, das die Freiburger für diese Therapie benutzen, ist das sogenannte *p53-Gen*, ein Abschnitt im Erbgut, der bei vielen Tumoren verändert ist, besonders häufig auch beim Eierstockkrebs. Und das bewirkt, daß die Krebszellen mehr oder weniger unbeeindruckt von der Chemotherapie bleiben, die die Krebszellen ja eigentlich umbringen soll. Schmuggelt man jedoch eine intakte Kopie des *p53-Gens* in die Krebszellen hinein, funktioniert die Chemotherapie plötzlich. Warum, erklärt Professor *Runnebaum* mit der Funktion des *p53 Gens*:

„Das *p53 Gen* macht nämlich, daß die Zelle in der Lage ist, sich selbst umzubringen, wenn sie einen großen genetischen Schaden hat. Und solche Genschäden kommen eben sehr häufig in Krebszellen vor, insofern macht es Sinn, diesen Zellen dieses Gen wieder einzupflanzen und sie damit wieder ihrem Selbstmordprogramm zuzuführen.“

Als *Gentaxi*, das das Gen in die Krebszellen hineinbringen soll, benutzen die Freiburger Ärzte ein Virus, wie die meisten Genterapeuten ein sogenanntes *Adenovirus*, das normalerweise einen Schnupfen verursacht. In die Hülle dieses Virus haben die Mediziner das p53-Gen hineingeschmuggelt. Spritzt man das Virus nun in die Bauchhöhle der Patientin, tut das Virus das, was es normalerweise auch tut: Es befällt die Körperzellen und läßt sein Inneres darin ab. Samt dem p53 Gen. Da stellt sich natürlich die Frage, wie das Virus eigentlich zwischen den gesunden und den Krebszellen unterscheiden kann. Vermutlich gar nicht, aber das ist nicht so schlimm, glaubt *Ingo Runnebaum*:

„Dieses p53-Gen erkennt, daß große ausgedehnte Schäden vorliegen und sortiert die Zelle sofort aus, indem es die Zelle in ein Selbstmordprogramm schickt. In einer normalen Zelle liegen diese Schäden aber nicht vor. So daß p53, das sowieso in allen normalen Zellen vorkommt, hier auch keine Zelltodaktivität entwickelt.“

Auch *Frank McCormick* von der Universität von San Francisco arbeitet an einer Genterapie gegen Krebs: Er hat ein Adenovirus so verändert, daß es nicht mehr in normalem Gewebe wachsen kann. Aber es kann sich gut in Krebszellen vermehren, es tötet also ganz spezifisch Krebszellen ab! *McCormick* benutzt dazu dasselbe Gen wie *Ingo Runnebaum* in Freiburg. Nur, daß er nicht das intakte p53 Gen in die Krebszellen hineinbringt. Sondern daß er dessen Nicht-Vorhandensein geradezu ausnützt: Das Virus, das *McCormick* mit seinen Mitarbeitern hergestellt hat, kann sich nämlich nur in solchen Zellen vermehren, in denen das p53 Gen fehlt! Genauer gesagt, sein Produkt, das p53 Eiweiß. Da dieses Eiweiß aber alle gesunden Zellen besitzen, kann ihnen das Virus nichts anhaben. Eine geniale Idee, die sich in der Zellkultur, im Tierversuch und sogar schon in klinischen Studien bewährt hat und für die sich natürlich längst auch die Industrie interessiert: Die kalifornische Firma *Onyx-Pharmaceuticals* hat das Virus sozusagen unter Vertrag. Dr. *David Kirn* koordiniert die medizinischen Studien: Schon die Phase 1 Studie, in der die Verträglichkeit getestet wurde, zeigte beeindruckende Ergebnisse:

„Wir konnten nachweisen, daß sich das Virus ausschließlich im Tumor und nicht in normalem Gewebe vermehrt hat, wir haben bei einigen Patienten die Zerstörung des Tumors beobachtet, während das umliegende Gewebe völlig intakt war.“

Kurz darauf startete *Onyx* die Phase 2 Studie, in der erstmals auch eine Wirksamkeit der neuen Therapie belegt werden sollte: Um einen möglichst großen Nutzen für die Patienten zu erzielen, die an Tumoren im Kopf- und Halsbereich litten, kombinierten sie das Virus mit der herkömmlichen Chemotherapie. Und wieder sahen die Befunde sehr vielversprechend aus: Dr. *David Kirn*:

Die Chemotherapie allein zeigt etwa bei einem Drittel der Patienten eine Wirkung. In unserer Phase 2 Studie, wo wir die Chemotherapie mit der Virustherapie kombiniert haben, reagierten annähernd zwei Drittel der Patienten, also eine deutliche

Verbesserung! Bei einem Viertel der Patienten verschwand der Tumor sogar völlig! Das ist bei der allein angewandten Chemotherapie äußerst selten!“

Letztlich ist es die Überlebenszeit, auf die es ankommt. Und gerade bei Patienten mit Tumoren im Kopf- und Halsbereich sieht es ganz besonders düster aus: Im Durchschnitt sterben die Patienten ein halbes Jahr nach der Diagnose! Hat die neue Therapie auch hier schon überzeugt? *David Kirn* ist vorsichtig:

„Es ist sehr schwer, unterschiedliche Überlebenszeiten in einer Phase 2 Studie einer bestimmten Therapie zuzuschreiben, weil es keine unbehandelte Kontrollgruppe gibt! Aber was ich sagen kann, ist, daß diese Patienten normalerweise noch sechs Monate zu leben haben, und die Patienten in unserer Studie lebten im Durchschnitt noch 12 Monate, also doppelt so lang! Aber um zu beweisen, daß dieser Überlebensvorteil wirklich auf die Virustherapie zurückzuführen ist, brauchen wir eine Phase 3 Studie.“

In der dann die herkömmliche Therapie – also nur Chemotherapie nach der Operation – mit der neuen Therapie verglichen wird. In Kürze soll diese Phase 3 Studie beginnen, und in zwei bis drei Jahren wird man endgültig wissen, ob das Virus hält, was es den Patienten – und der Firma – verspricht.

### Tumorzellen austrocknen

Ein weiterer neuer Ansatz in der Tumorthherapie ist die sogenannte *Antiangiogenese*: Das Wort Angiogenese bedeutet Gefäßneubildung. Im erwachsenen Körper spielt dieser Prozeß kaum noch eine Rolle. Lediglich bei heilenden Wunden und während des Zyklus der Frau müssen neue Blutgefäße gebildet werden. In allen anderen Geweben sorgen sogar bestimmte Hemmstoffe dafür, daß sich die *Endothelzellen*, die die Gefäße auskleiden, nicht vermehren. Bei der Entstehung von Krebs ist diese Negativregulation jedoch aufgehoben: Ab einer kritischen Größe von 3mm Durchmesser benötigt ein Tumor Blutgefäße, die Nährstoffe und Sauerstoff heranbringen, Stoffwechselprodukte abtransportieren und ihn außerdem mit Wachstumsfaktoren versorgen. Ausgelöst durch Sauerstoffmangel produziert der Tumor sogenannte Angiogenesefaktoren, die die Endothelzellen regelrecht anlocken. Gleichzeitig fällt die Hemmstoffkonzentration unter einen kritischen Wert, so daß das Gleichgewicht auf Seiten der Gefäßneubildung liegt. Und damit ist auch der gefürchteten Streuung der Tumorzellen der Weg geebnet: Über die feinen Blutgefäße können sie den Primärtumor verlassen und sich andernorts als Metastasen ansiedeln.

Die Angiogenese-Forschung hat mittlerweile eine Reihe von Substanzen ermittelt, die die Neubildung von Gefäßen entweder stimulieren oder hemmen. Zu den Hemmstoffen gehören altbekannte Vertreter wie das *alpha-Interferon*, das *Thalidomid*, in Deutschland besser unter dem Namen *Contergan* bekannt, oder der Tumor-Nekrose Faktor TNF. Ihre antiangiogene Wirkung wurde eher zufällig ent-

deckt, und die meisten dieser Substanzen erfüllen eine Vielzahl anderer Funktionen im Organismus. Ein erst kürzlich entdeckter spezifischer Hemmstoff der Gefäßneubildung ist das *Thrombospondin*, das normale Zellen ständig bilden, Tumorzellen dagegen nur noch in sehr geringen Mengen. Interessant ist, daß das sogenannte „Wächtergen“ p53 (siehe oben) normalerweise dafür sorgt, daß dieser Hemmstoff in ausreichender Menge gebildet wird. In Tumorzellen jedoch ist dieses Wächtergen wie erwähnt häufig ausgeschaltet und damit auch die Produktion von Thrombospondin.

Unter den stimulierenden Angiogenesefaktoren spielt das VEGF eine herausragende Rolle (von englisch: *Vascular Endothelial Growth Factor*). Es wirkt ausschließlich auf wachsende Endothelzellen, da nur sie einen speziellen VEGF-Rezeptor tragen. Sowohl der Rezeptor als auch Antikörper gegen das VEGF bieten sich daher zur spezifischen Therapie geradezu an.

Noch ist kein Medikament, das die Angiogenese hemmt, zugelassen, verschiedene Substanzen befinden sich jedoch in der klinischen oder vorklinischen Prüfung. Und schon jetzt zeichnen sich die Vorteile dieser Therapieform ab: Zum einen scheinen kaum Nebenwirkungen aufzutreten, da die Angiogenese im normalen Gewebe keine Rolle spielt, wenn man von dem Ausbleiben der Menstruation absieht. Außerdem kann die Therapie über einen langen Zeitraum fortgesetzt werden, da die Endothelzellen, gegen die sich die Medikamente richten, nicht resistent werden: Anders als Tumorzellen mutieren sie nicht. Darüber hinaus versorgt eine Endothelzelle in der Regel 10 bis 100 Tumorzellen, die Wirkung vervielfacht sich somit. In Tierversuchen zeigte sich die Kombination von Chemotherapie und Angiogenese-Hemmern als besonders erfolgreich, sogar in solchen Fällen, wo die einzelnen Komponenten allein nichts auszurichten vermochten. Die Mediziner können sich aber auch vorstellen, vor einer geplanten Operation den Tumor auszuhungern und ihn damit zu verkleinern. Oder als längerfristige Nachbehandlung, um eventuell vorhandene Resttumoren oder Metastasen am Wachstum zu hindern.

### Immuntherapie heißt ein weiterer Hoffnungsträger

Als dritter Hoffnungsträger unter den neueren Krebsbehandlungsformen gilt schließlich die Immuntherapie: Hier soll entweder das Immunsystem des Patienten angeregt werden, selbst gegen den Tumor als „Fremdling“ vorzugehen, oder aber es kommen Moleküle zum Einsatz, mit denen das Immunsystem normalerweise arbeitet, also Antikörper oder Botenstoffe. Beim schwarzen Hautkrebs, dem malignen Melanom, erproben Mediziner um Professor *Dirk Schadendorf* an der Hautklinik der Universität Mannheim eine *Impfung gegen den Krebs*: Sie isolieren aus dem Blut des Patienten bestimmte Immunzellen, die sogenannten *Dendritischen Zellen*, und „füttern“ sie mit Eiweißen aus den Melanomzellen. Die Im-

munzellen nehmen diese Eiweiße auf, zerlegen sie in ihrem Inneren und befördern die Bruchstücke an ihre Oberfläche. Solchermaßen präpariert werden die Zellen dem Patienten in die Lymphknoten gespritzt, wo sie ihren „Kollegen“, den Killerzellen, den Steckbrief der Krebszellen präsentieren: Nach dem Motto: Alle Zellen mit diesen Eiweißbruchstücken sofort abtöten! Die Killerzellen ihrerseits – so jedenfalls die Theorie – durchkämmen daraufhin den Körper nach Melanomzellen und töten diese ab. In einer ersten aufsehenerregenden Studie erreichte *Dirk Schadendorf* bei vier von 16 Patienten eine Rückbildung von Tumor und Metastasen, bei zwei Patienten sogar eine völlige Heilung. So sensationell die Ergebnisse sein mögen, vor weiteren Studien muß erst geklärt werden, warum manche Patienten ansprechen und andere nicht!

### Antikörper im Einsatz

Eine andere Form der Immuntherapie könnte beim Blutkrebs den Behandlungserfolg steigern: Die kurzfristigen Heilungsraten sind zwar beachtlich – bis zu 90 Prozent der Patienten sind nach Chemotherapie und Bestrahlung zunächst tumorfrei – doch zwei von drei Patienten erleiden innerhalb der folgenden 12 Monate einen Rückfall, der dann meist nicht mehr behandelbar ist. Ursache hierfür sind einzelne Tumorzellen, die die Behandlung unbeschadet überstehen und nach einiger Zeit wieder damit beginnen, sich zu teilen. Um diesen schlummernden Zeitbomben den Garaus zu machen, setzen Wissenschaftler auf die *Alpha-Immuntherapie*: Antikörper, also Eiweiße des Immunsystems, die eigentlich für die Abwehr von Viren oder Bakterien zuständig sind, sollen die versteckten Krebszellen aufspüren und mittels radioaktiver Strahlung abtöten. Und zwar auch dann, wenn die Chemotherapie versagt. Dr. *Gerhard Mollenhauer* aus der Abteilung Molekulare Immunologie des *Deutschen Krebsforschungszentrums* erklärt, warum:

„Chemotherapie setzt normalerweise voraus, daß sich Zellen aktiv teilen. Wenn sie das nicht tun, sind sie sehr schlecht zugänglich für die Chemotherapie. Sie sind aber sehr wohl erreichbar für Antikörper, das heißt, der radioaktiv markierte Antikörper bindet sich an solche ruhenden Tumorzellen und kann sie zerstören.“

Der Antikörper erkennt die Krebszellen anhand sogenannter Differenzierungsantigene, Strukturen, die nahezu ausschließlich auf der Oberfläche der entarteten Zellen vorkommen. Das macht die Methode so spezifisch. Um die Krebszellen vernichten zu können, enthält der Antikörper das radioaktive *Isotop Wismut 213*, einen sogenannten alpha-Strahler, den Karlsruher Wissenschaftler entwickelt haben. Dabei erweist sich diese Form der Radioaktivität als besonders vorteilhaft für die geplante Immuntherapie: Zum einen gibt der alpha-Strahler über eine sehr kurze Strecke seine gesamte Energie ab, was bedeutet, daß er nicht das umliegende gesunde Gewebe schädigt. Außerdem ist die alpha-Strahlung so energiereich, daß ein einzi-

ges Wismut-Atom ausreicht, um die Erbsubstanz einer Tumorzelle zu zerstören. Die Zelle begeht daraufhin Selbstmord. Damit das Isotop nicht schon Schaden anrichtet, bevor es den Tumor erreicht, ist es über einen chemischen Komplex fest an den Antikörper gekoppelt.

In New York, am *Memorial Sloan Kettering Krebszentrum*, testet Dr. *David Scheinberg* den radioaktiven Antikörper an Patienten mit *Akuter Myeloischer Leukämie*: In der Phase 1-Studie geht es allerdings noch nicht um verlängerte Überlebenszeiten oder gar um eine Heilung. Hier gilt es zunächst einmal zu prüfen, ob der Antikörper die Krebszellen wirklich findet und ob – und wenn ja, welche – Nebenwirkungen auftreten. Bisher ist *David Scheinberg* hoch zufrieden:

„Der Antikörper erreicht innerhalb von fünf bis zehn Minuten die Leukämiezellen im Körper, auch im Knochenmark, in der Leber und in der Milz, und er tötet die Leukämiezellen dort auch ab. Wir sehen keine Aufnahme des Antikörpers in andere Organe wie Nieren oder Lunge, was dafür spricht, daß das Konstrukt sicher im Körper des Patienten ist: Es arbeitet offenbar so, wie wir es erwartet haben.“

Auch beim Brustkrebs kommen Antikörper zum Einsatz: Bestimmte Formen dieses Tumors tragen ein Eiweiß namens *Her2neu* auf ihrer Oberfläche. Kombiniert man nun die Chemotherapie mit einem Antikörper gegen dieses Eiweiß, sprechen die Tumoren weit besser auf die Behandlung an als auf die Chemotherapie allein. Allerdings profitieren wirklich nur diejenigen Frauen von der Antikörperzusatztherapie, die das *Her2neu-Eiweiß* auf ihren Tumorzellen tragen.

### Eine individuelle Therapie für jeden Patienten

Und das gilt als genereller Trend in der Krebstherapie: Die immer besseren Diagnosemöglichkeiten erlauben es, eine individuelle Therapie für jeden Patienten zu entwickeln. Zunächst überprüft der Arzt im Reagenzglas, auf welches Medikament die Tumorzellen am besten ansprechen, und erst dann wählt er das passende Mittel für die Chemotherapie aus: Immerhin 300 verschiedene Substanzen stehen ihm heute zur Auswahl! Auch die sogenannten *Genchips* können hier helfen: Mit ihrer Hilfe kann der Arzt minutenschnell überprüfen, welche Gene in den Tumorzellen verändert sind und daraufhin die Behandlung den Gegebenheiten anpassen, unter Umständen sogar während der laufenden Therapie!

### Was tun, wenn nichts mehr hilft?

Allen Fortschritten zum Trotz: Mehr als die Hälfte der Krebspatienten verstirbt an ihrer Krankheit, wenn auch die Bemühungen zu einer Verlängerung des Lebens in der unheilbaren Situation geführt haben. Und dieser Wahrheit müssen sich nicht nur die Kranken, sondern auch die Mediziner stellen. Freilich ist es nicht besonders schön, gerade als Arzt zusehen zu müssen, wie ein Patient stirbt. Weder großer Ruhm

noch stattliche Honorare lassen sich mit der Begleitung Sterbender ernten. Vielleicht aus diesem Grund wird die sogenannte *Palliativmedizin*, die es sich zum Ziel gesetzt hat, Leiden zu lindern, wenn nicht mehr geheilt werden kann, hierzulande geradezu sträflich vernachlässigt! „Deutschland ist ein Entwicklungsland auf diesem Gebiet“, monierte Dr. *Marianne Kloke* von der Universitätsklinik Essen auf dem *Deutschen Krebskongreß* im März 2000: Noch immer werden die Medizinstudenten nicht auf dem Gebiet der Palliativmedizin ausgebildet, Kurse etwa, in denen die angehenden Ärzte lernen, wie man eine schlechte Nachricht übermittelt, fehlen im Curriculum. Auch in der Literatur gibt es kaum Beiträge Deutschlands zur Palliativmedizin, offenbar machen sich die Mediziner hierzulande kaum Gedanken über so wichtige Fragen wie die, wann ein Therapieabbruch angezeigt wäre oder eine Behandlung gar nicht erst begonnen werden sollte, weil sie sowieso nichts mehr bewirken kann. Nach internationalen Erfahrungen – in vielen anderen westlichen Ländern ist die Palliativmedizin bereits ins Gesundheitssystem integriert – benötigen 1 Million Einwohner 50 Palliativbetten, in Deutschland gibt es statt 50 nur 3!

Die Ziele der Palliativmedizin definierte *Marianne Kloke* folgendermaßen:

- Bestmögliche Schmerztherapie und Symptomkontrolle
- Integration psychischer, sozialer und spiritueller Bedürfnisse des Patienten und seiner Angehörigen in den Phasen des Krankseins, des Sterbens und der Trauer.
- Kompetenz in wichtigen Fragen der Kommunikation und Ethik
- Akzeptanz des Todes als Bestandteil des Lebens und Ermöglichung eines menschenwürdigen Lebens und Sterbens; dabei gleichzeitig explizite Ablehnung der aktiven Sterbehilfe.

Im ersten Punkt ist sicherlich großer Fortschritt zu verzeichnen, so gibt es etwa Schmerzmittel, die – einmal eingenommen – über längere Zeit kontinuierlich wirken, sogenannte *Retard-Präparate*. Auch Schmerzmittelpumpen, die der Patient nach Bedarf bedient, haben die Lebensqualität im Endstadium verbessert. Chirurgische Maßnahmen, die dazu dienen, daß der Patient besser atmen kann oder daß die Verdauung besser funktioniert, werden ebenfalls durchgeführt, genauso wie Bestrahlungen, die allein darauf abzielen, Schmerzen zu lindern, zum Beispiel indem sie Knochenmetastasen beseitigen. Aber in den nachfolgenden drei Punkten herrscht nach Ansicht der Experten Handlungsbedarf. Und deshalb hat die *Europäische Gesellschaft für Medizinische Onkologie* gefordert, die Palliativmedizin in der Onkologie (der Lehre der Krebserkrankungen) fest zu verankern. Für die Patienten wäre dies ein ebenso lohnender Fortschritt, wie eine neue Therapie! Denn gleichgültig ob am Ende der Behandlung die Heilung oder der Tod steht: Eine Krebserkrankung ist immer mit Leiden und Schmerz verbunden!

Das Ziel ist Ersatz aus dem eigenen Körper

# Ersatzteillager Mensch?

Wie Wissenschaftler Organe züchten

Von Reinhard Spiegelhauer

*Dipl.-Biologe Reinhard Spiegelhauer war mehrere Jahre freier Mitarbeiter des SWR und ist gegenwärtig Redakteur des Hessischen Rundfunks.*

Schadhafte oder verloren gegangene Körperteile hat man lange schon durch Prothesen zu ersetzen versucht, die im Laufe der Zeit technisch immer mehr verbessert werden konnten. Einen Schritt weiter gehen Transplantationen, die Organe anderer Menschen übertragen. Da ausreichend Spender fehlen, denkt man auch daran, auf Tier-Organen zurückzugreifen. Das Problem in beiden Fällen ist, dass der Körper fremde Organe als Fremdkörper identifiziert und somit Abwehrreaktionen entwickelt. Einen Durchbruch bedeutet es, aus den eigenen Zellen des Körpers neue Haut, Knorpel oder gar Herzklappen zu züchten. Eine besondere Herausforderung ist der Versuch, auf diese Weise auch komplexe Organe wie die Leber zu züchten. Stammzellen, aus denen der Embryo alle Organe entwickelt, scheinen dafür ideal geeignet – ethische Bedenken stehen ihrer Verwendung jedoch entgegen. Deswegen hat die Entdeckung von Stammzellen in Erwachsenen besondere Aufmerksamkeit geweckt. Forschungsziel ist, die Selbstheilungskräfte des Menschen zu stimulieren und zu steuern. Red.

## Mit Knochenstücken und Elfenbein fing alles an: bei den alten Ägyptern

Haut, Knochen, Nerven oder auch ganze Organe künstlich nachzubilden, ist ein Jahrhundert alte Traum. Neue, interdisziplinäre Forschung rückt diesen Traum in greifbare Nähe. Heute schon kann ein bestimmtes Präparat, das aus Zellen der Bauchspeicheldrüse von Schweinen hervorgeht, Zuckerkranken eingepflanzt werden. Dort produziert es das fehlende Insulin. Der Wunsch der Forscher geht aber weiter. Nachgezüchtete Zellen aus dem Körper des Kranken selbst sollen beschädigte Organe reparieren.

Mit Knochenstückchen und Elfenbein fing alles an. Sauber zurecht geschnitzt und mit Goldfäden oder Bast befestigt, waren sie die ersten Prothesen – die ersten Versuche, verlorene Körperteile zu ersetzen. Genauer gesagt: Zähne. Denn schon für Ägypter und Etrusker galten verlorene Zähne als Zeichen des Alters, das man kaschieren wollte. Richtig zubeißen freilich konnte man mit diesen Prothesen noch nicht. Das kam später, als die Inkas und die Mayas Halbedelsteine in die leeren Zahnfächer hämmerten. Oft waren sie reich verziert und eher Schmuck

als Zahnersatz. Aber Funde belegen, dass sie bis zum Lebensende des Besitzers halten konnten.

Natürlich versuchte man auch andere Körperteile zu ersetzen, vor allem Gliedmaßen. So schließt unsere Vorstellung von einem Piraten beispielsweise fast zwangsläufig das Holzbein ein. Die Bein- und Armprothetik entwickelte sich jedoch vor allem aufgrund trauriger Anlässe weiter: den beiden Weltkriegen.

## Doch Prothesen bleiben Fremdkörper

Schwieriger zu verwirklichen waren sogenannte Endoprothesen, also Prothesen die eine verlorene Funktion im Körper ersetzen sollen. Vor gut hundert Jahren entstand das erste halbwegs funktionierende künstliche Kniegelenk. Der Berliner Chirurg *Themistokles* Gluck hatte ein Scharnier aus Elfenbein konstruiert und mehreren Patienten eingepflanzt. Doch Entzündungen machten den vorübergehenden Erfolg meist schnell zunichte.

Die Entwicklung aber ging voran und legte ständig an Tempo zu. So sind seit den siebziger Jahren künstliche Gelenke Standard. Bessere Operationstechniken und neue Materialien wie Titan- und Molybdänlegierungen waren der Motor dazu. Dank weiterentwickelter Technik gibt es inzwischen auch Hilfe bei lebensbedrohlichen Funktionsstörungen: Dialysegeräte, die die Nierenfunktion übernehmen können, Herzschrittmacher, künstliche Herzklappen – ja sogar Kunstherzen. Doch eines bleibt all diesen Prothesen gemein: sie sind technische Apparate, tot, dem Körper fremd – Fremdkörper. Und nie sind sie so perfekt wie die Natur. Mit dem menschlichen Knie kann es kein Kunstgelenk aufnehmen, und sei es auch nur, weil sich der künstliche Ersatz nach Jahren aus der Verankerung löst. Die aufwendige Blutwäsche mit dem Dialysegerät schafft nicht einmal ein Viertel der Entgiftungsleistung der Nieren. Und kein Kunstherz reagiert so schnell und so genau auf sich ändernde Belastung, wie das menschliche Herz.

## Transplantationen lösen Abwehrreaktionen aus – Und es gibt zu wenig Spender

Dass nichts so gut ist, wie das Original, ahnte man auch schon früher: Transplantationen wurden bereits vor Jahrhunderten versucht, die Patienten allerdings starben entweder während des Eingriffs oder kurze Zeit später – Organe mit Erfolg zu verpflanzen, gelang erst im zwanzigsten Jahrhundert: 1950 wurde die erste Niere erfolgreich verpflanzt. Entscheidend war

die Erkenntnis, dass das Immunsystem fremdes Gewebe abstößt – aus gutem Grund, es soll schließlich vor eingedrungenen Krankheitskeimen schützen. Indem die Ärzte die Immunabwehr gezielt schwächen, können sie inzwischen meistens verhindern, dass Transplantate abgestoßen werden.

Trotzdem hat die Transplantation Nachteile. So können die Medikamente, mit denen die Abstoßungsreaktion verhindert wird, schwere Nebenwirkungen haben. Außerdem ist das im Zaum gehaltene Immunsystem manchmal nicht mehr in der Lage, gefährliche Infektionen zu verhindern: Der erste Mensch mit einem zweiten Herzen starb keine drei Wochen nach *Christian Barnards* gefeiertem Eingriff im Jahr 1967 an einer Lungenentzündung.

Das größte Problem aber ist, daß es zu wenige Spenderorgane gibt. Die Daten von Patienten, die auf ein Spenderorgan warten, werden in einer zentralen Datei gespeichert, um gespendete Organe möglichst schnell vermitteln zu können. Dennoch sterben jedes Jahr über 15 Prozent der Patienten auf dieser sogenannten *Eurotransplant-Liste*. Schlimmer noch: in Deutschland ist die Zahl der Organspenden in den letzten Jahren sogar rückläufig. Deswegen suchen Mediziner nach Alternativen.

## „Gewebe-Technik“ heißt das neue Zauberwort

*Tissue-Engineering* – wörtlich übersetzt: „Gewebe-Technik“ – ist das Zauberwort. Es bedeutet: Ärzte wollen lebende Gewebe und Organe herstellen. Das können sie jedoch nicht alleine. *Tissue Engineering* ist eine interdisziplinäre Arbeit. Mediziner arbeiten dabei mit Biotechnologen, Biophysikern, Werkstoffwissenschaftlern und Ingenieuren zusammen.

Erste Ansätze des *Tissue Engineering*, wie die Forschungsrichtung auch in Deutschland genannt wird, gibt es seit den achtziger Jahren. Seitdem können Hautzellen im Labor am Leben erhalten und vermehrt werden. *Verbrennungsoffern* wird seitdem nicht mehr nur mit der Eigenverpflanzung von ganzen Streifen unverbrannter Haut geholfen, die ihrerseits zu Verletzungen und Narben führt. Stattdessen wird nur ein kleines Stück gesunder Haut entnommen und im Labor vermehrt. Innerhalb kurzer Zeit können die Mediziner auf diese Weise große Mengen an Hautzellen gewinnen, die entweder als Ersatzhaut-Streifen oder als Zellsuspension auf die Verbrennungswunden aufgebracht werden und helfen, die Wunden zu schließen.

Erfolge gibt es auch bereits bei der Behandlung akuter *Gelenkknorpelverletzungen*, zum Beispiel nach Sportunfällen. Weil der dämpfende Gelenkknorpel, zum Beispiel im Knie, sich nach Verletzungen nicht nachbildet, führen solche Verletzungen normalerweise auf lange Sicht zu Gelenkverschleiß. Doch auch hier gibt es inzwischen die Möglichkeit, aus einer kleinen Probe gesunder Zellen im Labor Ersatz nachzuzüchten. Bislang ist der künstliche Knorpel jedoch nicht genauso haltbar wie im Gelenk gewachsener. Auch die verschiedenen Techniken, mit denen die nachgezüchteten Knorpelzellen wieder eingebaut werden, sind noch nicht völlig ausgereift und es fehlen noch Langzeiterfahrungen mit dem nachgezüchteten Knorpel.

Dass es heute überhaupt möglich ist, Knorpelgewebe nachzuzüchten, ist ein Erfolg interdisziplinärer Zusammenarbeit: Wenn Knorpelzellen auf herkömmliche Weise in einer sogenannten Petrischale gezüchtet werden, also in zweidimensionaler Kultur, verlieren sie bestimmte typische Eigenschaften, die für die Funktion des Knorpels wichtig sind. Biotechnologen siedeln die Zellen daher nach der Vermehrung in schwamm- oder vliesartige Strukturen um, wo sie sich dann wieder wie normale Knorpelzellen verhalten. Diese besiedelten Gerüste werden dann dem Patienten eingepflanzt.

Die Herstellung solcher Stützstrukturen übernehmen Werkstoffwissenschaftler und Ingenieure. Die Gerüste müssen viele Forderungen erfüllen: die Poren oder Hohlräume in den Schwämmen und Vliesen müssen die richtige Größe haben, das Material muß für Hautstreifen flexibel, für Knorpel elastisch und für Knochen starr sein und dabei gleichzeitig hoher Belastung standhalten. Nicht zuletzt muss sich die Struktur innerhalb einer bestimmten Zeitspanne auflösen, während natürliches Gewebe nachwächst. Für verschiedene Anwendungen müssen die „Gewebe-Techniker“ also jeweils Gerüste mit maßgeschneiderten Eigenschaften konstruieren. In Zukunft wollen sie die Gerüststrukturen zusätzlich sogar mit Hormonen oder Medikamenten „aufladen“, so dass sie beispielsweise das Wachstum aktiv fördern oder Entzündungen bekämpfen.

### **Nachgezüchtete Herzklappen verpflanzt**

Für manche Anwendungen bedienen sich die Forscher statt künstlicher Stützgerüste natürlichen Materials. Zum Beispiel, um Herzklappen zu züchten. Dafür entfernen die Mediziner die lebenden Zellen aus Schweine-Herzklappen und besiedeln das übriggebliebene tierische Stützgewebe neu mit Zellen des menschlichen Patienten. Diese Methode ist risikoärmer als die sogenannte *Xenotransplantation*, also die Verpflanzung kompletter tierischer Gewebe oder Organe, weil keine lebenden Schweinezellen übertragen werden. Denn nur die lebenden Zellen provozieren starke Abstoßungsreaktionen. Darüber hinaus bergen sie die Gefahr, dass Viren, die als „blinder Passagier“ in den Schweine-

nezellen leben, auf den Menschen übertragen werden.

Es ist auch möglich, die Stützgewebe verstorbener Menschen neu zu besiedeln: vor kurzem wurde in der Berliner *Charité* erstmals eine auf diese Art und Weise nachgezüchtete Herzklappe verpflanzt. Dadurch ist eine Infektion durch tierische Viren völlig ausgeschlossen. Allerdings ist hier erneut die Verfügbarkeit von Spenderorganen ein limitierender Faktor. Ethischen Bedenken gegenüber der Zucht von Tieren als „Ersatzteilspende“ entgegen die Befürworter, daß auch Schlachttiere ausschließlich zum Nutzen des Menschen gezüchtet werden.

### **Schwieriger ist es, ein komplexes Organ wie die Leber zu züchten**

Weit schwieriger als Haut, Knorpel oder Herzklappen zu züchten, ist es, komplexe Organe wie die Leber zu züchten. Denn dort finden sich gleich sechs verschiedene Zelltypen, die noch dazu in einer bestimmten Art und Weise angeordnet sind. Außerdem muß die Leber extrem gut mit Blut versorgt werden, damit sie ihre Entgiftungsfunktion überhaupt erfüllen kann. Die Versuche, funktionierendes Lebergewebe im Labor herzustellen, stecken noch in den Kinderschuhen. Kurz vor der klinischen Anwendung stehen jedoch Geräte, die die Leberfunktion für beschränkte Zeit übernehmen können, bis ein Spenderorgan gefunden ist. Solche Leberzell-Bioreaktoren bestehen im Prinzip aus zwei Kammern, die durch eine spezielle Membran voneinander getrennt sind. In der einen Kammer wird ein Gemisch verschiedener Leberzellen künstlich am Leben gehalten. Durch die andere Kammer fließt das Blut des Patienten. Die Membran verhindert einerseits, dass Blut und Leberzellen sich mischen, gestattet aber andererseits den Austausch von Nähr- und Giftstoffen. So können fremde Leberzellen ohne Abstoßungsgefahr zur Reinigung des Blutes eingesetzt werden. Auch hier denkt man daran, wegen des Mangels an menschlichen Spenderzellen mit tierischen Zellen zu arbeiten. Dazu müssen jedoch noch Studien durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass keine tierischen Krankheitserreger in das Patientenblut gelangen können.

### **Umstritten ist die Gewebezüchtung aus embryonalen Stammzellen**

Grosse Kontroversen gibt es um die Gewebezüchtung aus sogenannten embryonalen Stammzellen. Diese Zellen des Fötus sind noch völlig undifferenziert, das heißt, auf keinen bestimmten Gewebetyp festgelegt. Aus diesen embryonalen Stammzellen entwickeln sich alle verschiedenen Gewebe und Organe des Erwachsenen. Daher sind sie interessantes Studienobjekt für die Organzüchter. Doch mit der Forschung oder gar Nutzung menschlicher Embryonen sind schwerwiegende *ethische Fragen* verknüpft – beispielsweise, ob man abgetriebene Föten als „Ersatzteilspende“ verwenden dürfte. Und deshalb ist die Stammzell-Forschung an menschlichen Embryonen in Deutschland verbo-

ten. Grundlagenforschung ist jedoch auch mit tierischen Embryos möglich. Forscher können Stammzellen von Mäuseembryos im Labor mit bestimmten Hormonen und anderen chemischen Stoffen gezielt beeinflussen, so daß sie sich beispielsweise zu speziellen Herzmuskelzellen entwickeln, die den Herzschlag stimulieren. Prinzipiell könnte man so eine Art „natürlichen Herzschrittmacher“ züchten.

Seit einiger Zeit wissen die Forscher jedoch, daß es auch in einigen Geweben Erwachsener Stammzellen gibt. Allerdings bilden sich aus ihnen nicht mehr beliebige Zelltypen. Stattdessen bilden sich aus den Stammzellen im Knochenmark zum Beispiel nur noch die verschiedenen Zelltypen des Blutes, wie weiße und rote Blutkörperchen. In den letzten Jahren wurden Stammzellen sogar in Geweben gefunden, von denen man vorher annahm, sie würden beim Erwachsenen nicht mehr nachwachsen – zum Beispiel im Gehirn. Gelänge es, diese Stammzellen erwachsener Menschen ebenso zu steuern wie die embryonalen Stammzellen, dann könnte man vielleicht eines Tages aus einer Blut-Stammzelle eines Patienten Ersatz für seine angegriffene Leber züchten. Abstoßungsreaktionen gäbe es dann nicht mehr und auch nicht die ethischen Bedenken wie bei embryonalen Stammzellen.

Auch für *Parkinson-Kranke* sind Stammzellen eine Hoffnung. Sie könnten dazu angeregt werden, sich zu Gehirnzellen zu entwickeln, die den Botenstoff *Dopamin* produzieren. Denn die Parkinson-Krankheit oder Schüttellähmung hängt mit einem Mangel dieses Botenstoffes zusammen.

### **Universellen Reparaturzellen auf der Spur?**

Noch größere Möglichkeiten könnte aber eine spektakuläre Entdeckung aus Boston eröffnen. Forscher an der *Harvard Medical School* glauben, einer Art universeller Reparaturzellen des Körpers auf der Spur zu sein. Es handelt sich dabei um extrem kleine, undifferenzierte Zellen, die Wissenschaftler in aller Welt bislang für Verunreinigungen ihrer Präparate hielten. Jetzt gibt es Hinweise, dass sich diese ruhenden Zellen unter ganz bestimmten Bedingungen in die verschiedensten Zelltypen entwickeln können. Das deutet darauf hin, daß sie eine Art „Vorläufer-Stammzellen“ von Erwachsenen sein könnten. Bis jetzt haben die Bostoner Forscher die Zellen in etwa zwanzig verschiedenen Gewebetypen nachgewiesen. Den Bostoner Wissenschaftlern ist es mit Hilfe dieser Zellen bereits gelungen, querschnittgelähmte Mäuse wieder zum Laufen zu bringen. Doch bis Menschen mit dieser Methode geheilt werden können, wird es mit Sicherheit noch Jahre dauern. Und auch dann werden die Chancen umso besser sein, je weiter entfernt vom Gehirn das Rückgrat durchtrennt ist. Denn dann müssen nicht so viele neue Verbindungen mit gelähmten Körperteilen neu hergestellt werden.

## Individuelle Lösungen statt vorgefertigter Ersatzteile

In den vergangenen zehn Jahren haben die Wissenschaftler beachtliche Erfolge erzielt. *Tissue Engineering* bietet inzwischen Möglichkeiten, früher nicht oder nur schlecht heilbare Krankheiten zu behandeln. Gleichzeitig zeigen die Erfahrungen der vergangenen Jahre jedoch,

daß sich nicht alle Ideen problemlos klinisch umsetzen lassen. Die Vorstellung von der „Ersatzteilmedizin“, in der Mediziner in den Schrank oder die Kühltruhe greifen und aus einer Unmenge vorgefertigter Ersatzteile herausnehmen, ist überholt. Die Forschung konzentriert vielmehr sich auf individuelle Lösungen für jeden Patienten. Die Mediziner wollen sich zunehmend Selbstheilungskräfte zunutze

machen, sie stimulieren und steuern. Die bisherigen Forschungsergebnisse sind vielversprechend. Ob und wann es tatsächlich einmal möglich sein wird, Querschnittslähmungen, schwere Lebererkrankungen oder ein schwaches Herz mit Ersatz aus dem eigenen Körper zu behandeln, kann heute allerdings niemand mit Sicherheit vorhersagen.

Dieses Bild kann aus urheberrechtlichen Gründen nicht angezeigt werden

# Das menschliche Erbgut

Genpatente – Gendiagnosen – Gentherapien

Von Stefanie Seltmann

Am 26. Juni 2000 präsentierten Genforscher die beinahe vollständige Entschlüsselung des menschlichen Genoms. Dieser wissenschaftliche Durchbruch birgt sowohl Hoffnungen als auch Risiken. Einerseits könnten defekte Erbanlagen ausgetauscht oder repariert werden. Vergleichsweise einfach ist das bei allen Krankheiten, die nur auf einem einzigen fehlerhaften Gen beruhen wie die Bluterkrankheit, erblicher Veitstanz, Mucoviszidose. Schwieriger ist das Problem, wenn mehrere Gene und die Umwelt verhängnisvoll zusammen spielen wie bei Krebs oder Herz-Kreislauf-Krankheiten. – Die Entschlüsselung des menschlichen Genoms läßt allerdings Erbanlagen erkennen, bevor eine Krankheit ausgebrochen ist. Werden in Zukunft Arbeitgeber oder Krankenversicherungen sich einen Genpass vorlegen lassen? Die Diskussion um die ethischen Probleme der Gen-Forschung steht erst am Anfang. Red.

## Der Wettlauf um die Entschlüsselung des menschlichen Erbguts

Anfang April dieses Jahres gab der Amerikaner *Craig Venter* bekannt, er hätte 99 Prozent des menschlichen Erbguts entschlüsselt. Und das in nur rund zwei Jahren! Damit blamierte er vor allem die öffentlich geförderten Genomforscher, die eigens eine *Human-Genom-Organisation* gegründet hatten, abgekürzt HUGO, um dem Mammutprojekt mit vereinten Kräften zu Leibe zu rücken. Über 100 Arbeitsgruppen weltweit hatten das Erbgut stückchenweise unter sich aufgeteilt, um nach und nach die entschlüsselten Abschnitte zu einem großen Ganzen zusammenzusetzen. Das war aber schon 1989 gewesen, also vor über 10 Jahren! Wie also konnte *Craig Venter* im Alleingang die weltweite Organisation überholen? Zum Ersten war es natürlich kein Alleingang: *Craig Venter* hat in seiner Firma *Celera* an die 200 Mitarbeiter und besitzt außerdem Computer, die zu den schnellsten der Welt gehören. Und die braucht er, weil er eine völlig andere „Entschlüsselungstechnik“ einsetzt als HUGO: Die sogenannte *Schrotschuß-Methode*, bei der er die menschliche Erbsubstanz in kleine Bruchstücke zerlegt. Die einzelnen Bruchstücke – 60 Millionen Stück! – werden sequenziert, also die Reihenfolge der Bausteine, der sogenannten Basen, bestimmt, und das Ergebnis anschließend in die Computer eingegeben. Die erledigen dann den Rest der Arbeit, indem sie die Puzzlesteine zum Gesamtbild zusammenfügen. Das zumindest behauptet *Venter*, vorgelegt hat er seine Ergebnisse noch nicht! „Diese Methode ist viel zu unge-

nau“, glaubt denn auch Professor *André Rosenthal* vom *Institut für Molekulare Biotechnologie* der Universität Jena, „*Craig Venter* wird Tausende von Fehlern machen!“ prophezeit er seinem Konkurrenten in den USA. Und dennoch war *Venter* dabei, als HUGO kürzlich auf vier gleichzeitigen Pressekonferenzen weltweit eine beinahe vollständige Karte des menschlichen Erbguts vorgelegt hat. Seite an Seite mit *Francis Collins*, dem Chef von HUGO, verkündeten die beiden ehemaligen Kontrahenten den großen wissenschaftlichen Durchbruch. Wie die weitere Zusammenarbeit aussehen wird, bleibt abzuwarten, doch eins hat *Craig Venter* jedenfalls erreicht: Daß HUGO sich mächtig anstrengt, dem Privatforscher das Feld nicht kampflos zu überlassen.

## Es geht um die Patentierung – und um viel Geld

Denn im Wettlauf um das menschliche Erbgut geht es um mehr als um wissenschaftlichen Ruhm: Wer ein Gen zuerst entdeckt und eine ungefähre Vorstellung davon hat, welche Aufgabe es im menschlichen Körper erfüllt, kann es patentieren lassen – und damit reich werden! Vorbild ist die amerikanische Firma *Amgen*, die das Gen für ein blutbildendes Hormon, das *Erythropoitin*, geschützt hat. Das Gen hat *Amgen* in Bakterien eingeschleust, die das Hormon jetzt in großen Mengen äußerst billig herstellen. Aufgereinigt wird es weltweit an Dialyse-Patienten verkauft – manchmal auch als Doping-Mittel an Radsportler – und beschert *Amgen* so einen Jahresumsatz von einer Milliarde Dollar! Ein einziges Gen! Kein Wunder, daß *Craig Venter* schon auf 6000 menschliche Gene einen Patentantrag gestellt hat – und kein Wunder, daß HUGO das verhindern will! Mit Hochdruck publizieren die Wissenschaftler jetzt die Sequenz von einem Chromosom nach dem anderen, denn veröffentlichte Sequenzen sind vom Patentschutz ausgeschlossen. Und dabei geht es nicht einmal darum, *Venter* um den verdienten Gewinn seiner Anstrengungen zu bringen: Man will nur verhindern, daß hier Tausende von spannenden Genen, also Gene, die etwas mit Krankheiten zu tun haben, in der Schublade verschwinden. Denn vom Gen zum Medikament ist es ein weiter Weg und den wird selbst ein *Craig Venter* nicht alleine schaffen. Die öffentliche Forschung an patentierten Genen ist zwar erlaubt, aber Pharmafirmen, die den Aufwand einer Medikamentenentwicklung finanziell und personell leisten könnten, werden natürlich abgeschreckt, wenn der eventuelle Gewinn mit dem Patentinhaber geteilt werden müßte.

## Die Hauptarbeit kommt erst noch: die Funktionsanalyse

Bevor jedoch an Medikamentenentwicklung überhaupt gedacht werden kann, muß erst einmal herausgefunden werden, welche Aufgabe ein Gen in der Zelle erfüllt: Die sogenannte Funktionsanalyse. Denn das Humane Genomprojekt liefert zunächst nichts weiter als die exakte Reihenfolge von den 3 Milliarden Bausteinen des menschlichen Erbguts, verteilt auf 23 Chromosomen. Nach Ansicht aller Beteiligten beginnt die wahre Herkulesarbeit erst dann: Nämlich den Text zu verstehen, der da in unserer Erbsubstanz, der DNA, verschlüsselt ist. Und hier scheint die große Stunde der deutschen Genforscher zu kommen: „In der Funktionsanalyse wird Deutschland nicht nur dabei sein, da wird Deutschland vorn sein“, behauptet *Rudi Balling* vom GSF Forschungszentrum bei München. Er ist selbst einer von den Wissenschaftlern, die sich mit den Aufgaben der Gene im Körper befassen. Dazu schaltet er bei Mäusen gezielt einzelne Gene aus, um anschließend zu beobachten, was bei diesen sogenannten *knock-out*-Mäusen passiert. Und was bringt das für die Genanalyse des Menschen? *Balling* lacht: „Mensch und Maus sind sich viel ähnlicher als man das vermutet hätte. Die allermeisten Gene haben genau die gleiche Funktion in der Maus wie im Menschen.“ Kollegen von *Balling* arbeiten sogar mit Fischen, Fliegen oder Würmern, und auch bei diesen vergleichsweise einfachen Organismen ähneln sich die Gene von Mensch und Tier zum Teil sehr stark. So entdeckte zum Beispiel die Nobelpreisträgerin von 1995, *Christiane Nüsslein-Vollhard* aus Tübingen, bei der Taufeliege *Drosophila* viele Gene, die während der Embryonalentwicklung eine Rolle spielen. Und obwohl ein Fliegenembryo – eine Made! – nun wahrlich anders aussieht als ein werdender Mensch, bestimmen die gleichen Gene, wo und wann ein Auge entsteht oder wo später einmal vorne und wo hinten ist. *Ralf Baumeister* vom Genzentrum in Martinsried dagegen hat ein Gen im Fadenwurm *Caenorhabditis elegans* entdeckt, das beim Menschen die Alzheimer-Krankheit auslöst: Zerstörte er dieses Gen beim Wurm, wurde der zwar nicht vergeblich, aber er konnte keine Eier mehr legen. Pflanzte *Baumeister* dem *knock-out*-Wurm daraufhin das menschliche Alzheimer-Gen ein, klappte das Eierlegen wieder: Offenbar konnte das menschliche Gen die Aufgabe des Wurmgens auf molekularer Ebene übernehmen! „Wenn man ein Krankheitsgen beim Menschen gefunden hat, findet man diese Erbanlage mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 Prozent auch beim Fadenwurm“, erklärt *Bau-*

Dieses Bild kann aus urheberrechtlichen Gründen nicht angezeigt werden

meister, von den 289 bisher identifizierten Krankheitsgenen beim Menschen existieren 177 auch bei der Taufeliege.

#### 6000 menschliche Krankheiten durch den Ausfall eines einzigen Gens verursacht

Etwa 6000 Krankheiten des Menschen sind sogenannte monogenetische Erbkrankheiten, bei denen der Ausfall eines einzigen Gens die Krankheit verursacht. Sie werden nach den Regeln vererbt, die der Augustinermönch *Gregor Mendel* im 19. Jahrhundert bei Erbsen gefunden hatte. Zu diesen Krankheiten gehört die *Mucoviszidose*, bei der zäher Schleim die Lungen der Patienten verstopft, der erbliche *Veitstanz*, die *Sichelzellenanämie* oder die *Bluterkrankheit*. Aber auch so seltene Krankheiten wie die erbliche *Nachtblindheit* oder eine Immunschwäche namens *Wiskott-Aldrich-Syndrom* werden durch ein einziges defektes Gen ausgelöst. „Diese Gene haben wir bald“, glaubt *Alfons Meindl* von der Abteilung Medizinische Genetik der Ludwig-Maximilians-Universität München. Doch wie findet man ein Krankheitsgen beim Menschen? *Knock out*-Mutanten entsprechend der Maus sind nicht nur ethisch undenkbar, sondern auch technisch gar nicht machbar. Die Suche nach einem bestimmten Krankheitsgen beginnt daher meist mit der Nachricht über eine Familie, in der diese Krankheit gehäuft vorkommt. Die genetische Ausstattung der gesunden Familienmitglieder wird mit der der Erkrankten verglichen, und dabei kommen die Genetiker dem gesuchten Gen langsam aber sicher auf die Spur.

#### Der erbliche Veitstanz: ein „Kratzer in der Platte“

Wie im Beispiel der *Chorea Huntington*, des erblichen Veitstanzes. Diese Nervenerkrankung hat ihren Namen zum einen von *Chorea*, den Bewegungsstörungen, die die Krankheit begleiten, und von *George Huntington*, dem amerikanischen Arzt,

der die Krankheit 1872 zum erstenmal beschrieb. Als markantestes Merkmal nennt *Huntington* einen „Schüttelkrampf der willkürlichen Muskeln“, der allmählich einsetzt, sich über die Jahre verschlimmert, bis das „unglückliche Opfer nurmehr ein zitterndes Wrack ist“. Darüberhinaus erleiden die Kranken einen geistigen Verfall, der im Schwachsinn endet. Zehn bis zwanzig Jahre dauert die Krankheit, bevor sie mit dem sicheren Tod endet. Die Gehirne der Verstorbenen zeigen massenhaft zugrundegegangene Nervenzellen. Schon vor dem „Gen-Zeitalter“ wußten die Mediziner, daß der Veitstanz vererbt wird, und zwar dominant: Von den beiden *Huntingtin*-Genen, die jeder Mensch von Vater und Mutter erbt, muß nur eines fehlerhaft sein, damit die Krankheit zum Vorschein tritt. Und so selten ist der Veitstanz nicht: Von 20 000 Menschen leidet einer an ihr, in Deutschland sind das etwa 7000 bis 8000 Menschen. Eine der weltweit größten Ansammlungen von Opfern der erblichen *Chorea* ist eine Großfamilie in Venezuela: Aufmerksam auf sie wurde ein venezolanischer Arzt Anfang der sechziger Jahre, nachdem er gehört hatte, daß am Maracaibo-See eine Gruppe ständig Betrunkener leben würde. Von 1981 an reiste alljährlich ein amerikanisches Wissenschaftlerteam zum See, um die Familienmitglieder zu untersuchen, ihre Verwandtschaftsverhältnisse zu klären und Blutproben zu nehmen, zwecks späterer Genanalyse.

Doch es dauerte noch bis zum Jahr 1993, ehe das *Huntingtin*-Gen auf dem Chromosom 4 dingfest gemacht werden konnte. Als Krankheitsauslösender Fehler entpuppte sich ein „Kratzer in der Platte“: Mitten im Gen wiederholte sich die Buchstabenkombination CAG, also die Basen *Cytosin*, *Adenin* und *Guanin*, bis zu 180mal! Normalerweise kommt dieses Triplet höchstens 11 bis 34 mal hintereinander vor! Je öfter sich die CAGs wiederholen, desto früher bricht die Krankheit aus, und desto schwerer verläuft sie. Warum das so ist, hat *Erich Wanker* mit seiner Arbeitsgruppe am Berliner *Max-Planck-Institut für molekula-*

*re Genetik* herausgefunden: Die Kombination CAG steht in der Erbsubstanz für die Aminosäure Glutamin im fertigen Eiweiß: Je mehr Glutamine im Eiweiß aneinander gereiht sind, desto leichter verklumpen die Moleküle miteinander und verstopfen so den Kern der Nervenzellen, was schließlich zum Tod der Zellen führt.

#### Der Mucoviszidose auf der Spur

Bei der Mucoviszidose mußte man nicht bis Südamerika reisen, um dem Gen auf die Schliche zu kommen. Diese Krankheit, auch *Cystische Fibrose* genannt, (weil die Bauchspeicheldrüse der Kranken vermehrt Bindegewebe bildet (Fibrose), das mit flüssigkeitsgefüllten Hohlräumen durchsetzt ist (Zysten)) ist die häufigste Erbkrankheit in Mitteleuropa, jeder 20. Mensch hat ein defektes Gen in seinem Erbgut. Trotzdem wird nur jedes 2000. Kind mit der Krankheit geboren, denn im Gegensatz zur *Chorea Huntington* wird die Mucoviszidose rezessiv vererbt: Nur wer sowohl vom Vater als auch von Mutter das CF-Gen erbt, wird krank. 1989 verkündete ein Amerikanisch-Kanadisches Forscherteam unter der Leitung von *Francis Collins* (dem heutigen Leiter des Humanen Genomprojekts), sie hätten nach achtjähriger Suche das Mucoviszidose Gen auf dem Chromosom 7 gefunden: 250 000 Bausteine lang ist das Ungetüm, und entsprechend viele verschiedene Fehler treten darin auf, die alle zu unterschiedlich schweren Ausprägungen der Krankheit führen. Das Eiweiß, das von dem Gen hergestellt wird, ist ein sogenannter Ionenkanal, der in der Membran von Drüsenzellen sitzt. In den Bronchien, den Schweißdrüsen und im Verdauungstrakt kontrolliert er die Ein- und Ausfuhr von Chloridionen. Je nachdem, ob der Kanal nur etwas kleiner ist oder ob er total fehlt, reichen die Auswirkungen von männlicher Unfruchtbarkeit bis hin zu schwersten Krankheiten, die nach ungefähr 20 Jahren mit dem Leben unvereinbar sind. Der häufigste Fehler jedoch – er tritt bei rund einem Drittel der Patienten auf – besteht in dem Fehlen von nur drei Bausteinen in der Erbsubstanz, wodurch der Kanal nur um eine einzige Aminosäure kürzer wird – von 1480 Aminosäuren insgesamt! Das aber führt dazu, daß er den Ionentransport aus der Zelle nicht mehr regeln kann, er ist funktionslos.

#### Vom Gen zur Therapie

Und wie kommt es nun vom Gen zur Therapie? Da gibt es verschiedene Möglichkeiten: Im Beispiel von Amgen wird das Gen selbst zur Produktion des fehlenden Hormons benutzt (siehe oben) und den Patienten dann intravenös verabreicht. Im Fall der *Chorea Huntington* geht das natürlich nicht so einfach, denn hier fehlt das Eiweiß ja nicht, ganz im Gegenteil, es müßte eher beseitigt werden. *Erich Wanker* schleuste das *Huntingtin*-Gen in Bakterien ein und ließ die Mikroben das menschliche Eiweiß herstellen: Er fand heraus, daß ab der Anzahl von 51 Glutaminen die Eiweiße zu unlöslichen Faserbündeln verklumpen. Englische Forscher am Londoner *Guy's Hospital*

schleusten währenddessen das Huntingtin Gen in Mäuse und fanden die unlöslichen Faserbündel in den Nervenzellkernen der Tiere wieder. Damit war das Krankheitsmodell bewiesen. Doch wie nun weiter? Es müßte doch möglich sein, das Verklumpen irgendwie zu verhindern. Sozusagen vorsorglich, denn die Krankheit braucht ja lange genug, um zu entstehen, obwohl das kranke Gen ja von Geburt an da ist. *Erich Wanker* testete daraufhin eine ganze „Bibliothek“ von chemischen Substanzen, insgesamt 180 000 verschiedene!, auf ihre Fähigkeit, diesen „Verklumpungseffekt“ zu verhindern. Nach dem ersten Durchsuchen kamen 700 in die engere Auswahl, nach weiteren Tests blieben immerhin noch 70 vielversprechende Kandidaten übrig. Die ersten 10 werden derzeit in der Zellkultur getestet, ob sie sich unter lebenden Bedingungen immer noch bewähren. Die hieraus übrig gebliebenen werden dann nach England geschickt, um sie in der „Huntingtin“-Maus zu testen. Und erst wer hier besteht, hat die Chance, in klinische Studien am Menschen aufgenommen zu werden, was auch noch einmal ein paar Jahre dauern wird. Trotzdem ist hier ein hoffnungsvoller Ansatz vorhanden, eine der gefürchtetsten Nervenkrankheiten den Schrecken zu nehmen!

### **Gentherapie – Rückschläge, aber auch eindrucksvolle Beispiele**

Bei der *Mucoviszidose* könnte man das Gen zwar auch in Bakterien stecken und die Mikroben den Kanal produzieren lassen, aber wie soll man ihn anschließend in die Zellen bekommen? Genau in die Zellmembran? Praktischer wäre es schon, den Kanal sozusagen vor Ort herstellen zu lassen, das Gen also in die Drüsenzellen zu schleusen und dort zu aktivieren. Genau das beabsichtigen Forscher in aller Welt im Rahmen der Gentherapie: Eine Therapie mit Genen. Leider haben die Wissenschaftler ausgerechnet bei der Mukoviszidose viele Rückschläge einstecken müssen, so daß hier wohl noch eine Weile auf eine Gentherapie gewartet werden muß, aber daß die Gentherapie im Prinzip keine schlechte Idee ist, das beweisen einige eindrucksvolle Beispiele.

Zum Beispiel in Paris. Dort kann *Alain Fischer* vom Kinderkrankenhaus *Necker* für sich beanspruchen, der erste gewesen zu sein, der mit der Gentherapie tatsächlich Patienten geheilt hat. Er behandelte zwei kleine Mädchen, die eine schwere angeborene Immunschwäche hatten. So schwer, daß sie nie ihre keimfreie Umgebung im Krankenhaus verlassen durften, geschweige denn mit anderen Kindern hätten spielen können. Der Grund für ihre Krankheit war ein defektes Gen in den Zellen ihres Abwehrsystems, den weißen Blutkörperchen. *Alain Fischer* isolierte nun unreife weiße Blutkörperchen, sogenannte Stammzellen, aus dem Blut der Kinder. In diese Stammzellen schmuggelte er mithilfe von Viren das Gen, das den Abwehr-Zellen der Kinder fehlte. Stammzellen haben den Vorteil, daß sie sich unbegrenzt vermehren können, und dabei reife Abwehrzellen bilden. Also spekulierte *Fischer*, daß die gentherapierten Stammzel-

len nun gesunde Abwehrzellen liefern sollten. Im Reagenzglas testete er diese Idee erst einmal aus, und als sich tatsächlich viele funktionstüchtige weiße Blutkörperchen bildeten, gab *Alain Fischer* den Kindern ihre reparierten Stammzellen zurück ins Blut. Das war im März 1999. Und, man glaubt es kaum, seither sind die Kinder gesund, sie leben zuhause bei ihren Eltern und sind widerstandsfähig gegen Infektionen! Noch weiß niemand, ob die Wirkung der Gentherapie wirklich lebenslang andauern wird, aber sensationell ist die Sache jetzt schon!

### **Mehr als Therapie: Heilung**

*Clifford Steer* von der Universität von Minnesota hat sich die *Bluterkrankheit* vorgenommen: Sie ist eine Erbkrankheit, bei der ein einziger Fehler in einem einzigen Gen die fatale Folge hat, daß das Blut nicht mehr gerinnen kann. Die Patienten erhalten deshalb einen Ersatzstoff aus Blutkonserven, doch damit droht ihnen neue Gefahr: Viele von ihnen sind mit dem AIDS-Erreger HIV infiziert. *Steer* sagte sich nun: Wenn die Patienten nur diesen einen Fehler in ihrem Gen haben, der Rest des Gens aber noch in Ordnung ist, dann müßte das doch eigentlich repariert werden können! Sozusagen eine Gen-Therapie im eigentlichen Sinne, eine Behandlung des kranken Gens und zwar direkt vor Ort, in der Zelle. Seine Vorgehensweise erklärt er so:

„Wir benutzen ein sogenanntes Oligonucleotid, es ist sehr klein, nicht so groß wie das Gen, nur wie ein kleiner Ausschnitt davon. Aber es findet das Gen, an dem wir interessiert sind, und es findet sogar genau den Abschnitt auf dem Gen, den wir verändern wollen. Und dann erklärt das Oligonucleotid auf komplizierte Art und Weise der Reparaturwerkstatt der Zelle, daß wir diese Reparatur wollen und daraufhin repariert die Zelle ihren eigenen Fehler! Und sobald der Fehler behoben ist, ist er für immer korrigiert. Die genetische Information der Zelle wird sozusagen neu geschrieben. Und zwar irreversibel und damit haben wir hier keine Therapie sondern eine Heilung!“

Es genügt übrigens, nur in einigen Zellen das kranke Gen zu reparieren, um den Gerinnungsfaktor in ausreichender Menge herstellen zu können. Allerdings muß es sich um eine Leberzelle handeln, denn nur sie besitzt die Fähigkeit, den Faktor zu bilden und ihn anschließend ins Blut abzugeben. Damit also das *Oligonucleotid*, das kurze Genstückchen mit der korrekten Information, die Leberzellen auch findet, koppelt *Clifford Steer* es an ein Hilfsmolekül, das spezifische Rezeptoren auf der Leber erkennt. Der Vorteil gegenüber anderen Gentherapie-Konzepten ist das völlige Fehlen von Viren, die häufig als Gefahren benutzt werden. Und gerade diese Viren stehen in letzter Zeit in der Kritik, da einige Todesfälle im Zusammenhang mit der Gentherapie auf eben diese viralen Gefahren zurückgeführt wurden.

Noch ist *Steer's* Gentherapie-Konzept in der sogenannten prä-klinischen Phase, das heißt: im Tierversuch. Bluterkrankte Hunde und Ratten konnte er schon heilen, ab Herbst dieses Jahres werden die ersten

Patienten rekrutiert. Allerdings keine Bluter, sondern Menschen mit einem bestimmten Eiweißmangel, der bewirkt, daß sie quasi dauernd an Gelbsucht leiden: ihre Leber kann den roten Blutfarbstoff nicht vollständig abbauen und dessen unverdaute Reste bedrohen alle Organe inklusive des Gehirns. Der Vorteil von *Clifford Steer's* Ansatz ist, daß er sich im Grunde genommen für jede Erbkrankheit eignet, die auf einem einzigen Fehler in der Erbsubstanz beruht. Man muß nur den genauen Fehler kennen und das dazu passende *Oligonucleotid* entwickeln, das die richtige Sequenz enthält. Anwendungsmöglichkeiten gibt es genug!

„Wir versuchen natürlich auch Systeme zu entwickeln, die auf andere Organe zielen, denneswäre doch schön, wenn man Krankheiten wie die Mukoviszidose in der Lunge oder die Sichelzellanämie im Knochenmark behandeln könnte“, schwärmt *Steer*, „das sind Projekte, die wir entwickeln und das Hauptziel sind natürlich zielsichere Systeme, die genau die Zelle erreichen, die wir wollen. Wenn wir das schaffen, und ich bin davon überzeugt, daß wir das tun, wird es eine Reihe von Krankheiten außerhalb der Leber geben, die wir mit unserem System behandeln können.“

### **Die Volkskrankheiten sind nicht auf ein einziges Gen zurückzuführen**

Allerdings ist nur etwa ein Prozent der Bevölkerung von den „Ein-Gen“-Krankheiten betroffen und so wird ihnen *Clifford Steer's* Ansatz – so genial er auch sein mag – nichts nützen. Die weitaus meisten Beschwerden des Menschen sind nicht auf ein Gen allein zurückzuführen. Bluthochdruck, Diabetes, Herz-Kreislaufkrankheiten oder Krebs entstehen durch das Zusammenspiel mehrerer Gene, und die Umwelt mischt auch noch kräftig mit! Wie will man solche Gene aufspüren? Auch hier werden Patienten, die an Bluthochdruck oder Diabetes leiden, in ihrer genetischen Ausstattung mit gesunden Menschen verglichen. Aus den Unterschieden können die Forscher manchmal auf sogenannte Risikogene schließen, die ihren Träger anfälliger machen für eine bestimmte Krankheit. Die Risikogene verursachen also eine Krankheit nicht direkt, sondern sie fördern ihre Entstehung. Erst wenn gleichzeitig weitere Risikofaktoren dazukommen, seien sie nun genetisch oder Umwelt-bedingt, kommt die Krankheit zum Vorschein. So könnte eine genetische Analyse dem Raucher nahelegen, besser dem blauen Dunst zu entsagen, weil er aufgrund seiner Erbanlagen zur Arteriosklerose neigt und damit ganz besonders gefährdet ist, einen Herzinfarkt zu erleiden.

### **Neue Adern sprießen lassen**

Und obwohl diese „multifaktoriellen Krankheiten“ so kompliziert erscheinen, lassen sich Gentherapeuten auch hier etwas einfallen. Zum Beispiel im Fall der Arteriosklerose, deren Folgen vom Herzinfarkt bis zu amputierten Beinen reichen, je nachdem, ob die Herzkranzgefäße oder die Beinarterien verstopft sind. Ein Ansatz der Mediziner besteht darin, als Ersatz für

die verstopften Gefäße neue Adern sprießen zu lassen. Dazu bringen sie das Gen für einen Gefäßwachstumsfaktor, das sogenannte VEGF, direkt vor Ort, und zwar mit einem Katheter, der durch die Leiste eingeschoben wird. Professor *Carl Diehm*, Herz-Kreislaufspezialist am Klinikum Karlsbad Langensteinbach, beschreibt das Vorgehen:

„Über den Katheter wird dann eine Punktion des Herzmuskels vorgenommen, in verschiedenen Regionen, vor allen Dingen da, wo die Durchblutungsstörung vorliegt, und man injiziert die nackte DNA, die Erbsubstanz, für die Neubildung von Blutgefäßen direkt in den Herzmuskel.“

Derzeit läuft eine solche Gentherapie-Studie in den USA mit mehr als 1000 Patienten, und der Ausgang dieser großen Studie muß abgewartet werden, bevor endgültig über den Nutzen der neuen Therapie entschieden werden kann. Aber die ersten behandelten Patienten waren begeistert. Ihr Herzmuskel war eindeutig besser durchblutet, wodurch sie wesentlich seltener Angina-Pectoris-Anfälle hatten.

### **Genchips oder wie man fehlerhafte Erbinformationen findet**

Doch zurück zur Gensuche: Wie vergleicht man eigentlich die genetische Ausstattung zweier Menschen, der eine gesund, der andere krank? Den Schlüssel dazu liefern heute sogenannte Genchips, kleine Glasplättchen, auf denen die DNA, die Erbsubstanz, stückchenweise verankert werden kann. Die leistungsfähigsten Chips bieten auf einer Fläche von gerade mal 2 auf 2 Zentimetern allen Genen des Menschen auf einmal Platz! Und das sind nach vorsichtiger Schätzung mindestens 40 000 Stück! Das Funktionsprinzip der Genchips liegt in der Struktur der DNA begründet: Sie sieht aus wie eine lange Leiter mit vielen Sprossen. Schneidet man die Leiter der Länge nach durch, weiß jede Sprossenhälfte noch, an welche Stelle sie gehört, denn die beiden Leiterhälften passen zueinander wie der Schlüssel ins Schloß. Auf dem Chip ist nun die eine Hälfte der DNA-Leiter befestigt – zum Beispiel die „gesunde“ Erbsubstanz – und in der Probe vom Patienten, die man auf den Chip gibt, findet sich zu den allermeisten Genen das passende Gegenstück. Aber bei einem Gen – oder bei mehreren – paßt es vielleicht nicht, denn schon eine einzige fehlerhafte Sprosse fällt auf! Und damit lassen sich auch Krankheiten oder Veranlagungen feststellen, die auf dem Zusammenspiel mehrerer Gene beruhen.

### **Krankheiten erkennen, bevor sie entstehen**

Doch so viel versprechend die Ideen der Forscher und Mediziner auch sein mögen: in naher Zukunft werden nicht neue Therapien, sondern Diagnosemöglichkeiten im Vordergrund stehen, die sich mit dem wachsenden genetischen Wissen auf tun. Man wird, wie im Fall der oben erwähnten *Chorea Huntington*, Krankheiten erkennen können, bevor sie überhaupt entstehen. Oder Veranlagungen zu Krankheiten, die vielleicht nie ausbrechen. Ohne dem

Patienten – bis jetzt jedenfalls – irgendeine Therapie anbieten zu können. Womöglich wird man sogar Gene finden, die etwas mit Verhalten zu tun haben, mit Intelligenz, mit Gewaltbereitschaft. Schon jetzt liest man, nicht nur in der Regenbogenpresse, sondern auch in angesehenen Fachjournalen, von Mäusen, die dank eines zusätzlichen Gens angeblich intelligenter, ängstlicher oder aggressiver geworden seien. Wird man also in Zukunft sein im Reagenzglas gezeugtes Kind auf Intelligenzgene untersuchen? Seinen Gatten in spe erstmal auf sein Erbgut ansprechen? Wird man bei einer Bewerbung, sei es um den Arbeitsplatz oder um den Versicherungsschutz, neben dem Lebenslauf den Gencheck vorlegen müssen? Die Möglichkeiten der Gentechnik wachsen so rasant, daß man kaum mit dem Überlegen hinterherkommt, geschweige denn mit der geforderten gesellschaftlichen Diskussion oder gar einer Gesetzgebung nach bioethischen Richtlinien.

### **Umstrittener Gencheck**

„Den Versicherungen kann man den Pflichtgentest vielleicht verbieten“, sagt *Rudi Balling* von der GSF in München, „aber Sie können ja schlecht verhindern, daß der Kunde seinen Genpaß freiwillig vorlegt! Um damit eine niedrigere Prämie auszuhandeln, weil er besonders „gute“ Gene hat.“ Das Problem liegt für *Balling* demnach in der Gesellschaft selbst, bei jedem Einzelnen, wie er mit der geforderten Freiwilligkeit solcher Datenerhebungen umgeht. Ob aber der Einzelne überhaupt erlauben kann, was da an Wissen auf ihn zukommt, wenn er einen umfassenden Gencheck anfordert? Was es bedeutet, damit leben zu müssen, mit 70 prozentiger Wahrscheinlichkeit an Darmkrebs zu erkranken? Mit 30%iger Wahrscheinlichkeit an Alzheimer zu sterben? Eine Veranlagung zu Allergien zu besitzen? Kein Humangenetiker der Welt wird eine begleitende Beratung für das Ergebnis eines Genscreens vornehmen können, bei dem 100te von Prognosen beurteilt werden müssen. Kritiker befürchten schon eine Gesellschaft von „Scheinkranken“, die die Sozialversicherungen Millionen Kosten verursachen werden, weil sie bei dem geringsten Anzeichen ihre „Krankheitsprozente“ im Kopf haben!. Ein ganz anderes heikles Kapitel ist natürlich die vorgeburtliche Diagnostik. Denn auch hier steigen die Vorhersagemöglichkeiten beinahe täglich. Soll man ein Kind abtreiben, das vielleicht taub geboren wird? Das aller Wahrscheinlichkeit nach Asthma haben wird? Das in hohem Alter an Alzheimer erkranken wird?

### **Ethische Begleitforschung unabdinglich**

Das BMBF, das *Bundesministerium für Bildung und Forschung*, stellte im März acht Projekte zur ethischen Begleitforschung des Humangenomprojekts der Öffentlichkeit vor. Sie befassen sich mit Fragen der gesellschaftlichen Auswirkungen der DNA-Chip-Technologie, der Qualitätssicherung in der genetischen Beratung, der Präimplantationsdiagnostik (der genetischen

Untersuchung von im Reagenzglas gezeugten Embryonen) sowie Überlegungen zur Patentierbarkeit menschlicher Erbanlagen. Drei Jahre lang werden die Projekte mit insgesamt 3,5 Millionen Mark gefördert. Da kann man nur hoffen, daß es nicht so ausgeht wie in den Vereinigten Staaten: Dort gab die Leiterin jener Arbeitsgruppe, die die ethischen, rechtlichen und sozialen Folgen des Humanen Genomprojektes untersuchen sollte, *Lori B. Andrews*, nach nur einem Jahr ihren Posten auf. Warum? „Weil wir feststellen mußten, daß unsere Arbeit den Forschern eher als Feigenblatt diente, sodaß sie sagen konnten: ‚Seht her, wir tun auch etwas für die Ethik‘, um uns dann hinterher genau zu kontrollieren“ beklagte sie sich in einem Interview in der ZEIT. Hierzu-lande ist die Begleitforschung unabhängig vom Humangenomprojekt, ein großer Vorteil gegenüber der amerikanischen Arbeitsgruppe, die im Prinzip von den Leuten bezahlt wurde, die sie überwachen sollte. Welche Konsequenzen das Wissen um die Gene haben kann, bekommen die Amerikaner wesentlich deutlicher zu spüren als wir: Dort sind Genchecks bei Versicherungen und Arbeitgebern bereits an der Tagesordnung und sogar vor Gericht spielen sie eine Rolle: In einem Scheidungsprozeß forderte der Ehemann das Sorgerecht für das gemeinsame Kind, mit der Begründung, seine Frau werde vermutlich an der *Chorea Huntington* erkranken. Das Gericht ordnete daraufhin einen Gentest der Frau an, den diese jedoch ablehnte. Das Kind wurde dem Ehemann zugesprochen!

### **Ein zwiespältiges Fazit**

Was bringt uns also das Humane Genomprojekt? Wird es wirklich über kurz oder lang zur medizinischen Revolution führen, mit Gentherapien für sämtliche Krankheiten, molekularen Arzneien gegen alle Gebrechen? Oder werden wir im medizinischen Wissen „ertrinken“, weil die sozialen Folgen unerträglich sind? Vermutlich weder noch. Auf lange Sicht werden wir alle vom – moderaten – medizinischen Fortschritt, den das Wissen um die Gene bringt, profitieren. Ein vergleichbarer Sprung in der Geschichte der Medizin, wie ihn etwa die Impfungen oder die Antibiotika gebracht haben, ist in absehbarer Zukunft jedoch nicht zu erwarten.

Und was ist mit den sozialen Folgen? Wird nicht jeder Mensch in seinen 3 Milliarden Bausteinen ein paar Fehler finden und daran verzweifeln? Vermutlich nicht, das glaubt jedenfalls *Jörg Hoheisel* vom Deutschen Krebsforschungszentrum in Heidelberg:

„Wir alle tragen jede Menge genetischer Defekte mit uns herum. Der Punkt ist, daß der Körper die meisten dieser Fehler einfach ausgleicht, das heißt, die wirken sich im menschlichen Leben überhaupt nicht aus. Der Großteil solcher Ergebnisse, die man aus solchen Schrotschußexperimenten erhalten würde, wären einfach für die Katz. Die sind so teuer und so unergiebig, daß sie niemand durchführen kann und auch niemand durchführen will!“  
Wollen wir es hoffen!

„Keine roten Haare bitte“

# Kinder nach Maß?

Medizinische, rechtliche und ethische Aspekte der Präimplantations-Diagnostik

Von Kurt Sauerborn

Seit 20 Jahren schon können Kinder im Reagenzglas gezeugt werden, eine halbe Million Menschen dieser Herkunft leben bereits auf unserer Welt. Inzwischen lässt sich bereits das Erbgut dieser befruchteten Zellen auf Erbkrankheiten hin durchsehen, vor Einpflanzung in den Mutterleib, mit Hilfe der Präimplantations-Diagnostik: Ist damit Tür und Tor geöffnet für Kinder nach Maß oder anders herum: für das Aussortieren potentiellen Nachwuchses mit unerwünschten Eigenschaften? Embryonenschutzgesetz in Deutschland sowie die Bioethik-Konvention setzen strenge Grenzen, wobei rechtlich dennoch erhebliche Unsicherheiten und Interpretationskontroversen bestehen. Vor dem Hintergrund des „Dritten Reiches“ und seiner Vernichtung „lebensunwerten Lebens“, aber auch unter Einfluss der Kirchen sind wir in Deutschland strenger als in anderen Kulturnationen. Ist dieser Rigorismus nicht zu weit getrieben, kann er manchmal vielleicht sogar inhuman wirken? Wird die Forschung nicht in einer Weise behindert, die letztlich auch zum Schaden von Menschen gehen kann? Der Autor hat hierzu eine klare Meinung. Red.

## Horrorvision oder zukunftsweisende Chance?

Die Phantasie der Menschen ist angeheizt, seit bekannt ist, dass nach der künstlichen Befruchtung im Labor ein Embryo schon in seinem frühesten Stadium als Zellverband auf schwere Erbkrankheiten untersucht werden kann. Die Diagnose steht, bevor diese Zellen in eine Gebärmutter eingepflanzt werden und sich dort einnisten können. Daher der Name für diese Maßnahme: *Präimplantationsdiagnose*, abgekürzt als PID. Und weil die moderne *Genanalyse* eine solche Diagnose ermöglicht, setzt sie auch Phantasien in jeder Richtung frei. Warum soll ein so unscheinbares Häuflein Zellen, das nur unter starker Vergrößerung im Mikroskop sichtbar ist, nicht auch auf Geschlecht und Haarfarbe untersucht werden, auf Merkmale wie Mut und Intelligenz? Einen Stammhalter wollen Eltern endlich haben, weil schon genug Mädchen da sind. Und eine Armee braucht keine Feiglinge, die Wissenschaft nicht Dummheit. Das alles nach Bedarf zu regeln, scheint doch kein Problem zu sein, zumal die Reproduktions- und Fortpflanzungsmediziner – so heißen die spezialisierten Experten unter den Gynäkologen – bei der künstlichen Befruchtung auf Nummer sicher gehen und gleich bis zu drei Eizellen befruchten, die zwar in der Regel, aber nicht immer alle einpflanzbar sind. Und wenn schon

überflüssige Embryonen existieren, warum nutzt man die nicht therapeutisch? Mit deren Zellgewebe kann man schwerkranken Menschen mit der *Parkinson-Krankheit* etwa helfen oder es lassen sich Organe damit züchten, auf die dringlich Transplantationsmediziner warten. Und wenn da schon auf dem Laborglas der embryonale Zellverband liegt, warum manipuliert man den nicht einfach gentechnisch, um gewünschte Eigenschaften des künftigen Menschen zu gestalten: *Embryo-Design*. Keine roten Haare kostet 100 000 Dollar, Einstein-Intelligenz 1 Million und Beckenbauer-Qualitäten 10 Millionen Dollar. Und ob nicht doch schon auf der Welt ein geklonter Mensch umherläuft oder auch nur krabbelt, weil er noch ganz klein ist? Das Schaf *Dolly* kam auch erst an die Öffentlichkeit, als es schon ganz schön groß war. Eine solche Mischung von abschreckenden Horrorvisionen und von zukunftsweisenden medizinischen Chancen treibt derzeit die Öffentlichkeit und vor allem die Forschung um. Deren Freiheit ist grundgesetzlich garantiert, sie darf neugierig sein auf Unbekanntes, Neues, das ist ihr Wesen. Doch sie ist andererseits gebunden an altbekannte Konventionen und Ideologien, an geschriebenes Recht und empfundene Ethik. Es wäre nicht das erste Mal, dass Forschung missbräuchlich betrieben wird, es wäre aber auch nicht das erste Mal, dass Forscher in gesellschaftlich opportune geistige Fesseln gelegt werden und andere Wissenschaftler anderswo die Nobelpreise gewinnen. Vielen reicht es ja, sich hinterher darüber zu beklagen, dass andere besser sind. Je komplizierter ein Forschungsinhalt ist, der Diskussionen anreizt, desto schmaler wird der Grat zum Handeln.

## PID: mit der Befruchtung im Reagenzglas fing es an

Ausgangspunkt für diese Diagnose war die Technik der künstlichen Befruchtung im Reagenzglas, die *in-vitro-Fertilisation* (IVF), die vor mehr als 20 Jahren begann. Entwickelt wurde die IVF, um Paaren, die Jahre unter unerfülltem Kinderwunsch litten, eine letzte Möglichkeit zu bieten, doch noch zu einem Kind zu kommen. Bei der Frau können beispielsweise als Hinderungsgrund die Eileiter verschlossen sein, beim Mann der Samen nicht die nötige Qualität haben, um eine Eizelle zu erreichen. Bei der künstlichen Befruchtung werden der Frau operativ bis zu drei befruchtungsfähige Eizellen entnommen. Es müssen mehrere Eier sein, weil einmal nicht jede künstliche Befruchtung auf Anhieb klappt und man zum andern den Frauen die Qual und Belastung weiterer

Eingriffe ersparen möchte. Die Eizellen müssen ja mit Punktion durch die Bauchdecke hindurch gewonnen werden. Weibliche Eizelle und männliche Spermienzelle verschmelzen im Reagenzglas miteinander, worauf die natürliche Zellteilung beginnt. Nach zwei Tagen werden die befruchteten Eier in die Gebärmutter zurückversetzt. In der Regel alle drei Eier, sodass es also bei einer künstlichen Befruchtung durchaus zu Mehrlingschwangerschaften kommen kann, aber ebenso als Regel gehen nicht alle Eier an. Wenn eine Frau die Prozedur des Einpflanzens mehrerer Eier nicht verträgt, dann ist es für diesen medizinischen Notfall erlaubt, restliche befruchtete Zellverbände aus Sicherheitsgründen solange in eine Tiefkühltruhe einzulagern, bis feststeht, dass schon eingepflanzte Embryozellen sich gut in der Gebärmutter entwickeln. Dann müssen die eingefrorenen Zellen nach Vorschrift des *Embryonenschutzgesetzes* vernichtet werden.

Bei diesem Vorgehen war nun anfänglich nicht auszuschließen, dass der implantierte Embryo unerkannt von einer schweren Erbkrankheit befallen war und sowohl die Eltern als auch die Ärzte auf ein dramatisches Unheil zusteuerten. Es konnte sich nämlich im Mutterleib ein schwerbehindertestes Kind entwickeln, was erst Wochen später mit der *Amniozentese*, der Fruchtwasseruntersuchung feststellbar ist und dann nach §218 eine straffreie Abtreibung ermöglicht. Die ganze aufwendige Prozedur der IVF war damit sinnlos und hinfällig, ihr Zweck nicht erreicht. Erst die molekularbiologischen Fortschritte der *Gen- und Chromosomenanalyse* ließen die Idee aufkommen, den vorliegenden sichtbaren Zellverband vor der Implantation auf schwere genetische Fehler zu untersuchen. Ein Embryo in seinem frühestem Stadium war damit für gesetzlich streng indizierte Diagnosen verfügbar geworden, bevor die Schwangerschaft einer Frau begonnen hatte. Das war die Geburtsstunde für PID, die es nun seit 10 Jahren und in inzwischen 12 Ländern gibt und die im Zeitraum bis Ende 1999 weltweit rund 400 mal angewendet wurde. Nach einer PID sind 100 gesunde Kinder geboren worden, die meisten davon kamen in Belgien und England auf die Welt. Die Indikation für PID war gegeben, wenn von Anfang an eine schwere genetische Belastung in den Familien der Eltern. Es musste also immer das Risiko für das Kind bestehen, schwer zu erkranken und früh zu sterben, z. B. an der gefürchteten *Muskeldystrophie*, dem Muskelschwund, der schon in frühen Lebensjahren den Rollstuhl erforderlich macht. Oder etwa an der *Mukoviszidose*, deren Symptom ein so zähflüssiger Schleim ist, dass ein Kind

daran ersticken kann. Entscheidend für die Anwendung von PID ist, dass die befürchtete Erbkrankheit auf Fehler bei einem Gen oder einem Chromosom zurückzuführen ist. Damit scheidet die als Horrordisziplin befürchtete Untersuchung auf rote Haare, blaue Augen oder Intelligenz grundsätzlich aus, denn diese körperlichen Merkmale und Eigenschaften entspringen einem – womöglich noch – undefinierbaren Gemisch mehrerer Gene und Chromosomen, das diagnostisch nicht beherrschbar ist.

Die *Technik* von PID: Zur Diagnose werden dem sich permanent teilenden Zellverband ein oder zwei Zellen entnommen, mehr nicht. Und die Erbsubstanz dieser Zellen wird nun auf ein fehlendes oder defektes Gen und damit auf eine Unregelmäßigkeit in einem Chromosom untersucht. „Und dies ist keine Angelegenheit für einen niedergelassenen Frauenarzt“, bekräftigt der Reproduktionsmediziner Prof. Dr. *Klaus Diedrich*, Direktor der Universitäts-Frauenklinik in Lübeck:

„Die Präimplantationsdiagnostik ist eine sehr aufwendige Maßnahme, sie ist mit der künstlichen Befruchtung verbunden, die bereits in vielen Zentren angeboten wird. Aber bei PID muss noch ein hochqualifiziertes genetisches Labor hinzukommen. Ich denke deswegen, dass diese Diagnose nur an wenigen, streng kontrollierten Zentren in Deutschland vorgenommen werden sollte, vielleicht an höchstens drei. Auf keinen Fall eignet sich die Methode für eine niedergelassene Praxis“.

#### **Die Rechtslage: Gleicht sie einem löchrigen Sieb?**

Über den Umgang mit der Präimplantationsdiagnostik wacht in Deutschland das *Embryonenschutzgesetz*. Und darin steht: PID ist verboten, und Forschung am Embryo ist verboten. Beim „*Deutschen Gynäkologen-Kongress*“ im Juni 2000 in München überraschten einige Ärzte mit der Aussage, PID sei nicht verboten, wenn bei strenger Indikation die Zellen zur Diagnose in einem Teilungsstadium entnommen würden, das vom Gesetz nicht gemeint sein kann. Das heißt konkret: Es bestehen offenbar *juristische Interpretationsschwierigkeiten*, sodass jeder Reproduktionsmediziner deswegen sicherheits halber einen Rechtsanwalt an seiner Seite haben sollte. Zwei Stimmen dazu. Der schon zitierte *Klaus Diedrich* aus Lübeck meint:

„Das Embryonenschutzgesetz hat sicherlich den Vorteil, dass es den Reproduktionsmedizinern einen festen gesetzlichen Rahmen bietet, in dem sie arbeiten dürfen und der damit auch alle Horrordisziplinen als unrealistisch erscheinen lässt, die im Zusammenhang mit Genmanipulation am Embryo aufkommen. Sein Nachteil ist aber, dass es fast 10 Jahre nach seiner Verabschiedung so starr ist und zu wenig den rasanten medizinischen Fortschritt berücksichtigt, den wir in Deutschland den betroffenen Paaren und Patienten bieten könnten.“

Mit der Betonung auf „Deutschland“ taucht der begründete Verdacht auf, international sei die Forschung am Embryo

anders geregelt. Ein Verdacht, den der Medizinrechtler Dr. *Hans-Georg Koch* vom „*Max-Planck-Institut für Strafrecht*“ in Freiburg bestätigt:

„Das Embryonenschutz-gesetz ist ein ziemlich restriktives, strenges Gesetz. Ob es Forschung bei uns im internationalen Vergleich beeinträchtigt, lässt sich nicht so ohne weiteres beantworten. Jede Nation muss ihr eigenes Maß setzen. Aber es macht schon nachdenklich, wenn andere Länder, in denen Embryonenforschung betrieben wird, auch Kulturnationen sind und in dem Zusammenhang um einiges großzügiger verfahren.“

Diplomatisch deutlich.

Bei einem Symposium des Bundesgesundheitsministeriums Ende Mai in Berlin kündigte Ministerin *Andrea Fischer* an, bis zum Jahre 2002 ein neues Gesetz zu den ethischen Grenzen moderner Biomedizin zu verabschieden. Anlass des Symposiums war zuvor ein Vorstoß der *Bundesärztekammer* (BÄK). Sie hatte im Februar vorgeschlagen, PID in eng begrenzten Fällen zuzulassen, beispielsweise wenn ein hohes familiäres Risiko für einen schweren Erbschaden bestehe. Die Ärztekammer geht also davon aus, dass PID verboten ist. Schon 1996 hatte die „*Deutsche Forschungsgemeinschaft*“ (DFG) gefordert, das Embryonenschutzgesetz im Interesse der Wissenschaft zu lockern. Die PID ist nicht nur in überseeischen Kulturkreisen, sondern auch in 10 Staaten der „*Europäischen Union*“ amtlich zugelassen. Für Deutschland rechnet die Bundesärztekammer künftig mit 80 bis 100 Fällen pro Jahr. Auch nach einer möglichen Liberalisierung des Embryonenschutzgesetzes soll eine zentrale „*Kommission Präimplantationsdiagnostik*“ jeden Einzelfall genehmigen.

Dieser gesetzgeberische Anstoß der Ärztekammer geht den Gynäkologen offenbar nicht weit genug. Bei ihrem Kongress in München formulierten sie im Juni 2000 eine „*Gemeinsame Stellungnahme zu einem zukünftigen Fortpflanzungs-Medizingesetz*“. Danach soll nicht nur PID legalisiert werden, und zwar nach den Vorstellungen der Ärztekammer, sondern auch die Übertragung von Fremdsperma anonym Spender (fachlich die so genannte *heterologe Insemination*) und auch die Eizell-Spende erlaubt sein. Fleissige www-Surfer wissen möglicherweise schon, dass im Internet eine Eizelle für 15 000 Dollar angeboten wird. Mit diesen Praktiken einer künstlichen Befruchtung würde der konventionelle Begriff der „*leiblichen Eltern*“ ausgehöhlt, von dem das Embryonenschutzgesetz wenigstens indirekt noch ausgeht. Es schreibt vor, dass „*biologisches Material*“, das zur *in-vitro-Fertilisation* benutzt wird, auch von den Partnern stammt, die später das Kind großziehen. Doch Hauptstreitpunkt bleibt, ob die PID nun rechtmäßig ist. Die Antwort befriedigt kaum: de jure nein, de facto ja.

#### **Ist ein Embryo nur solange geschützt, als er im Reagenzglas ist?**

Juristisch kommt es auf das Stadium der Zellteilung an, in dem Zellen entnommen werden. Bis zu einem Verband von acht

Zellen handelt es sich um sogenannte *totipotenten Zellen*. Das heißt, aus einer einzelnen Körperzelle kann sich noch ein kompletter Mensch entwickeln. Von der nächsten Teilungsstufe, 16 Zellen, an ist dies nicht mehr möglich. Daraus folgern die Fortpflanzungsmediziner nun, zumindest die progressiven unter ihnen, nicht die Diagnosetechnik an sich sei verboten, sondern sie werde nur indirekt über das Verbot des Klonens menschlicher Zellen unterdrückt. Der Medizinrechtler Dr. *Hans-Georg Koch*:

„Die Rechtslage ist im Bezug auf das deutsche Recht im Moment nicht restlos geklärt. Wenn einem Embryo in einem sehr frühen Stadium eine Zelle entnommen wird, bedeutet das biologisch, dass er geteilt wird, denn es entstehen eineiige Zwillinge. Und diese Teilung ist nichts anderes als das verbotene Klonen. Die PID ist also nicht als Methode, sondern als Risiko zum Klonen verboten. Und diese Differenzierung berücksichtigt das Gesetz nicht.“

Wenn also die Indikation für PID sehr streng gestellt wird, kann die Zellentnahme nicht missbräuchlich zum Klonen benutzt werden. Doch die Rechtsunsicherheit geht weiter: Was ist nun, wenn eine Körperzelle erst mit oder nach dem 16-Zell-Stadium entnommen wird. *Koch*:

„Das wird kontrovers beurteilt, jedenfalls gäbe es keine Rechtsprobleme mehr, wenn man die Zellen nicht mehr am Embryo selbst in vitro entnimmt, sondern später an der Plazenta. Diese Rechtsunsicherheit ist auch im europäischen Raum zu finden. Manche Länder verbieten PID, praktizieren sie aber trotzdem, wie Österreich. Manche Länder lassen sie offiziell zu, wie Frankreich oder Norwegen, machen aber strenge Auflagen. Es gibt also keinen internationalen Konsens. Über eines müssten sich freilich alle einig sein: Wenn man PID als Diagnosetechnik verbietet, muss man juristisch auch über Formen der Pränatal-Diagnostik am weiterentwickelten Embryo nachdenken.“

In der Tat liefert auch später die *Fruchtwasser-Diagnose* Anlässe zur Abtreibung. Und die will unsere Rechtsordnung ja erschweren. Da liegt das Motiv juristischer Mühen. *Klaus Diedrich*:

„In Deutschland ist mit der Fruchtwasseruntersuchung eine Form der pränatalen Diagnostik erlaubt mit der Konsequenz, bei ungünstigem Ergebnis einen Schwangerschaftsabbruch einzuleiten. Mit der wissenschaftlich eleganten Methode der PID kann man der Patientin diese Abtreibung ersparen, weil man schon vor Eintritt der Schwangerschaft in einer einzigen Körperzelle eine Erbkrankheit erkennt. Aber PID gilt offiziell als verboten. Da liegt juristisch eine ungleiche Behandlung der gleichen Schadensbegrenzung vor, ein erkranktes Kind auf die Welt zu bringen. Ich sage immer etwas provokativ, der Embryo in Deutschland ist nach wie vor nur dann geschützt, solange er im Reagenzglas ist. Wehe, er wird zurückgesetzt in die Gebärmutter oder er ist schon dort, dann kann nach dem § 218 eine Schwangerschaft aus medizinischen oder sozialen Gründen zu jedem Zeitpunkt beendet werden.“

Das gesellschaftspolitisch sicherlich wohlgemeinte und vermeintlich verantwortungsbewusste Verhalten des Gesetzgebers, mit einer neuen Diagnosemethode einen Dammbuch zugunsten schneller Abtreibungen zu verhindern, verkehrt sich also in sein Gegenteil, wenn wissenschaftlicher Fortschritt gelehnet wird.

Um zwei Grundfragen drehen sich vor allem die rechtlichen und weltanschaulichen Diskussionen, die auch schon im Mai beim Kongress des Gesundheitsministeriums im Vordergrund standen: Dürfen Embryos, die im Labor erzeugt wurden, vor der Verpflanzung in die Gebärmutter auf Gendefekte untersucht und gegebenenfalls aussortiert werden? Und dürfen Wissenschaftler aus den aussortierten Zellverbänden embryonale Stammzellen züchten, um neue Therapien für Schwerkranken zu entwickeln? Mit diesen Fragen sind nicht nur Juristen gefordert, sondern auch alle gesellschaftlichen Gruppen in ihrer unterschiedlichen weltanschaulichen Ausprägung. Wortführer für ein „JA“ auf diese Fragen sind weite Kreise aus Wissenschaft und Forschung sowie der liberal gesonnene, sprich geistig ungebundene Teil der Bevölkerung, und mit „Nein“ antworten die Kirchen und die von ihnen beeinflussten gesellschaftlichen Kreise. Damit sind die Mehrheitsverhältnisse in unserer Bevölkerung zugunsten des „Nein“ klar, und damit gewinnt die ethische Dimension der Probleme eine besonders große Bedeutung.

### Die Vorbelastung durch das „Dritte Reich“

Die gleiche Unsicherheit wie bei den juristischen Interpretationen findet sich auch in der ethischen Würdigung der Präimplantationsdiagnostik. Da gibt es beispielsweise die *Bioethik-Konvention des Europarats*, und in dieser Konvention steht, dass in seinen ersten 14 Tagen am Embryo unter strenger Kontrolle *geforscht* werden darf. Doch schon in den einfachsten Diskussionen darüber sind deutsche Experten unterschiedlicher Meinung, zum Beispiel in der Frage, ob diese europäische Konvention von der vorherigen oder jetzigen Bundesregierung überhaupt unterschrieben worden ist. Der für Paragraphen zuständige Experte, der Medizinrechtler Dr. *Hans-Georg Koch* meint:

„Unterschrieben ist sie noch nicht, das wird noch einen parlamentarischen Entscheidungsprozess erfordern, nicht nur bei uns, sondern in vielen Ländern Europas. Jedenfalls ist diese Konvention noch ziemlich löchrig, unklar und rätselhaft in ihren Formulierungen. Vor allem werden mit Spannung noch Zusatzprotokolle zum Umgang mit Embryonen erwartet.“

Und der für medizinische Fachfragen kompetente Experte, Prof. *Klaus Diedrich* sagt dazu:

„Unterschrieben ist sie schon, nur den Teil, in dem es um die Embryonenforschung geht, den hat Deutschland nicht unterzeichnet, weil er sich nicht deckt mit dem nationalen Embryonenschutzgesetz.“

Unabhängig von diesem Geplänkel: Die Bioethik-Konvention hat vor allem für jene Länder Europas Bedeutung, die

kaum nationale Richtlinien für Forschung am Menschen haben, also vor allem für die vielen osteuropäischen Staaten. (Der *Europarat* steht quasi für Gesamteuropa, sollte politisch nicht verwechselt werden mit der *Europäischen Union* (EU)). Und unter den hochentwickelten Ländern der EU nimmt Deutschland wegen seiner unseligen jüngeren Vergangenheit gewiss eine Sonderstellung ein. Der Begriff der *Forschung am Leben* ist gebrandmarkt durch das „Dritte Reich“, in dem Leben wenig zählte, in dem es eher um die „Vernichtung lebensunwerten Lebens“ ging. Von dieser Vorbelastung konnte sich die deutsche Wissenschaft bis heute nicht befreien. Möglicherweise in dieser Situation latenter Schuldgefühle, aber auch durch noch andere politische Faktoren, gewannen in der Nachkriegszeit die Anhänger der Schöpfungstheorie, also die Kirchen, einen enormen Einfluss auf die deutsche Politik. Und damit über die Forschungspolitik und damit über die Forschung. Ketzerisches Zitat aus der Forschungsszene: „Pass auf, in jeder Körperzelle schwimmt der liebe Gott“.

### Missbräuche sind dazu da, dass man sie bekämpft – mehr nicht

Die ethischen Fragen, die sich im Zusammenhang mit der Präimplantationsdiagnostik daraus stellen, sind zahlreich. Nur einige davon: Als vor 22 Jahren *Louise Brown* geboren wurde, der erste Mensch, der durch die künstliche Befruchtung im Reagenzglas (IVF) zur Welt kam, da schrien viele Anhänger der Schöpfungstheorie Zeter und Mordio. Der Mensch maßt sich an, Gott zu spielen, war zu hören. Unerhört, eine unglaubliche Sünde. Inzwischen sind mit der IVF weltweit rund 500 000 Kinder geboren worden. Gesunde, glückliche Kinder von noch glücklicheren Eltern, die nur sehlichst einen Wunsch hatten, ein Kind haben zu dürfen, obwohl ein Elternteil wegen eines körperlichen Fehlers nicht zur natürlichen Zeugung in der Lage war. War in diesen Fällen die Wissenschaft nicht menschlich hilfreich? Hat sie nicht ethisch verantwortungsvoll gehandelt? Soll Medizin mit den Fortschritten der Wissenschaft – und die sind ja wohl auch gottgegeben – Leiden auf der Welt nicht heilen dürfen? Auch nicht seelisches Leid? Der Medizinrechtler *Hans-Georg Koch* dazu:

„Eine Technik wie die medizinisch unterstützte Fortpflanzung, die so viele Potenziale der Hilfe in sich birgt, ist nicht als solche verbotswürdig. Missbräuche sind dazu da, dass sie bekämpft werden, nicht um das Kind mit dem Bad auszuschütten.“ Zwei Jahrzehnte später ruft nun die Technik der Präimplantationsdiagnostik die gleichen Proteste wie damals hervor, nur noch schärfer. Der Kölner Kardinal *Joachim Meisner* wettet – nach einem Zitat der *„Katholischen Nachrichtenagentur“* KNA:

„Der Text (der BÄK) überschreitet eindeutig eine unaufgebbare Grenze ... (er stelle) ... eine Aufforderung zur Verletzung der Würde des Menschen dar, indem er ärztliche Hilfe zur Identifizierung und anschließenden Tötung angeblich leben-

sunwerten Lebens anbietet, um nur gesunden Kindern zum weiteren Leben zu verhelfen“.

Aus dieser Meinung wird die Doktrin der Anhänger der Schöpfungstheorie erkennbar: Ein Mensch existiert vom Zeitpunkt der Verschmelzung von Ei- und Samenzelle an. Eine Auffassung, die der Gesetzgeber mit allen einschlägigen Paragraphen befolgt hat. Doch das ethische Empfinden der Menschen, der Bevölkerung entwickelt sich dynamisch über immer neues Wissen und vertiefende Bildung weiter, nicht über statischen Glauben. Folglich stellen sich auch Fragen neu: Kann man, zutiefst inhuman, von Medizinern fordern, die einen erbkranken Embryo im Reagenzglas erkannt haben, diesen Zellverband in die Gebärmutter einzupflanzen, damit sie ihn ein paar Wochen später unter Qualen für die Mutter abtreiben? Der Gynäkologe *Klaus Diedrich* ist so etwas wie der standespolitische Kopf unter den deutschen Reproduktionsmedizinern geworden, nachdem er schlechte Erfahrungen gemacht hatte, mit einem Antrag nämlich vor fünf Jahren bei der Ethikkommission der Bundesärztekammer, eine PID machen zu dürfen vor folgendem Hintergrund: ein Ehepaar war zu ihm gekommen, das ein erbkrankes Kind mit Mukoviszidose hatte. Das Paar wollte ein zweites Kind, aber ausschließen, dass es auch krank zur Welt kommt. Eine menschlich verständliche Situation genau so wie eine strenge Indikation für PID. Doch die Ärztekammer hat damals abgelehnt.

### Eine Liberalisierung des Embryonenschutzgesetzes ist umstritten

Dieser Vorfall und andere ähnliche haben aber zu einem Umdenken in der Ärzteschaft geführt, das nun im Frühjahr die BÄK auch zur Umkehr in ihrer Haltung brachte. Auch die *Bioethik-Kommission Rheinland-Pfalz* hat zu dieser Kehrtwendung beigetragen. Das Embryonenschutzgesetz müsse im Interesse der Menschen und nicht allein in dem der Forschung liberalisiert werden. Der *Wissenschaftliche Beirat* der Bundesärztekammer hat sich zu folgender Formulierung durchgerungen, wiederum nach einem Zitat der KNA:

„Der verständliche Wunsch nach einem gesunden Kind ist eine sittliche Norm, die aus der Diskussion nicht dadurch ausgeblendet werden kann, dass in der Gesellschaft eine Erwartungshaltung für gesunde Kinder als Gefahr gebrandmarkt wird.“

Der katholische Moraltheologe *Dietmar Mieth* warnt dagegen – ebenfalls nach einem Zitat der KNA: PID ziele eindeutig darauf ab, ein möglicherweise behindertes Leben auszusortieren. Es gehe um eine neue, indirekte Form der Eugenik, bei der nicht der Staat, sondern die Eltern über das Schicksal eines Kindes entschieden. Und vor einer Zulassung von PID müsse die Grundfrage beantwortet werden, ob wir in Deutschland bei der Definition bleiben, dass der Mensch mit der Verschmelzung von Ei und Samenzelle beginnt. Soweit das indirekte Zitat. Nur drei Fragen dazu, es gäbe mehrere.

Ist es eigentlich moralisch, einer demokratisch gesonnenen deutschen Wissenschaft von heute, die sich freiwillig jeder Kontrolle unterwerfen möchte, den Geist des Nazi-Reichs zu unterstellen? Ist es weiter eigentlich moralisch, mit dem kleinen Wörtchen „möglicherweise“ Forschungserkenntnisse in Zweifel zu ziehen, die längst internationalen Standard haben? Und es ist eigentlich ethisch verwerflich, dass Eltern im Rahmen aller gesetzlichen Vorgaben über das Schicksal ihres Kindes selbst entscheiden wollen und nicht Institutionen wie Staat und Kirche?

Weil sich die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen für Forschung hierzulande kaum schnell ändern werden, sind die nächsten Proteste für morgen schon vorgeplant, dann nämlich, wenn es zu *Eingriffen in die Keimbahn* kommen sollte. Die sind heute noch zu Recht verboten, und die Forschung hat auch noch gar keine fertige Technik dafür geschweige denn eine Kontrolle darüber, was aus ihrem Handeln entstehen könnte. Eingriff in die Keimbahn bedeutet, Erbkrankheiten am Embryo im Zellstadium zu heilen. Ohne einen schlafenden Leu wecken zu wollen: handeln Mediziner nicht unethisch, wenn sie eine Erbkrankheit zwar erkennen, die aber nicht für künftige Generationen heilen, weil sie es nicht dürfen, obwohl sie die Mittel dazu haben? Wiederum sehenden Auges in eine menschliche Katastrophe laufen? Wie gesagt, eine Vision für morgen.

### **Vernichten oder verwerten? Was tun mit einem „überflüssigen“ Embryo?**

Erst recht wird es Proteste der Anhänger der Schöpfungstheorie hageln, wenn es um die Frage geht, was macht man mit einem „überflüssigen“ Embryo, der trotz aller Vorkehrungen in der Tiefkühltruhe liegt, weil einer Frau die Einpflanzung gesundheitlich nicht mehr zuzumuten war. Vernichten, sagt das Gesetz. Verwerten, meinen andere. Für einen Glücksfall halten Gewebezüchter z. B. diesen todgeweihten Embryo, wenn es künftig darum geht, aus seinen Zellen Gewebe zu züchten, die *Parkinson*-Kranken helfen können oder sogar Organe daraus wachsen zu lassen. Auch das ist eine Zukunftsvision, aber eine, die angesichts des derzeitigen Stands der Forschung - Stichwörter Angiogenese, Gefäßneubildung, Hautzüchtung - realistisch erscheint. Und wenn mit embryonalem Zellgewebe geheilt werden kann, ist es dann ethisch verantwortbar einen Embryo einfach zu verwerfen? Und das bei einem Zeitgeist, der Schonung wertvoller Ressourcen fordert?

Selbstverständlich verbietet es sich, einen „überflüssigen“ Embryo mit einer leeren Flasche zu vergleichen, die man wegwirft, nicht einmal mit einer Pflanze, die auf den Komposthaufen gerät, damit wertvolle Erde daraus entsteht. Dass der Mensch die

wertvollste Ressource ist, geht schon daraus hervor, dass in den Kriegen unserer Tage immer mehr Menschenleben geschont werden sollen (aber nur die eigenen Truppen). Erneut also: Ist es ethisch so verwerflich, einen todgeweihten Embryo zu nutzen, um todkranken Menschen zu helfen? Dr. *Eckhard Herych* arbeitet am *Zentrum für Ethik und Recht* der Universität Freiburg, und er meint:

„Meines Erachtens ist diese Art von Medizin in Deutschland nicht konsensfähig, schon gar nicht in industriellem Maßstab. Denn irgendwann werden wir erkennen, dass ein mögliches oder tatsächliches menschliches Leben nur noch als Mittel zum Zweck eingesetzt wird. Und wir werden erleben, dass dann die Embryos auch immer größer und älter werden, mit denen gearbeitet wird. Und damit sind wir ganz stark in der Missbrauchsdiskussion.“

*Herychs* Befürchtungen könnten in jenen Ländern vor allem wahr werden, in denen schon heute „munter drauf los geforscht wird“. Freilich sind international auch Grenzen gezogen. In der *Bioethik-Konvention* des Europarats, die inzwischen *Menschenrechts-Übereinkommen* heißt, stehen in diesem Zusammenhang zwei wichtige Passagen: Erstens darf am Embryo nur bis zum 14. Tag seiner Existenz geforscht werden. Das entspricht der Phase der Einnistung in die Gebärmutter. Und zweitens darf kein Embryo zu fortpflanzungsfremden Zwecken erzeugt werden. Aber ist beispielsweise das Klonen ein fortpflanzungsfremder Zweck? Zumal eineiige Zwillinge nichts anderes sind als Menschen, die von der Natur geklont worden sind. Als genetischer Unfall oder Glücksfall für die Kinder und deren Eltern? Im übrigen sei jetzt nochmals darauf hingewiesen, dass eine ethische Diskussion in dieser Dimension geführt wird, bevor überhaupt die Forschung Methoden und Taktiken entwickelt hat, um etwa Organe aus embryonalen Stammzellen zu entwickeln. Dennoch, die ethischen Diskussionen werden sich in dem Maß verschärfen, in dem im Ausland mit weniger Restriktionen geforscht wird als bei uns. Und wenn draußen Lösungen für ernste Krankheitsprobleme angeboten werden, dann wird ein gnadenloser Patiententourismus einsetzen unter entsprechend gnadenlosen kommerziellen Bedingungen. Wer Not leidet, kennt nicht immer Tugenden. Dies gilt auch in der Medizin.

### **Forschung am Embryo? Zitate von Experten**

Der Ethiker Dr. *Eckard Herych*:  
„Reiche Leute können es sich leisten, in die USA zu gehen und sich dort behandeln zu lassen, andere können es nicht. Wenn irgendwo eine Möglichkeit geboten wird, wird sie auch genutzt werden. Und wenn in Deutschland die eine oder andere Form der Embryonenforschung verboten ist, bedeutet das nicht, dass sie überall nicht

erlaubt ist. Forschung geht dahin, wo sie frei ist. Das sehen wir ja schon in der Medikamentenforschung. Und das wirft natürlich erhebliche ethische Probleme auf. Einzelfälle von Missbrauch werden sich nie vermeiden lassen, sonst müssten wir die Menschheit abschaffen. Das Gros der Forscher arbeitet nach den Regeln medizinischer Kunst und denen ihrer Standesethik.“

Der Fortpflanzungsmediziner Prof. Dr. *Klaus Diedrich*:

„Wenn wir in der Reproduktionsmedizin Fortschritte machen wollen, die Patienten zugute kommen, dann brauchen wir auch die Forschung am Embryo. Derzeit profitieren wir von Forschungsergebnissen, die im Ausland erzielt werden. So kann es natürlich nicht sein. Wir räumen strengste Kontrollen ein und eine stete Prüfung, ob diese Forschung auch sinnvoll ist im Interesse der Patienten. Wir haben in unserem Fach schon teilweise den Anschluss an den internationalen Standard verloren, mehr dürfen wir nicht aufgeben, sonst sind wir total weg von der Forschungsfront. Um dies zu vermeiden, schicke ich schon Mitarbeiter nach England und Belgien, um von den Arbeiten dort zu profitieren.“

Der Medizinrechtler Dr. *Hans-Georg Koch*:  
„Die strengen Verbotsregelungen des Embryonenschutzgesetzes bezüglich der Forschung am Embryo im Reagenzglas haben nach meiner Einschätzung eine grundlegende Schwäche, nämlich dass sie die Befruchtung als Ereignis in der Entstehungsgeschichte eines Menschen eindeutig in den Vordergrund rückt und die Bedeutung der späteren Einnistung als Chance für die Entwicklung eines Menschen praktisch ignoriert. Ändert sich das, sehe ich für die Zukunft eine Chance, die Forschung am Embryo unter gewissen Vorbedingungen und unter strenger Kontrolle zu legitimieren, was eine Änderung des Embryonenschutzgesetzes voraussetzen würde.“

### **Ein Geflecht von Konflikten**

Das Thema Kinder nach Maß ist also voll geladen mit gegensätzlichen Standpunkten: religiöser Fundamentalismus und humanitäre Forderungen, ethisch Unverantwortbares und wissenschaftlich Machbares, juristische Bremsen und wirtschaftliche Interessen usw. Ein Geflecht von Konflikten, das sich künftig immer mehr verdichten wird, wenn man kirchlicherseits nicht auf die Bedürfnisse der Menschen eingeht, wenn Wissenschaftler nur mit Tunnelblick auf ihre Labordaten und auf die Kommerzialisierbarkeit ihrer Arbeiten schauen und auch darüber Menschen vergessen, und wenn vor allem Parteipolitiker nach wie vor nur zu den Hörigen zählen wollen, denen Eingebungen seitens diverser Interessensgruppen wichtiger sind als ihre Verpflichtungen gegenüber der Gesamtgesellschaft.

Ein Wettlauf zwischen Hase und Igel?

# Die Rückkehr der Seuchen

Neben den „Zivilisationskrankheiten“ bedrohen Seuchen nach wie vor die Menschheit

Von Susanne Irmen

Susanne Irmen ist Mitarbeiterin der SWR-Wissenschaftredaktion Hörfunk, Baden-Baden.

**Die Hoffnung trotzt, die Infektionskrankheiten seien weitgehend besiegt. Spektakulär in Erscheinung getreten sind AIDS, Ebola und Lassa-Fieber. Doch auch Tuberkulose und Diphtherie treten vermehrt wieder auf, Folge von erhöhter Mobilität, aber auch von Armut und schlechteren Gesundheitssystemen beispielsweise in Folge der Umbrüche im ehemaligen Ostblock. Nach wie vor macht überall auf der Welt die Grippe gefährlich zu schaffen, auch bei uns in Deutschland. – Sind Seuchen etwa eine Immunreaktion der Erde gegenüber uns Menschen als Parasiten?**

## Ein Wettlauf zwischen zwei starken, evolutionär erfolgreichen Gegnern

Mikroben leben überall. Menschen auch. Unsere spezifische Anpassungsfähigkeit, unsere Neugier, unser Eroberungs- und Wissensdrang ermöglichen es uns, in immer neue Gegenden vorzustoßen und uns dort zu behaupten. Dabei begegnen wir allerdings auch immer wieder neuen Bakterien, Viren, Pilzen und Parasiten, die uns befallen und umbringen können. Häufig nehmen wir sie auch erst einmal für eine Weile ins Schlepptau, bis sie uns krankmachen. In der Zwischenzeit haben wir sie in großer Zahl weitergegeben, haben Mitmenschen damit angesteckt. Haben wir sie einmal dingfest gemacht und identifiziert, kennen wir die Feinde, dann bekämpfen wir sie und schützen uns. Doch diese Winzlinge sind ihrerseits äußerst anpassungsfähig, ja, so scheint es, „intelligent“ in der Erfindung von Abwehrstrategien. Oft genug bleiben sie freilich selbst nach langer Erforschung letztlich undurchschaubar und folglich unkontrollierbar.

Das ist die Geschichte der Seuchen. Sie läßt sich als ein Wettkampf zwischen zwei äußerst starken, evolutionär erfolgreichen Gegnerparteien darstellen. Mal liegt der Größte vorn – wenn er einen Erreger im Griff hat, womöglich ganz ausgerottet, wie die Pocken. Mal ist es der Erreger – wie bei AIDS. Mit alten Bekannten, wie den Grippeviren, befindet sich der Mensch in einem Dauerwettlauf, der an das Märchen vom Hasen und Igel erinnert. Seltsamerweise neigt die breite Öffentlichkeit dazu, ihren Blick vornehmlich auf die neuen, rätselhaften, exotischen Seuchenerreger zu richten, während die Grippewellen, denen bisweilen Millionen zum Opfer fielen, weitestgehend aus dem kollektiven Gedächtnis verschwunden sind. Wer erinnert sich

daran, daß im Jahr 1918 weltweit mehr Menschen an der Influenza starben als im Mittelalter an der Pest? Grippeerreger werden in ihrer Gefährlichkeit verkannt.

## Vergessen und verharmlost

Der Weltgesundheitsstag am 7. April 1997, den die WHO unter das Motto „Neue und wiederauftretende Infektionskrankheiten“ stellte, sollte auf die vergessenen und bei uns oft verharmlosten Gefahren aufmerksam machen: Auf die Verbreitung bzw. Rückkehr von mehr oder minder schwer krankmachenden Mikroben, die uns Rheuma ebenso bringen wie Tuberkulose, Hirnhautentzündungen ebenso wie Hepatitis, Typhus ebenso wie Malaria. Gefürchtet werden am meisten die HI-Viren, die zu AIDS führen können und gegen die die Medizin noch keine durchschlagenden Waffen entwickelt hat. Bei anderen Infektionskrankheiten glaubte man, ganz im Gegenteil, mit Impfung und Gegenmitteln auf der sicheren Seite zu sein. Das war leider ein Irrtum. In etlichen Fällen versagen Vorbeugung und Therapie. Diese Tatsache ist auch zu wenig bekannt.

## Eine Vielfalt von Ursachen

Jedenfalls registrieren die Gesundheitsbehörden ein neues Aufflackern von Seuchen überall in der Welt. Dank des regen Reise- und Handelsverkehrs zwischen den Kontinenten wandern die neuen und alten Seuchenerreger ziemlich rasch um den gesamten Erdball. Waren es im Mittelalter hauptsächlich die intensiven wirtschaftlichen Beziehungen, die zur Ausbreitung lebensgefährlicher Krankheitserreger führten – ebenso das mangelhafte medizinische Wissen – so sind die Ursachen heute wohl vielschichtiger, oft sogar undurchsichtig. Für das Wiederauftreten alter Seuchen, die man jahrzehntlang unter Kontrolle zu haben glaubte, lassen sich in der Gegenwart gleich mehrere Umstände verantwortlich machen: Bevölkerungsdichte, Verschlechterung politischer und wirtschaftlicher Verhältnisse in vielen Ländern, mangelnde Hygiene, Migrationsbewegungen, Kriege.

Vor 40 Jahren hatte die WHO optimistisch festgestellt, daß die Zeit seit dem Zweiten Weltkrieg einen dramatischen Rückgang der sog. quarantänepflichtigen Krankheiten – Cholera, Pest, Flecktyphus, Pocken und Gelbfieber – erlebt habe. Noch im Jahr 1968 verkündete der amerikanische Generalstabsarzt William Stewart im Weißen Haus, man könne nun das Kapitel der Infektionskrankheiten abschließen. Tatsächlich schienen die vormals heiklen mikrobiischen Geißeln der Menschheit – von den Tuberkulosebakterien bis zu den

Malariaparasiten – in den 50er und 60er Jahren weitgehend unter Kontrolle zu sein. Seit den Verlautbarungen der WHO hatte man sich daran gewöhnt, unter den „Volkskrankheiten“ nicht mehr die epidemischen, vor allem meldepflichtigen, gemeingefährlichen Krankheiten zu verstehen, sondern Zivilisationskrankheiten, wie Herz- und Kreislaufleiden, Krebs, Rheuma und chronische Schmerzen. Zumindest in Europa und Nordamerika begann man, sich recht sorglos zu verhalten.

## Tuberkulose und Diphtherie

Durch die Umbrüche in Osteuropa und der ehemaligen Sowjetunion haben sich neuerdings schon fast vergessene Erreger rapide wieder ausbreiten können. Mit dem Zerfall des kommunistischen Systems ist ja auch die einst staatlich finanzierte und organisierte Gesundheitsfürsorge zusammengebrochen. So meldete ein Forschungsinstitut in Georgien alsbald Tausende von Tuberkulosekranken; Diphtherieerkrankungen nahmen ebenfalls sprunghaft zu. Seuchenerxperten sehen in solchen Verhältnissen eine ernste Gefahr für Europa und andere Kontinente. Sowohl Diphtherie als auch vor allem Tuberkulose sind seither bei uns eingeschleppt worden. Jährlich erkranken einige tausend Bundesbürger neu; man rechnet hierzulande mit einer Inzidenz von 15 auf 100 000 Einwohner. Die WHO erschreckte die Weltöffentlichkeit mit der Nachricht, daß allein in einem Jahrzehnt 30 Millionen Menschen an Tuberkulose starben. Sie sei weltweit unter den tödlichen Infektionskrankheiten bei Jugendlichen und Erwachsenen die Nummer 1. Am meisten betroffen sind freilich nach wie vor die Länder der Dritten Welt.

Der Erreger wird durch die Atemluft, durch Tröpfcheninfektion, übertragen. Bis die Krankheit ausbricht, vergehen manchmal Jahre. In den Industrienationen war sie fast in Vergessenheit geraten. Die gute Ernährungslage, die verbesserten Hygienemaßnahmen und vor allem die durchschlagende Antibioticabehandlung konnten die Erreger abwehren. Diesen günstigen Faktoren treten in neuerer Zeit ungünstige gegenüber: Die vermehrte Zuwanderung von Menschen aus Gebieten, in denen Tuberkulose noch nicht so gut unter Kontrolle ist, die Zunahme von immungeschwächten Personen (z.B. AIDS-Kranke) und die Entwicklung von Antibiotikaresistenzen bei den Erregern. Der gebräuchliche Impfstoff BCG, der nach den Entdeckern *Bacille Calmette Guerin* genannt wurde, greift leider auch nicht mehr selbstverständlich und überall. Seuchen wie die Tuberkulose haben nach wie vor in erster Linie dort eine Chance,

wo Armut herrscht und die Menschen eng zusammenleben. *Städtische Slums* bieten insofern reichlich Voraussetzungen für den Ausbruch von Infektionskrankheiten. Versagt auch noch die staatliche Gesundheitsfürsorge, so trifft es zunächst die Ärmsten der Armen, nämlich Menschen, deren Abwehrkräfte nicht nur durch Hunger, sondern dazu noch durch andere Krankheiten bereits geschwächt sind.

### **Pocken seien allerdings ausgestorben**

Die Medizin der Infektionskrankheiten hat allerdings – zumal im vergangenen Jahrhundert – auch viele und wesentliche Erfolge zu verbuchen, denen Millionen von Menschen ihr Leben verdanken. Einer dürfte endgültig sein, nämlich der Sieg über die Pocken. Am 8. Mai 1980 konnte die WHO erklären, die Erde sei frei von endemischen Pocken; für eine künftige Rückkehr gebe es keinerlei Hinweise. Sie äußerte damit eine Gewißheit, die allerdings nicht von sämtlichen Virologen vorbehaltlos geteilt wird: Irgendwo, so fürchten sie, könnte doch vielleicht noch ein Stamm überleben ... Der hoffentlich andauernde Sieg über die Pocken war durch konsequente weltweite Impfkampagnen möglich.

Allgemein unterscheiden die Seuchenexperten zwischen Verhältnissen in den Industrieländern und denen in Entwicklungsländern. *Hygiene, vorbeugende Impfungen, kontrollierte Behandlungsstrategien* und vor allem deren *Organisation* lassen in den ärmeren Ländern zu wünschen übrig. Es fehlt an Geld, Einrichtungen und Ärzten. Wo z. B. nicht einmal das Trinkwasser saubergehalten wird, können Typhus, Gelbsucht und Cholera immer wieder ausbrechen und Tausenden von Menschen das Leben kosten – wie vor einigen Jahren in Südamerika. Solche Epidemien in fernen Ländern machen freilich auch hierzulande reichlich Schlagzeilen. Als bald erhebt sich dann nämlich die Frage, ob so etwas auch bei uns wieder einmal passieren kann. Die Antwort darauf lautet nicht mehr eindeutig: nein!

### **Ebola und Aids: die Seuchen aus dem Urwald**

Noch mehr Aufsehen als Typhus und Cholera erregen neuerdings ganz und gar ungewöhnliche Krankheiten, gegen die kein Kraut gewachsen zu sein scheint. Für Schreckensmeldungen sorgte in dieser Hinsicht während der letzten Jahre vor allem das Ebola-Virus in Zentralafrika. Es demonstriert vielleicht besonders gut, wie lange Zeit unbekannt Erreger plötzlich gleichsam aus dem Nichts auftauchen und den Menschen bedrohen. Manche Wissenschaftler vermuteten schon bei dem ersten Ebola-Ausbruch in den 70er Jahren, daß dieses Virus ursprünglich in den tropischen Regenwäldern zuhause gewesen sein muß, und dort hauptsächlich in den Baumwipfeln. Tiere, die in diesem Ökosystem leben, seien durch Mückenstiche infiziert. Menschen erkrankten erst daran, wenn sie in diesen Lebensraum vorgezogen seien. Oder aber, wenn sie mit

Affen experimentierten. Man kennt die Zusammenhänge bei Ebola allerdings bis heute nicht so genau.

Zu diesen neu auftauchenden Seuchen tragen jedenfalls Erreger bei, die an sich wohl gar nicht so neu sind, sondern womöglich schon Jahrmillionen im Urwald leben. Das muß man auch von den HIV-Stämmen annehmen. Seit kurzem weiß man, daß solche Viren durch Schimpansen aus den zentralafrikanischen Wäldern auf irgendwelchen Wegen in die menschliche Bevölkerung gelangt sind, sich dort breitmachten und für den menschlichen Organismus katastrophale Eigenschaften entwickelten.

Ebola gehört nun zu den *hämorrhagischen Viren*, d. h. Viren, die Blutungen hervorrufen, Fieberanfälle auslösen und Nierenversagen. Von dieser Gruppe entdeckt man ständig neue Vertreter. Der erste Kandidat dürfte das Marburg-Virus gewesen sein, das 1967 in den Labors der Behringwerke identifiziert wurde, nachdem es mehrere Personen, die dort an einem Impfstoff arbeiteten, befallen hatte. Vermutlich war es durch Affen eingeschleppt worden.

### **Die virale Horrorfamilie und ihre Mitglieder**

Die amerikanische Seuchenkontrollbehörde (*Centers of Disease Control and Prevention, CDC*) stieß im Lauf der letzten Jahrzehnte auf Hantaviren, auf die Erreger von *Dengue-, Lassa- und Gelbfieber* – sämtlich Mitglieder der viralen Horrorfamilie, die bei einer Vielzahl von Menschen tödliche Infektionen verursachen. Sie benutzen teilweise Zwischenwirte in der Tierwelt, sehr oft Nagetiere, denen die tödliche Fracht selbst aber nichts ausmacht. Sie erkranken nicht. Mäuse, Ratten, Fledermäuse scheiden die Viren dann mit Kot und Urin aus, verbreiten sie in Böden, auch in alten Gebäuden. Den Menschen werden die Erreger dann zum Verhängnis, wenn sie die unsichtbar verseuchten Böden bearbeiten, wenn sie alte Häuser und Scheunen ausfegen oder renovieren, Wälder roden und Land urbar machen. Sie wirbeln sie bei der Arbeit mit dem Staub auf, atmen sie ein und zahlen diese Begegnung eben oft genug mit dem Leben. Die Hälfte der an hämorrhagischen Viren erkrankten Personen stirbt. Menschen infizierten sich bisher erfahrungsgemäß besonders oft in Gegenden, wo neue Siedlungen, Straßen und Felder angelegt wurden – überall dort, also, wo sie in bisher unberührte Ökosysteme vordringen. Schwerwiegende Folgen haben auch noch ganz andere Eingriffe des Menschen in die Natur, nämlich die Flutung von Stauseen, die Erweiterung bewässerter Flächen. Verfügbares Wasser zieht nicht nur die Menschen an, sondern auch Stechfliegen, die als Überträger von manchen Mikroben fungieren.

### **BSE: Folge "perfiden Kannibalismus in der Fleischproduktion"**

Hautnah und voller Ekel erlebten auch Europäer Mitte der 80er Jahre eine neue Seuche: Den Rinderwahnsinn, die *Bovine*

### *Spongiforme Enzephalopathie (BSE).*

Das ist eine tödliche Erkrankung des Gehirns, ausgelöst wahrscheinlich durch infektiöse Proteine, sog. Prionen. Nach den Haustieren, so der naheliegende Verdacht, erkrankt auch der Mensch daran, wenn er infiziertes Tierfleisch ißt. Die Verbreitung dieser Seuche war nur möglich, weil natürliche Barrieren durch menschliche Eingriffe überwunden worden sind. Als Ansteckungsquelle entdeckte man nämlich Fleisch- und Knochenmehl aus Schafskadavern, das dem Kraftfutter von Rindern beigemischt worden war. Bei der Aufbereitung waren Erreger dieser Hirnkrankheit in das Futter gelangt. Die ganze Katastrophe begann, so erklärte *Hans-Jochen Diesfeld* vom Heidelberger Hygieneinstitut, „mit dem perfiden Kannibalismus in der Fleischproduktion. Warum müssen denn Kühe anderes essen als Gras oder Getreide? Warum müssen sie Kadaver zu fressen kriegen? Warum müssen sie tierisches Protein bekommen? Das ist die Perfidie der Raffgier, der Märkte, der Agrarmärkte, der Landwirtschaftslobbies; das ist das, was uns die Probleme bringt.“ (S. 2 FORUM, 5. 4. 97).

### **Die Malaria konnte sich behaupten, und wird ständig aus den Tropen neu eingeschleppt**

Unter den eher altbekannten Seuchenerregern lehren uns heute gerade diejenigen das Fürchten, die es im Laufe der Jahrzehnte verstanden haben, sich gegen alle Bekämpfungsmaßnahmen zu behaupten. Dazu gehört neben der Tuberkulose die Malaria, die man auch schon besiegt zu haben glaubte, und die uns reiselustigen Deutschen zur echten Gefahr geworden ist. Erreger, die es geschafft haben, den Beschuß mit den verschiedensten Pharmazeutika zu überdauern, vererben ihre Robustheit an die Nachkommen, während die Schwachen durch die Medikamente ausgerottet werden. Die Zahl der Robusten, d. h. der Therapieresistenten, steigt und steigt. Augenblicklich verhält es sich so, daß man ständig nach neuen Malaria-mitteln greifen muß, ständig neue entwickeln muß, weil sie alle über kurz oder lang immer wieder von den Malaria-Parasiten abgewehrt werden. Es bilden sich laufend neue Resistenzen.

Das erste wirksame Malaria-mittel, das *Choloroquin*, konnte sich immerhin gut 40 Jahre lang behaupten. Die nachfolgenden Präparate hatten schon weniger Durchschlagskraft. Verantwortlich dafür sind nicht nur die raffinierten Tarnungsmanöver und Abwehrstrategien der Erreger, sondern auch die mangelhaften Bekämpfungsmaßnahmen durch den Menschen. Mit einer systematischen Prophylaxe auf breiter Basis kann man viel erreichen. Werden die Mittel aber immer wieder unterdosiert, dann haben die Erreger es leichter, Resistenzen auszubilden. Damit ist das Ziel dann verfehlt. Dasselbe gilt für eine schlechte Therapie mit Malaria-medikamenten. In vielen Ländern Asiens werden alle Medikamente zu lax gehandhabt. Man findet sie beispielsweise in Drugstores, und keiner sagt dem Käufer genau, wie er damit umzugehen hat. Für

die gegenwärtige Verbreitung sind aber noch andere Faktoren verantwortlich: wiederum ökologische Veränderungen, mehr Feuchtgebiete, Klimaerwärmung, Verschiebung von großen Bevölkerungsmassen von einem Gebiet ins andere.

Malaria wird durch die *Anophelesmücke* übertragen. Bekämpfungsmaßnahmen bestanden darum in früherer Zeit oft darin, den Mücken den Garaus zu machen: einmal mit Insektiziden, dann aber auch durch Trockenlegung von Sümpfen. Viele Gegenden in Europa, z.B. in Ostfriesland und entlang des Rheins, waren noch bis zum Ersten Weltkrieg malariaverseucht, was dann mit der Trockenlegung endete. Die Mückenart, die dem Erreger als Vehikel dient, lebt bei uns noch. Es bedarf nur ausreichender Reimporte von solchen Erregern aus den Tropen, um auch bei uns die Seuche erneut ausbrechen zu lassen, meint die Wuppertaler Virologin *Helga Rübsamen-Waigmann* (S 2 FORUM, s. o.). Zur Zeit bringen jährlich an die Tausend Deutsche nach einer Reise in die Tropen eine Malariainfektion mit nachhause. Man schätzt, daß weltweit jedes Jahr 1,5 bis 2, 7 Millionen Menschen an dieser Seuche sterben.

#### Fast schon exotisch für uns: die Pest

Während uns die Malaria allein wegen unserer Reisefreudigkeit ständig präsent bleibt, mutet uns eine andere klassische Seuche inzwischen geradezu fremdartig an, obgleich sie auch in unserer Geschichte eine gewaltige Rolle gespielt hat: die Pest. Vor sechs Jahren brach sie in Indien aus, tötete aber erfreulicherweise nur wenige Opfer. In Europa hat sie vor 650 Jahren 20 Millionen Menschen dahingerafft. Das war ungefähr ein Fünftel der Bevölkerung. Als Vergleich dazu: Im Zweiten Weltkrieg betrug die Bevölkerungsverluste durch Krieg und Massenvernichtung in Westeuropa ein Zwanzigstel der Gesamtbevölkerung.

Die Erreger der Pest leben zunächst einmal im Organismus verschiedener Nagetiere. Hierzulande waren es in erster Linie Ratten, die den Bakterien als Wirtstiere dienten. Flöhe, die von der Ratte auf den Menschen übergehen, schleppen den potentiell tödlichen Erreger mit. Wenn ihr Wirtstier selbst erkrankt und dahinsiecht, verlassen die Blutsauger den sterbenden Organismus und suchen sich unter den Menschen ihre Opfer. Für den jüngsten Pestausbruch in Indien macht man Massenwanderbewegungen infizierter Nager in die Städte verantwortlich, die vielleicht durch ein Erdbeben in dieser Gegend ausgelöst wurden. Theoretisch kann die Pest überall ausbrechen, wo immer Nagetiere zuhauf leben, denn sie bilden die natürlichen Bakterienreservoir. Beispielsweise in den Vereinigten Staaten sind Erdhörnchen solche Pestwirte, weshalb auch dort immer wieder vereinzelt Pestfälle gemeldet werden. Durch Antibiotica läßt sich das Pestbakterium allerdings heute hervorragend beherrschen, weshalb es bisher nie mehr zu einer Epidemie gekommen ist.

Daß Flöhe Unheil bringen, wußte man übrigens wohl schon vor Jahrhunderten

bzw. man ahnte es, denn auf etlichen Bildern aus dieser Zeit gehen die Menschen auf Stelzen, also in sicherem Abstand vom Boden, wo ihnen die Tierchen auflauerten. Schriftsteller, wie *Daniel Defoe* und *Albert Camus*, haben nicht nur detailliert über Ausbruch und Verlauf der verschiedenen Pestseuchen in Europa und Nordafrika geschrieben, sondern auch über die moralischen Krisen in den Familien, unter Ehepartnern, unter Heilern und Kranken, die alle überlieferten Werte erschütterten. Denn vielfach flohen die Gesunden vor den Kranken: Eltern verließen ihre Kinder, und Ehepartner vergaßen das Gebot der Nächstenliebe aus Furcht, sich anzustecken. Die Pest hat vielerorts zum gesellschaftlichen Zusammenbruch geführt. Verantwortlich dafür war nicht zuletzt das Erklärungsmodell für diese tödliche Krankheit. Wer am Schwarzen Tod starb, so die damalige Vorstellung, hatte sich etwas zuschulden kommen lassen; er hatte sich eine Strafe Gottes zugezogen. Die Krankheit wurde also einmal als verdient empfunden und zum anderen mit Vorliebe dort angesiedelt, wo man Außenseiter und regelrechte Feinde erkannte, nämlich in den Randgruppen der Gesellschaft.

Parallelen zur Gegenwart – im Umgang

mit AIDS-Kranken – lassen sich erkennen, obgleich der Erreger keineswegs so leicht übertragen wird wie bei der Pest. Soziale Isolation, Schuldzuweisungen wegen eines moralischen Fehlverhaltens, wegen einer zügellosen Lebensweise, Rückzug selbst von Familienangehörigen erleben auch AIDS-Patienten. Es scheint so, als ob gegen alle Aufklärung und alle christliche Erziehung im Untergrund Ängste fort dauern, die sich von denen im Mittelalter nicht unterscheiden.

#### Die Zecken als gefährliche Krankheitsüberträger

Viele Infektionskrankheiten, das hat das Beispiel Pest noch einmal gezeigt, werden von Insekten übertragen. Von Mücken zu meist, Flöhen und auch Zecken. So kennt man etwa 800 Zeckenarten auf der Welt, und viele von ihnen sind Vektoren, Überträger von Viren und Bakterien. In Europa sind es in erster Linie zwei mitunter recht komplizierte Krankheiten, nämlich die rheumähnliche *Lyme-Borreliose* (benannt nach dem nordamerikanischen Ort Lyme) und die *Frühsommer-Meningoenzephalitis* (FSME). Als potentielle Überträger gelten in unserer Gegend *Schildzecken*, hauptsächlich der *Gemeine Holz-*

Dieses Bild kann aus urheberrechtlichen Gründen nicht angezeigt werden

bock, und die etwas seltenere *Schafzecke*. In Nordamerika, wo sich zumal die Borreliose merklich ausbreitet und erstmals als eigenständiges rheumaähnliches Krankheitsbild erkannt wurde, ist als Hauptverantwortliche eine *Hirschzecke* identifiziert worden.

Die *Lyme-Borreliose* hat ein recht schillerndes Erscheinungsbild und wurde darum lange Zeit verkannt, während man heute wahrscheinlich viel zu oft von ihr spricht und viel zu viele Menschen mit irgendwelchen Gelenksbeschwerden vermuten, an dieser neuen Seuche zu leiden. Sie wird inzwischen immerhin derart oft diagnostiziert, daß eine Schutzimpfung zumindest in bestimmten Bevölkerungskreisen sinnvoll wäre. Doch es ist bzw. war gar nicht so leicht, einen entsprechenden Impfstoff einzusetzen. In Deutschland arbeiteten jahrelang mehrere Wissenschaftler daran. Gemeinsam haben sie einen Stoff entwickelt, der sich bereits in zeckenverseuchten Gebieten in den USA bewährt hat. Die amerikanischen *Centers of Disease Control and Prevention* haben übrigens eine eigene Erklärung für das Auftreten der Lyme-Seuche. Danach ist sie wohl doch eine ziemlich neue Erscheinung, die sich aus ganz bestimmten Umweltveränderungen ableiten läßt: Auch in den Staaten sind Menschen mit ihren Siedlungen und Freizeitaktivitäten während der letzten Jahrzehnte mehr und mehr in Waldgebiete vorgedrungen, die zecken- und zugleich borrelienseuchend sind. Auch dort sind sich Mensch und Tierwelt in einer vorher nie dagewesenen Weise nahegekommen, sodaß eine massenhafte Ausbreitung der Bakterien, der Borrelien, möglich wurde. Bei uns vermutet man eher, daß sich Menschen seit jeher infiziert haben, doch keine Ahnung hatten, daß ihre Krankheitsbeschwerden auf einen Zeckenbiß zurückgingen. Leider muß man in Europa noch etwas warten, bis es auch hier entsprechende Impfstoffe gibt. Das hat besondere Gründe: Die Borrelientypen sind bei uns variantenreicher als in Amerika, erfordern also einen komplexeren Impfstoff. Dessen Herstellung verzögert sich nicht zuletzt deshalb, weil interessierte Pharmaunternehmen erst noch genaue Daten über die Häufigkeit der Krankheit und mithin über Absatzmärkte gewinnen wollen.

Grundsätzlich weniger kompliziert ist die Vorbeugung der anderen von Zecken übertragenen Krankheit, der Hirn- und Hirnhautentzündung, der sog. FSME, die allerdings viel seltener vorkommt als die Borreliose. Es gibt nämlich seit längerem einen gut wirksamen Impfstoff dagegen. Der Erreger ist kein Bakterium, sondern ein Virus und scheint hauptsächlich in Süddeutschland, im Elsaß, in Osteuropa und Finnland verbereitet zu sein.

## Verwandlungskünstler Grippeviren

Nicht nur neuentdeckte Seuchenerreger stellen die Medizin vor oft jahrelange, schwierige Forschungsaufgaben, sondern ebenso ältere, wie die Influenzaviren. Sie sind altbekannte Begleiter kalter Jahreszeiten, wobei man erstaunlicherweise bis heute nicht weiß, warum sie uns gerade bei kühlen Außentemperaturen so zu schaffen machen. Ganze Forscherteams haben sich die Mühe gemacht, den katastrophalen Erreger der Influenzapandemie von 1918 zu rekonstruieren. Geduldig hat man einzelne Bruchstücke mehrerer Virusgene aus dem Gewebe damals verstorbener Menschen isoliert, um sich ein Bild von dem Erreger zu machen, der damals mehr Opfer forderte als der Weltkrieg. Es handelte sich um ein Virus, das bestimmten, heute in Schweinen vorkommenden Viren zum Verwechseln ähnlich sieht. Das heißt: Grippeviren nisten sich grundsätzlich auch und gerade bei Haustieren ein, vor allem bei Vögeln. Im Organismus der Tiere bilden sich ständig neue Virustypen. Sie wechseln den Wirt, verbinden sich immer wieder auch mit menschlichen Grippeviren, tauschen untereinander Gene aus, kreieren neue Varianten, die – wenn sie erfolgreich sind – um den ganzen Globus wandern. Zumal in Asien, wo Menschen und Tiere oft sehr eng beieinander leben, scheinen sich Gene unterschiedlicher Virenstämme von Mensch und Tier laufend auszutauschen. Die Erreger der *Honkong-Grippe* 1968 und der *Asiatischen Grippe* 1957 gingen wahrscheinlich aus solchen Verschmelzungsprozessen hervor.

## Ein weltweites Beobachtungssystem

Diese Möglichkeiten machen Grippeviren zu Verwandlungskünstlern, die einer ständigen Beobachtung bedürfen, will man sie einigermaßen in Schach halten. Inzwischen sind immerhin die Hauptkandidaten bekannt, die nach dem großen Seuchenzug vor über 80 Jahren immer wieder weltweite Epidemien auslösten. Man unterscheidet heute drei Typen mit einer Vielzahl von Untertypen, die sich immer wieder neue Eigenschaften zulegen. Die WHO beobachtet die Lage bzw. die jeweils virulenten Stämme in allen Ländern der Erde und bestimmt von Jahr zu Jahr aufs Neue, welche Virustypen gerade unterwegs sind und bei der Anfertigung eines Impfstoffs berücksichtigt werden sollen. In der Bundesrepublik sind das *Niedersächsische Landesgesundheitsamt*, die *Arbeitsgruppe „Influenza“* an der Universität Marburg und das Berliner *Robert-Koch-Institut* „Referenzzentren“ der WHO. Alle zehn Jahre scheint es zu größeren Influenzazügen zu kommen. Seit der letzten Epidemie, der sog. *Russischen Grippe* von 1977, sind bereits über 20

Jahre vergangen; rein statistisch müßte also bald wieder eine schwere Grippewelle anrollen. Mittlerweile hat man Grippemittel entwickelt, die die Bedrohung ein wenig abwenden könnten. Es handelt sich um Stoffe, die sich auf bestimmte Angriffspunkte an der Oberfläche der Viren stürzen und so ihre Vermehrung hemmen.

## Multiresistente Erreger findet man gerade in Krankenhäusern

Nicht nur der Austausch von Genen macht manche Mikroorganismen zu schillernden Verwandlungskünstlern und raffinierten Feinden, sondern auch die spontane Veränderung ihrer Erbmerkmale, die Mutation. Etliche Krankheitserreger vermehren sich in Windeseile, etwa alle halbe Stunde. Bei ihrer Fortpflanzung entstehen immer wieder Mutanten, von denen einige besonders gefährlich werden können, insofern sie das menschliche Immunsystem unterlaufen oder überfordern und gegen Medikamente Resistenzen entwickeln. Selbst an den Orten, an denen sich der Mensch besonders sicher fühlen sollte, bedrohen ihn heutzutage hochpotente Krankheitserreger, und zwar solche, die sich unter dem Dauerbeschuß von Medikamenten und anderen Chemikalien sozusagen ein „dickes Fell“ zugelegt haben. Multiresistente Mikroben findet man gerade in Krankenhäusern! In Deutschland fallen schätzungsweise jährlich einige tausend Patienten Bakterien- und Pilzinfektionen zum Opfer, die sie sich bei einem Krankenhausaufenthalt zugezogen haben.

## Mikroskopische Killerarmeen als Waffe?

„Hot Zone - Tödliche Viren aus dem Regenwald“ war der Titel eines Katastrophenbestsellers, in dem der Autor, der Wissenschaftsjournalist *Richard Preston*, die neue Virulenz der Seuchen als Immunreaktion der Erde gegen die „menschlichen Parasiten“ darstellt. Die zahlreichen Krankheitserreger erscheinen hier als gewitzte Gegner, die sich der destruktiven Spezies Mensch bemächtigen könnten. Der Nobelpreisträger und Virologe *Joshua Lederberg* meinte seinerseits, nur Viren hätten sich in der Entwicklungsgeschichte der Lebewesen auf dieser Erde so erfolgreich behauptet wie der Mensch, und nur sie könnten unserer Spezies die Beherrschung der Natur streitig machen. Am Menschen läge es nun, zu verhindern, daß Viren zu erfolgreich werden.

Am Menschen liegt es auch, daß sich die Büchse der Pandora, die er in der Hand hält, nie öffnet: daß er keine mikroskopischen Killerarmeen als „biologische“ Waffen in kriegerischen Auseinandersetzungen und bei Terrorakten einsetzt.

# Mehr als Plaste und Elaste

High-Tech-Werkstoffe aus der Retorte

Von Markus Bohn

Dipl.-Chemiker Dr. rer. nat. Markus Bohn ist Redaktionsleiter der SWR-Wissenschaftsredaktion Hörfunk, Baden-Baden.

Für vorgegebene Zwecke den jeweils optimalen Werkstoff zu entwickeln, ist ein vorrangiges Ziel deutscher Forschungspolitik. Die bislang vorgelegten Ergebnisse können sich international sehr wohl sehen lassen. Neue Werkstofflösungen für die Bereiche Energiegewinnung, Flugzeug- und Kraftfahrzeugbau liegen vor, aber auch für den gesamten Bereich der Medizintechnik und selbstverständlich für die Informations- und Kommunikationstechnik. Red.

## Gezielte Suche nach den besten Lösungen

„Attraktiver Exot sucht aufgeschlossene und phantasievolle Unternehmerin. Selbst stets flüssig, verfüge ich über eine geradezu magnetische Anziehungskraft, bin extrem ausdauernd und das in tropischer Hitze ebenso wie bei sibirischer Kälte. Wer kann solch ein Prachtstück gebrauchen?“

Zugegeben: Diese Kontakt-Anzeige ist fiktiv. Aber das Prachtstück gibt es tatsächlich. Eine dickflüssige Soße, so magnetisch wie ein Stück Eisen. Und irgendwann findet sich sicher auch jemand, der oder die eine Idee hat, was man damit technisch anfangen kann.

Werkstoff sucht Anwendung. Dieser Fall tritt ein, wenn Forscher eher versehentlich eine Entdeckung machen. Einen Klebstoff beispielsweise, der nicht klebt, und der eben deshalb hervorragend geeignet ist für die unzähligen Haftnotizen, die tagtäglich auf Briefe oder an Computerbildschirme gedrückt werden.

Neue Materialien für die Technik sind aber zu wichtig, als dass man sie allein dem Zufall überlassen dürfte. Und deshalb beschäftigt diese Forschung Zigtausende von Wissenschaftlern allein in der Bundesrepublik. Und deshalb werden dafür hierzulande auch Jahr für Jahr mehrere hundert Millionen Mark an Steuermitteln ausgegeben, die Forschung an den Hochschulen eingeschlossen:

„Die Industrie konzentriert sich überwiegend auf kurz- bis mittelfristige Lösungen. Langfristige Lösungen haben doch eher einen Zeitraum von fünf Jahren oder gar zehn Jahren – von der Idee zum Produkt. Und hier engagiert sich nun die Bundesregierung, speziell das Bundesforschungsministerium mit dem Programm ‚Neue Materialien für Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts‘. Wir haben das Programm 1994 gestartet. Es hat eine Laufzeit

von zehn Jahren. Wir haben analysiert im letzten Jahr, was denn die bisherige Förderung bewirkt hat, und die Ergebnisse können sich wirklich sehen lassen. Also da sind wir alle ein bisschen stolz drauf,“ meint Dipl. Ing. Wolfgang Faul, der am Forschungszentrum Jülich das Programm *MaTech* im Auftrag des *Bundesforschungsministeriums* als Projektträger koordiniert.

Metalle, Kunststoffe und Keramiken sind die drei großen Klassen, in die man die Werkstoffe traditionell einteilt. Das Programm *MaTech* orientiert sich jedoch an den wichtigsten Einsatzgebieten für neue Werkstoffe. Energie, Verkehr, Medizin, Information und Fertigung sind demzufolge die Technikfelder, die es zu beackern gilt.

## Hochfeuerfeste Keramiken für Kraftwerke

Beginnen wir mit der Energiegewinnung. Will man aus Kohle, Öl und Gas möglichst viel Energie herausholen, muss man diese Brennstoffe bei *möglichst hohen Temperaturen* verfeuern. Im Brennraum selbst will man deshalb künftig bis zu 1700 Grad Celsius erreichen. An die keramischen Werkstoffe, mit denen die Riesenöfen in den Kraftwerken ausgemauert werden, stellt dies extreme Anforderungen. Vor allem aber auch an die diversen Filter, mit denen die äußerst aggressiven glutflüssigen Aschetropfchen abgeschieden werden müssen, bevor die Verbrennungsgase in die Turbine, also in den Stromgenerator, geleitet werden:

„Es gibt, so wie bei der Bierherstellung, eine Art „Siemens-Reinheitsgebot“, wonach fünf Milligramm Partikel im Kubikmeter Luft enthalten sein dürfen mit Tropfengrößen unter fünf Mikrometern. Ansonsten, können Sie sich vorstellen, ist eine Turbinenschaufel innerhalb von wenigen Minuten wegkorrodiert. Bei Gasgeschwindigkeiten von bis zu 60 Metern pro Sekunde wirkt ein Tröpfchen wie ein Sandstrahlgebläse,“

erklärt Prof. Rainer Telle von der Technischen Hochschule in Aachen.

Die glutflüssigen Aschetropfchen sind aber nicht nur mechanisch äußerst aggressiv, sondern vor allem auch chemisch. Sie dringen in die keramischen Werkstoffe ein, die aus lauter mikroskopisch kleinen Kristallkörnchen bestehen, und das eigentlich feuerfeste Material zerbröseln, löst sich wie Zucker im Kaffee. Verhindern oder wenigstens bremsen lässt sich das nur, wenn die chemische Zusammensetzung der Keramik genau auf die jeweilige Kohle abgestimmt ist:

„Es gibt beispielsweise nach langjähriger Forschung hier im Hause sehr gute Werkstoffkonzepte für bestimmte Kohlen, z. B.

Ruhrkohle oder auch skandinavische Kohle aus Spitzbergen, die gelegentlich auf dem Markt sehr billig ist. Wir machen aber die Erfahrung, dass die Kraftwerksbetreiber nach Belieben die Kohle wechseln und dass dann die guten Effekte, die sich im Labor einstellen lassen, sich wieder ins Gegenteil umkehren.“ (Telle)

Dagegen helfen auch die besten Computersimulationen nichts, mit denen die Aachener Forscher heute die jeweils optimale Keramik austüfteln können. Gesucht werden deshalb Lösungen, die unabhängig von den Eigenschaften der Kohle oder des Öls funktionieren.

„Es gibt zwei Varianten. Die Entwicklung ‚intelligenter‘ Werkstoffe, die also auf die ankommenden chemischen Einflüsse und Temperatureinflüsse aktiv reagieren und sich selbst stabile Schutzschichten aufbauen. Eine weitere Strategie wäre einfach, die mechanische Filterung von solchen Schlacketröpfchen auszuschließen und elektrostatische Filter einzubauen. Wir brauchen also neue keramische Werkstoffe, die bei diesen Temperaturen elektrisch aktiv sind, Felder aufbauen können und dann infolgedessen die Teilchen ablenken können, so wie man heute beim Fernsehapparat beispielsweise einen Elektronenstrahl ablenkt, um das Bild zu erzeugen.“ (Telle)

Schon dieses scheinbar simple Beispiel – hochfeuerfeste Keramiken für Kraftwerke – zeigt, welch enormer Forschungsaufwand nötig ist, um den Wirkungsgrad unserer Kraftwerke weiter zu steigern und so Kohle, Öl und Gas zu sparen. Technisch noch aufwendiger sind beispielsweise die nur Bruchteile eines Millimeters dünnen keramischen Isolier-Schichten, die auf die Schaufelräder der Turbinen aufgebracht werden müssen, um vor allem die enorme Hitze vom metallischen Kern fernzuhalten. Auf diesem Gebiet hat Deutschland mittlerweile eine Spitzenposition erobert.

## Leichtbau spart Treibstoff bei Autos und Flugzeugen

Energie zu sparen ist auch das Ziel vieler Projekte aus dem zweiten Feld des Programms *MaTech*, der Verkehrstechnik. Und hier versucht man das natürlich zuerst einmal, indem man Gewicht einspart. Leichtbau mit Aluminium statt Stahl, so lautet das bisherige Erfolgsrezept.

Dipl. Ing. Wolfgang Faul:

„Aluminium ist bereits in der Serienfertigung. Es gibt Fahrzeuge, die werden mittlerweile angeboten mit einer Vollaluminium-Karosserie. Die nächste Stufe ist, Magnesium zu verwenden. Das ist noch mal ein gutes Stück leichter. Und da gibt es eine Reihe von technologischen Schwierigkeiten, Magnesium so zu verarbeiten,

wie man das mit Aluminium schon kann. Da fehlen zum Teil noch die richtigen Legierungen, die sich dann auch entsprechend verarbeiten und verformen lassen. Und das ist ein Schwerpunkt, der zur Zeit bearbeitet wird: Entwicklung von geeigneten Legierungen auf der Basis von Magnesium.“

Und anstelle massiver Metallteile möchte man künftig auch *Metallschäume* verwenden. Sie sind so leicht, dass sie wie Kork auf Wasser schwimmen, und dennoch fast so fest wie das normale Metall.

Bei den Flugzeugen setzt man noch auf eine andere Variante des Leichtbaus:

„Was im Flugzeugbau sehr stark sich in den letzten 20 Jahren entwickelt hat – und da war Airbus führend weltweit – das ist der Bereich der Kohlenstoff-Faser verstärkten Kunststoffe CFK. Airbus fliegt mittlerweile schon mit einem größeren Satz von Bauteilen, die auf der Basis von CFK entwickelt worden sind, und es gibt ein sehr ambitioniertes Projekt, das das Bundesforschungsministerium zusammen mit dem Bundeswirtschaftsministerium betreibt: Das ist das Flugzeug der nächsten Generation, wo der gesamte Rumpf aus CFK gebaut werden soll. Und dieses ist in mehrerer Hinsicht außerordentlich ambitioniert: Erstens sollen die Kosten für dieses Flugzeug um 40 % gesenkt werden gegenüber dem heutigen Stand und das Gewicht soll um 30 % gesenkt werden, so dass mit Verbesserung der Aerodynamik, mit Verbesserung der Turbinen, alles werkstoffbasiert, man davon ausgeht, dass die Flugzeuge der nächsten Generation nur noch etwa die Hälfte des Treibstoffs verbrauchen, den sie heute verbrauchen. Und das wäre natürlich ein gewaltiger Fortschritt.“ (Faul)

Die nötige mechanische Stabilität erhalten die „CFK“ genannten Kunststoffe, wie gesagt, durch eingebettete hochfeste Kohlenstoff-Fasern. Die müssen im fertigen Bauteil allerdings so angeordnet sein, dass sie durch die äußeren Kräfte beim Einsatz des Bauteils möglichst nur auf Zug beansprucht werden. Nur dann kommt ihre Stärke auch zum Tragen. Wickelt man die Fasern z. B. wie Nähseide auf ein Papprollchen, so lassen sich mit Kohlefaser verstärkten Kunststoffen sogar Antriebsachsen für schwere LKW realisieren. Schon vor mehr als 15 Jahren gab es derlei Prototypen, und manche Wissenschaftler prophezeiten damals, dass bald alle Achsen und Federungen in den Autos aus CFK gebaut würden. Und auch tragende Teile der Karosserie. Davon redet heute niemand mehr. Professor *Gerhard Wegner*, Direktor am *Max-Planck-Institut für Polymerforschung* in Mainz:

„Beim Automobil hätte man das gerne gemacht, aber die Herstellungskosten verbieten sich. Es ist einfach so, dass diese Bauteile für die Flugzeugindustrie per Hand hergestellt werden müssen. So wie der Schneider einen Anzug macht, müssen für den Flugzeugbau die einzelnen Bauteile von Hand ausgeschnitten, verklebt und verpresst werden. Und das ist nicht möglich in einer Fahrzeugproduktion, wo es um Sekunden geht in der Fertigungsgeschwindigkeit einzelner Bauteile. Bisher hat es die Forschung nicht möglich ge-

macht, Verfahren zu finden, die einer Metallverformung gleichkommen. Das ist einfach nicht der Fall. Und man kann auch nicht absehen, dass es so etwas geben wird. Deswegen haben diese Faser-verstärkten Kunststoffe eine schlechte Vorhersage für den Fahrzeugbau.“

### **Demnächst Autoscheiben aus Kunststoff**

Und dennoch können Kunststoffe im Auto künftig vielleicht wesentlich dazu beitragen, Gewicht zu sparen. Nicht als Ersatz für Metall, sondern als Ersatz für das schwere Glas:

„Wir arbeiten zur Zeit sehr engagiert daran, Autoscheiben aus Kunststoff herzustellen, aus Polycarbonat, das auch für die CD verwendet wird. Problem ist noch immer die Kratzfestigkeit, und es zeichnet sich ab, dass in den nächsten Jahren zumindest die Seitenfenster und vielleicht auch die Rückscheibe aus Kunststoff gefertigt werden, für die Frontscheibe wird's eher noch länger dauern. Es gibt zwischen deutschen Kunststoffherstellern und amerikanischen Automobilherstellern ein Joint Venture, wo man sehr engagiert daran arbeitet, das in die Fertigung zu bringen, und es gibt ja bereits erste Fahrzeuge, wo die Seitenscheiben aus kratzfestem Kunststoff sind, wo eben über die Beschichtungstechnik die Kratzfestigkeit erzielt wird.“ (Faul)

Bei *Brillen* gibt es das ja bereits. Optisch hervorragende aber mechanisch unzulängliche Kunststoffe werden mit feinsten Keramikpartikeln beschichtet, die nur Millionstel Millimeter groß sind, den Durchblick nicht im mindesten trüben und dennoch den Kunststoff sicher vor Kratzern schützen. Ein echtes High-Tech-Produkt. Leicht, bequem, bruchsicher. Aber leider nichts fürs Auto.

Professor *Gerhard Wegner*, Mainz:

„Die Herstellung solcher Brillengläser ist langwierig. Sie braucht lange Zeit, um zu einer genügenden Aushärtung des Keramik-ähnlichen transparenten Materials an der Oberfläche des Kunststoffs zu kommen, und das verträgt sich nicht mit der Preisgestaltung, die der Kunde letzten Endes bei seinem Automobil haben möchte. Also, im Prinzip ist dies eine Technologie, die funktioniert, aber in der Fertigung zu teuer ist.“ (Wegner)

Schnell und kostengünstig ist indes ein Verfahren, das derzeit am *Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik* in Dresden entwickelt wird. Dort werden Glasschichten auf die Kunststoffe aufgedampft, mit Hilfe von Elektronenstrahlen. Und diese Schichten, die nur sechs Tausendstel Millimeter dünn sind, sollen nahezu ebenso abriebfest sein wie normales Glas.

### **Erhöhung der Verbrennungsmotoren, um Energie zu sparen**

Gewichteinsparung ist eine Möglichkeit, um den Benzin- und Dieseldurst unserer Autos zu verringern. Ein zweiter Weg wäre – wie bei den Kraftwerken – die Verbrennungstemperaturen im Motor zu er-

höhen durch den Einsatz keramischer Bauteile. Ähnlich wie bei den Kohlenstoff-Faser verstärkten Kunststoffen waren auch hier viele Forscher vor mehr als zehn Jahren noch recht euphorisch. Aber mittlerweile sieht man es nüchterner. Professor *Rainer Telle*, Aachen:

„Ich sehe das seit jeher etwas kritisch. Ich bin ja am Stuttgarter Max-Planck-Institut groß geworden. Wir haben da sehr viel geforscht über Turbolader, aber auch über keramische Ventile. Und trotz immenser Erfolge ist der Wettbewerb der Metalle nicht außen vor geblieben. Wir haben auch von den Kunststoffen her gute Ansätze, die in Hochtemperaturbereiche von 400 Grad vorstoßen. Da spielt sicher die Zuverlässigkeit und die Kostenrelation die ausschlaggebende Rolle. Es hat in den letzten Jahren Durchbrüche gegeben, in der Fertigungstechnik, in der Schleifbearbeitung, die wieder die Möglichkeit, günstige Keramik-Ventile auf den Markt zu bringen, in den Bereich des Möglichen gerückt haben. Aber ich denke, die Metalle sind da ebenbürtig zur Zeit, und die Vorteile, die die Keramik bringen kann, haben sich nicht so bewahrheitet, wie man sich das vorgestellt hat. Da möchte ich also der Keramik als Strukturwerkstoff im Motor selber nicht die große Zukunft prophezeien, wie das andere Kollegen tun.“

### **In der Medizintechnik ist Keramik unangefochtener Favorit**

Unangefochtener Favorit ist die Keramik indes im dritten Feld des Forschungsprogramms MaTech, nämlich der Medizintechnik. Kein Wunder. Schließlich sind auch unsere Knochen eine Art Keramik, zumindest was die chemische Substanz angeht. Durch die gewachsene Struktur allerdings sind Knochen jedem technischen Ersatz noch immer haushoch überlegen. Vorzeigeprodukte keramischer Medizintechnik sind seit vielen Jahren die künstlichen Hüftgelenke:

„Problem bei künstlichen Hüften ist heute vielfach, dass nach einer Einsatzdauer von 10 bis 15 Jahren nicht das Material ermüdet ist, sondern die Wechselwirkung zwischen dem natürlichen Knochen und dem künstlichen Implantat zu einer Verschlechterung der Situation führt. Also beispielsweise löst sich diese Hüfte. Und es wäre ein großer Fortschritt, sowohl für den Patienten als auch für die medizinische Technik, wenn die Lebensdauer solcher Implantate deutlich verlängert werden könnte, auf 20 oder gar 30 Jahre.“ (Faul)

Große Hoffnungen setzt man hier auf neue keramische Oberflächenbeschichtungen.

Nicht nur *bio-inert* sollen diese Materialien sein sondern *bio-kompatibel*. Im Klartext:

Sie sollen vom Körper nicht nur nicht abgestoßen, sondern möglichst wie körpereigenes Material akzeptiert werden. In Aachen ist man auf diesem Gebiet besonders erfolgreich, nicht zuletzt dank der Tatsache, dass die Werkstoff-Forscher eine der größten Universitätskliniken vor der Haustüre haben.

Professor Telle:

„Wir haben eine Entwicklung vorange- trieben, die derzeit weltweit einzigartig ist. Wir können nämlich die Bio-Kompatibilität, d. h. die Verträglichkeit, in Werk- stoffe hineinbringen, die von vornherein zwar die Festigkeit bringen, die aber bis- lang nur bio-inert waren. Wir haben hier im Hause eine Oberflächenmodifizie- rungsstrategie entwickelt, wonach wir jede beliebige Oxidkeramik mit einer Schicht versehen können, d.h. es ist eigent- lich keine Schicht, sondern das Anhängen von Molekülen, die dem Körpergewebe suggerieren, dass es sich hier um einen bio- verträglichen Werkstoff handelt. Die Zel- len lagern sich an, die Zellen vermehren sich, wir haben ein Zellwachstum von 160 % gemessen, das entspricht eigentlich dem Idealfall eines normalen körpereigenen Knochenmaterials, und wir sind damit so weit fortgeschritten, dass wir ein Welt- patent angemeldet haben.“

Bis zur klinischen Prüfung am Menschen wird es freilich noch ein wenig dauern. Nach den erfolgreichen Zelltests müssen nun erst einmal die (vorgeschriebenen!) Tierversuche gemacht werden.

### Resorbierbare Implantate

Ein anderes spannendes Gebiet der medi- zinischen Materialforschung sind die so- genannten „resorbierbaren“ Implantate. Implantate also, die sich von selbst auflö- sen, wenn sie ihren Zweck erfüllt haben. Bekannt und längst gang und gäbe sind ja Fäden, mit denen Verletzungen oder Ope- rationswunden vernäht werden und die man nach der Heilung nicht mehr ziehen muss. Aber beim „Flickzeug“ für kompli- zierte Knochenbrüche auf der Basis des- selben Materials ist man mit dem Erreich- ten noch nicht zufrieden. *Wolfgang Faul:* „Dieses Implantat muss ja so lange wirk- lich stabil bleiben, wie der Knochen die Aufgabe noch nicht wieder übernehmen kann. Und im Augenblick ist es so, dass die Implantate dazu tendieren, ich sage mal zu früh ihre Festigkeit zu verlieren. Und das ist natürlich auf gar keinen Fall er- wünscht. Hier, denke ich, werden wir noch eine Entwicklungszeit von eher mehr als fünf Jahren vor uns haben, bis wir eine Si- tuation erreicht haben, wo die Stabilität so lange wirklich ausreichend verfügbar ist, wie sie denn auch benötigt wird.“

Günstiger ist die Situation bei künstlichem Knochenersatz auf der Basis von *Calcium- phosphat*. Auch das ist im Grunde eine Art „resorbierbares“ Implantat. Es soll jedoch nicht nach einer bestimmten Zeit völlig verschwinden, sondern optimal einwachs- en. Entscheidend für den Erfolg ist hier nicht nur die Chemie, sondern auch die Struktur des Werkstoffs. Nicht massiv wie übliche Keramik müssen diese Teile sein, sondern porös. Und die Poren müssen zu- dem ganz bestimmte Größen und Formen haben, damit das körpereigene Gewebe entsprechend darauf reagiert. Das im La- bor oder in der Fertigung hinzukriegen, ist nicht einfach, aber der Aufwand lohnt sich. Professor *Rainer Telle:*

„Der Vorteil der porösen Calciumphos- phatkeramik besteht darin, dass das kör- pereigene Gewebe dieses Material lang-

sam abbauen kann, weil es ja kno- chenidentisch ist, und an den Stellen hoher Belastung wieder aufbauen kann. Wir können also dem Körper eine Art Nähr- substanz zur Verfügung stellen für die Selbstreparatur. Das ist sehr wichtig bei Kieferproblemen. Denken Sie an Motor- radfahrer, die nach einem schweren Sturz eventuell große Defekte im Kieferbereich haben, wo ganze Knochenstücke einfach fehlen. Da kann man heute solche porö- sen Calciumphosphatkeramiken einset- zen, die dann im Laufe der Zeit einwachs- en.“

Neben den Keramiken spielen *Kunststoffe* in der Medizintechnik eine ganz herausra- gende Rolle.

Als Membranen in künstlichen Nieren bei- spielsweise, vor allem aber auch als Basis- material für die Züchtung biologischer, d. h. gewachsener Ersatzteile wie Haut oder anderer Organe.

Nur ein Exempel:

„In der Arterienchirurgie werden ganze Gefäße aus Kunststoff oder Kunststoffnet- zen eingesetzt, die so konstruiert sind, dass sie von Zellen überwachsen werden und dann nach einiger Zeit vom Körper als körpereigenes Material angesehen wer- den. Das geht soweit, dass man heute so- gar Polymerisationen, also die Herstellung des Kunststoffs, im Körper durchführen kann, so dass es gar nicht mehr nötig ist, zunächst ein Bauteil zu machen, was dann implantiert wird, sondern man erzeugt das Implantat direkt während der Opera- tion im Körper. Das ist phantastisch. Ich selber hätte es vor wenigen Jahren noch nicht für möglich gehalten, dass das geht. Aber es ist machbar.“ (*Wegner*)

### Amalgam-Ersatz: stabil und doch leicht zu verarbeiten

Fast trivial erscheint dagegen das letzte Beispiel für Materialforschung im Bereich Medizintechnik. Aber volkswirtschaftlich ist es dafür umso wichtiger.

„Amalgamsatz ist ein Thema, mit dem wir uns von der Werkstoffseite her seit mehreren Jahren beschäftigen. Hier haben wir auch gute Fortschritte erzielt, einen ke- ramischen Werkstoff zu entwickeln, der vom Zahnarzt mühelos verarbeitbar ist in kurzer Zeit, der vom Patienten hinterher uneingeschränkt genutzt werden kann, ohne dass es ihn belästigt, und der nun wirklich frei von quecksilberhaltigen Ver- bindungen ist. Die Situation, die wir heute erreicht haben ist, dass es mittlerweile Substanzen gibt, keramische Werkstoffe, die auch verarbeitbar sind, wo aber der technische Einsatz noch auf bestimmte Schwierigkeiten stößt, wenn der Patient dann beim Kauen diese neuen Werkstoffe beansprucht. Die Experten und auch die Firmen sagen, dass sie einen hohen Stand erreicht haben, dass man aber für die Um- setzung in die Praxis noch zwei bis drei Jahre weiter entwickeln muss. Aber der Anfang ist gemacht, und es zeichnen sich wirklich ganz interessante Alternativen ab.“ (*Faul*) Alternativen, die wesentlich kostengüns- tiger sein sollen als keramische Inlays. Die gibt es ja schon länger. Aber diese kleinen Kunstwerke müssen – wie Kronen – im Dentallabor passgenau angefertigt wer-

den. Was man gerne hätte, ist eine Masse, die so stabil und haltbar ist wie gesinterte Keramik und so leicht zu verarbeiten wie Kunststoff.

### In der Materialforschung höchste Priorität für die Informations- und Kommunikationstechnik

Jenes Forschungsgebiet, das in dieser Übersicht nun am Ende steht, findet sich auf der Prioritätenskala des Programms *MaTech* an allererster Stelle. Die Informa- tionstechnik.

„Wegen hoher Wachstumsraten und der für nahezu alle Branchen wettbewerbbe- stimmenden Querschnitt- und Schrittmacherfunktion wird die Informationstech- nik weltweit mit höchster Priorität einge- stuft.“, heißt es dort. Diesem Trend schließt sich das Bundesforschungsminis- terium vorbehaltlos an. Und das ist strate- gisch sicher richtig. Aber was sich an Mate- rialforschung auf diesem Gebiet tut, sprengt den Rahmen eines solchen Arti- kels. Allein mit dem Auflisten der vielen Effekte, die sich heute dank neuer Werk- stoffe in mikroelektronischen Bauteilen verwirklichen und nutzen lassen, könnte man leicht mehrere Seiten füllen. Natür- lich beherrschen vor allem *keramische* Werkstoffe dieses Feld. Fast alle Halblei- termaterialien gehören dazu, und deren Verhalten wird bereits durch winzigste Spuren fremder Elemente sprunghaft ver- ändert. So lassen sich neben den klassi- schen Bauteilen der Elektronik, wie man sie in Computern oder Stereoanlagen fin- det, heute auch ganz neuartige Chips her- stellen. Z. B. Sensoren für alle möglichen physikalischen Messgrößen sowie für ganz bestimmte Chemikalien. Mittler- weile gibt es sogar schon eine *elektroni- sche Nase*, die Umweltchemikalien buch- stäblich riechen kann. Viele Analysen im Labor werden dadurch überflüssig. Die ungeheure Funktionsvielfalt der elek- tronischen Bauteile auf Keramikbasis lässt indes leicht vergessen, dass auch die Kunststoffe hier eine ganz entscheidende Rolle spielen.

Professor *Gerhard Wegner* vom *Max- Planck-Institut für Polymerforschung* in Mainz:

„Die ganze Polymertechnologie ist eine sehr evolutiv ausgerichtete Technologie. Kleine Fortschritte tragen Tag für Tag dazu bei, dass im Verlauf von Jahren große Fortschritte erreicht werden, die wir dann z. B. in Form von Miniaturisie- rung tragbarer Geräte erkennen können. Wenn man sich daran erinnert, dass ein tragbares Telefongerät noch vor 10 Jahren die Größe eines Aktenkoffers hatte und das Gewicht einer mittleren Tennisausrü- stung, und heute daran denkt, dass ich mein Handy in die Hosentasche stecken kann, dann ist das nicht zuletzt ein Fort- schritt der Polymertechnologie. Man stellt sich zwar immer vor, dass die Elektronik aus Halbleitern und Kupferleitern beste- he, aber sie wäre ja ohne eine Foto- technologie und eine Fotochemie gar nicht möglich, die es erlaubt, diese minia- turisierten Schalter und Schaltungen zu machen, die sich in diesen Bauteilen fin- den. Im fertigen Bauteil sind die Polyme-

ren dann evtl. gar nicht mehr enthalten, aber als Prozesshilfsmittel sind sie unabdingbar. Darüber hinaus ist der größte Anteil des Gewichts von tragbaren elektronischen Geräten oft die Batterie, also die tragbare Energieversorgung. Und die wiederum beruht ganz wesentlich auf modernen Polymerwerkstoffen.“

Und ein Ende dieser Miniaturisierung ist nicht abzusehen. Nicht einmal beim Handy. Auch wenn die Mobiltelefone aus ergonomischen Gründen kaum noch kleiner werden können, so lassen sich eben bei gleicher Größe mehr Funktionen im Gehäuse unterbringen.

Kunststoffe sind im Reich der Elektronik aber nicht nur als Hilfsmittel wichtig für die Produktion der Chips oder als Werkstoff für die Gehäuse. Ohne Flüssigkristalle gäbe es schon bisher keine Bildschirme für Laptops. Und auch die Bildschirme der nächsten Generation basieren auf Kunststoffen:

„Die neue Technologie, die jetzt entwickelt wird und die in den nächsten Jahren eingeführt wird, ist die von Leuchtdioden, die auf polymerer Basis beruhen und die Licht abstrahlen, auch bildmäßig abstrahlen, vor dem Hintergrund eines sogenannten Elektrolumineszenz-Effekts. Es handelt sich um spezielle Polymere, die gute Isolatoren sind, in die man aber Ladungsträger – positive und negative Ladungsträger – injizieren kann. Diese Ladungsträger rekombinieren im Material und erzeugen einen leuchtenden Zustand der Moleküle, und diesen Effekt kann man zur Bilderzeugung ausnutzen.“ (Wegner)

Seit nunmehr sechs Jahren läuft das Forschungsprogramm *MaTech* „Neue Materialien für Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts“. Knapp zwei Milliarden Mark haben Steuerzahler und Industrie gemeinsam dafür ausgegeben. Bleibt die Frage: Was wurde bislang mit diesem enormen Aufwand erreicht?

*Wolfgang Faul*, der Manager – oder wie es offiziell heißt – „Projekträger“ von *Ma-Tech* im Auftrag des Bundesforschungsministeriums:

„Ein Highlight ist zweifellos, dass wir auf dem Gebiet der Werkstoffe für die Verkehrstechnik weltweit führend sind. Ich glaube, dass man ohne etwas Falsches zu sagen, noch immer oder gerade jetzt behaupten kann, dass Automobile, die in Deutschland gefertigt sind, technisch gesehen wirklich Spitze sind. Auch im Bereich der Kraftwerkstechnik, um elektrische Energie zu erzeugen mit Turbinen, sind Produkte aus Deutschland international führend. Es gibt die sogenannte Delphi-Studie, die im Auftrag des BMBF 1993 und 1998 durchgeführt wurde. Und in dieser Studie wird der deutschen Werkstofftechnik bescheinigt, dass sie von – ich glaube – 108 abgefragten Feldern in einem guten Drittel eine international führende Position hat, also auch noch vor den USA oder Japan, und dass sie in einem weiteren Drittel vor Japan hinter den USA rangiert, so dass wir also im internationalen Wettbewerb eigentlich ganz gut dastehen.“

# Entdecken Sie SWR2



... zum Beispiel:

**JOURNAL**  
*aktuelle Kulturinformationen*  
Montag bis Samstag, 8:05 - 8:30 Uhr

**SWR2 WISSEN**  
*Beiträge aus Bildung und Wissenschaft*  
Montag bis Samstag, 8:30 - 9:00 Uhr

**DSCHUNDEL**  
*das junge, "andere" Kulturprogramm*  
Montag bis Samstag, 14:05 - 15:00 Uhr

**RADIOART**  
*Essay - Literatur - Feature - Hörspiel*  
Montag bis Donnerstag, 21:00 - 22:00 Uhr

**THEMA MUSIK**  
*Montag bis Freitag, 15:30 bis 16:55 Uhr*

**ABENDKONZERT**  
*Montag bis Donnerstag, 19:05 bis 21:00 Uhr*

**MUSIK SPEZIAL**  
*Montag bis Donnerstag, 22:05 bis 23:00 Uhr*

Programm-Infos  
unter Telefon:  
01 80 / 5 929 222  
oder im Internet:  
[www.swr2.de](http://www.swr2.de)



W I R K U L T I V I E R E N R A D I O

„Small is beautiful“ ist die Devise der modernen Elektronik

# Die Steigerung von „klein“: Mini, Mikro, Nano

Mikro-Systemtechnik als Schlüsseltechnologie für das 21. Jahrhundert

Von Markus Bohn

Mit der Erfindung des Transistors 1947 nahm die Revolution der Elektronik ihren Lauf. Der Trend geht hin zu immer kleineren, gleichzeitig aber auch immer leistungsfähigeren Steuerungssystemen. Dazu mussten zugleich neue Technologien in der Chip-Herstellung, beispielsweise, aber auch stärkere Mikroskope entwickelt werden, um den „Durchblick“ zu behalten. Vorbild ist die Natur, wo sich alles im kleinsten Maßstab abspielt, etwa in der Zelle. Die Anwendungsmöglichkeiten dieser Mikro-Systemtechnik sind unendlich breit, von der Technik im Haushalt bis hin zur Medizin. Red.

## Der erste Transistor

Auf einem groben Klotz steht – mit der Spitze nach unten – ein grober Keil, gehalten von einem Draht, der an eine verbogene Büroklammer erinnert. Reichlich plump wirkt dieses Gebilde. Eine moderne Kleinplastik? Keineswegs.

Tatsächlich handelt es sich um eine Versuchsanordnung, die kurz vor Weihnachten 1947 den Spitzenmanagern der amerikanischen *Bell Telephone Laboratories* vorgeführt wurde. Dass dieses merkwürdige Objekt eine technische Sensation verhielt, war allen Beteiligten sofort klar. Dass es die Welt radikal verändern würde, vielleicht mehr noch als einst die Erfindung der Dampfmaschine, das konnte man damals allerdings noch nicht voraussehen.

Der 16. Dezember 1947 gilt heute offiziell als der Geburtstag des Transistors. Da zeigte sich im Labor zum erstenmal der gewünschte Effekt. Bei der Demonstration vor den Bell-Managern, eine Woche später, erfüllte dieses klobige Ding bereits fast alle Funktionen der voluminösen und stromfressenden Verstärkerröhren mit Glühkathode, die noch bis in die 60er Jahre in den heimischen Musiktruhen und Fernsehgeräten nicht nur zu finden, sondern auch immer wieder zu ersetzen waren.

Die Idee, kalte Kristalle statt heißer Röhren als Strom- und Spannungsverstärker zu verwenden, war schon etliche Jahre früher geboren worden, jedoch immer wieder gescheitert am Schmutz. Ein ganz kleines bisschen Schmutz ist ja durchaus erwünscht bei Kristallen und verleiht manch blasser Erscheinung erst ihren Reiz. Spuren von Eisen und Titan z. B. machen aus bleicher Tonerde den strahlend blauen Saphir, Chromoxide hingegen veredeln dasselbe Mineral zum leuchtend roten Rubin. Zuviel Dreck indes raubt dem Kristall die Schönheit. Und ganz ähnlich verhält es sich auch mit den elektrischen Eigenschaften. Halbleiterbauelemente,

wie sie heute in jedem elektronischen Gerät stecken, bestehen aus extrem reinen Kristallen, denen ganz gezielt winzige Spuren fremder Substanzen zuge-mischt sind. Oft nur im Verhältnis 1 zu 1 000 000. Die Fremdatome verursachen gewollte Störungen im ansonsten perfekten Kristallgitter und verleihen dem Material erst das gewünschte, maßgeschneiderte elektrische Verhalten. Intelligenter kombiniert zu Halbleiter-Sandwiches erhält man so schließlich alle möglichen elektronischen Grundbausteine.

Das erste funktionierende Modell eines Transistors blieb zunächst sechs Monate unter Verschluss. So lange dauerte es, bis die Patente abgesichert waren. Dann freilich nahm die Revolution der Elektronik ihren Lauf. Und keine zehn Jahre später (1956) erhielten drei Mitstreiter der Transistorgruppe in den *Bell Telephone Laboratories* den Physik-Nobelpreis. Zwei von ihnen, *John Bardeen* und *Walter Brattain*, als die eigentlichen Väter des ersten Punkt-Transistors, und der zunächst etwas frustrierte und kaum beteiligte Leiter der Arbeitsgruppe, *William Shockley*, für seine nachgeschobene Theorie dazu und für die Erfindung des Flächentransistors. In zwei Varianten eroberte der Transistor zunächst den Markt:

Als dreibeiniger, erbsenkleiner Winzling im schwarzen Kunststoffgewand wird er auf Leiterplatten gelötet und dient dort als universelles Steuerelement. Und im münzgroßen, hutförmigen Metallgehäuse findet man ihn – auf Kühlrippen geschraubt – als Leistungsverstärker. Bis in die 60er Jahre war „Transistor“ nicht nur der Fachbegriff für ein elektronisches Bauteil, sondern zugleich auch Synonym fürs Taschen- oder Kofferradio.

Doch die Unterhaltungselektronik ist nur eine Domäne dieser High-Tech-Kristalle. Und noch nicht einmal die wichtigste.

## Erst der Transistor macht die Elektronengehirne zu verlässlichen Datenknechten

Der erste programmgesteuerte elektronische Rechner ENIAC stammt aus dem Jahr 1946. Er ist also ein Jahr älter als der erste Transistor und war noch mit etwa 18 000 Röhren bestückt. Rein statistisch muss dieses Technikmonster etwa alle halbe Stunde versagt haben, weil eine der Röhren durchgebrannt war. Erst durch den Transistor wurden die Elektronengehirne zu einigermaßen verlässlichen Rechenknechten. Hochleistungsmaschinen, wie die *Personal-Computer*, die wir heute kennen, wären freilich auch damit nicht zu realisieren. Denn allein das Herzstück dieser PC, der Prozessor, enthält auf einer Fläche von nur wenigen Quadratzentime-

tern mehrere Millionen Transistoren. Aus einzelnen dreibeinigen Transistormännchen aufgebaut, würde man schon dafür eine Fläche von gut 100 Quadratmetern benötigen. Zu groß für den Schreibtisch, und unbezahlbar obendrein.

*Small is beautiful* lautet die Devise in der modernen Elektronik. Den ersten Durchbruch brachten die Integrierten Schaltkreise, die IC's, Anfang der 60er Jahre. Diese Daumnagel kleinen, käferförmigen Bauelemente vereinigten in ihren Kunststoffgehäusen noch vergleichsweise simple Schaltungen. Vom Mini-Verstärker bis zum kompletten Radio. Doch die Chiphersteller packten immer mehr Transistoren zusammen und so wurde aus der Mini-Elektronik die Mikro-Elektronik:

Um 1970 passten etwa 1000 Transistoren auf einen Chip, 1980 bereits 100 000 und heute sind Chips mit mehr als 100 000 000 (Einhundert Millionen!) Transistoren auf dem Markt. Ein Ende dieser Entwicklung ist noch nicht absehbar.

Eine der Voraussetzungen für diese atemberaubende Miniaturisierung war die sogenannte CMOS-Technologie (Complementary Metal Oxide Semiconductor): Durch spezielle Materialien (Metalloxide) und eine trickreiche Anordnung brauchten die einzelnen Transistoren immer weniger Strom. Und – das ist das Entscheidende: Demzufolge entwickelten sie auch immer weniger Wärme, die durch Kühlung abgeführt werden muss.

## Fortschritte in der Chip-Produktionstechnik

Eine andere Voraussetzung waren Fortschritte in der Chip-Produktionstechnik. Die winzigen Leiterbahnen und Funktionseinheiten werden in den Siliziumträgern fototechnisch bzw. lithografisch erzeugt: So wie man ein Negativ auf Fotopapier belichtet, überträgt man ein Abbild der gewünschten Schaltkreise zunächst von einer Maske auf die Siliziumscheibe (*Wafer*), die mit einer lichtempfindlichen Lackschicht überzogen ist. Mit verschiedenen Ätztechniken erhält man dann die realen Strukturen im Silizium.

Schicht für Schicht entstehen so die Chips. Wie klein die Strukturen sein können, hängt bei der Lithografie vor allem von dem „Medium“ ab, mit dem man „belichtet“. Je kleiner die Wellenlänge, desto feiner. Sichtbares Licht ist längst zu „groß“. Röntgen- und Elektronenstrahlen sind das „Licht“ im Mikrokosmos. Sie erfordern aber einen enormen technischen Aufwand. Es ist wie in der Mikroskopie. Je winziger die Objekte, desto größer sind die Apparate. Ein Lichtmikroskop, das maximal 2000-fach vergrößern kann, ist ungefähr so groß wie eine Kaffee-Maschine.

Ein übliches Elektronenmikroskop für mehr als 100 000-fache Vergrößerungen hat schon die Ausmaße eines großen Schreibtisches.

### Durchblick im Mikrokosmos mit Hilfe des Elektronenmikroskops ...

Das Elektronenmikroskop wurde Ende der 20er Jahre von *Ernst Ruska* an der *Technischen Universität Berlin* erfunden und seit Ende der 30er Jahre – zuerst von Siemens – als kommerzielles Forschungsinstrument gebaut. Es hat vor allem in Biologie und Medizin bahnbrechende Fortschritte ermöglicht, ist aber bis heute auch ein wichtiges Hilfsmittel in vielen anderen Wissenschaften. Mehr als 50 Jahre hat es jedoch gedauert, bis Ernst Ruska für diese segensreiche Erfindung den verdienten Nobelpreis erhielt. Und er wäre vermutlich überhaupt leer ausgegangen, hätten nicht zwei andere Forscher zu Beginn der 80er Jahre ein ganz neuartiges Mikroskop entwickelt, das noch wesentlich kleinere Objekte sichtbar machen kann, nämlich einzelne Atome: das Raster-Tunnel-Mikroskop. *Gerd Binnig* und *Heinrich Rohrer*, zwei Physiker am IBM-Forschungslabor in Rüslikon (Schweiz), tüftelten dieses Wunderwerk der Präzision aus. Und als man in der *Königlich Schwedischen Akademie der Wissenschaften* die zweifellos richtige Entscheidung traf, dafür einen Physik-Nobelpreis zu verleihen, besann man sich auch der Verdienste von Ernst Ruska und teilte die Auszeichnung 1986 unter den dreien auf.

Das Elektronenmikroskop von *Ernst Ruska* funktioniert im Prinzip wie ein optisches Instrument. Anstelle von sichtbarem Licht verwendet man jedoch – wie der Name sagt – Elektronenstrahlen. Da die Elektronen eine (negative) elektrische Ladung tragen, lassen sie sich durch elektromagnetische Felder beschleunigen und ablenken. Das macht man sich ja auch in Fernseh- und Computerbildschirmen zunutze, wo Elektronenstrahlen zeilenweise die Bilder erzeugen. Ganz analog kann man die Elektronenstrahlen auch so ablenken, dass sie wie Licht in Glas gebrochen werden. Solche „elektromagnetische Linsen“ hat *Ernst Ruska* in den 20er Jahren erstmals konstruiert.

### ... und des Raster-Tunnel-Mikroskops

Ganz anders hingegen arbeitet das Raster-Tunnel-Mikroskop. Hier führt man eine unvorstellbar feine Sonde zeilenweise über die zu untersuchende Oberfläche und tastet sie gewissermaßen ab. Die Spitze der Sonde, die nur noch aus einem einzigen Atom besteht, darf die Oberfläche jedoch nicht berühren. Mit einer raffinierten Steuerung sorgt man dafür, dass der Abstand zwischen Spitze und Oberfläche stets konstant bleibt. Die Auf- und Abbewegungen der Sonde werden registriert und liefern pro Zeile ein Höhenprofil der Oberfläche. Und aus vielen solcher Zeilen entsteht schließlich ein dreidimensionales Abbild. Die Oberfläche wird also berührungslos „abge-

tastet“. Das klingt simpel. Aber man muss sich die Präzision vor Augen führen, die hier nötig ist: Der Abstand zwischen Sondenspitze und der zu untersuchenden Oberfläche beträgt nur Millionstel Millimeter. Technisch ist das nur möglich, weil sich die Natur in diesen winzigen Dimensionen anders verhält als wir es im Alltag kennen. Hier gelten die Gesetze der *Quantenphysik*. Und die erlauben es beispielsweise, dass zwischen Sondenspitze und Untersuchungsobjekt ein elektrischer Strom fließt, obwohl beide keinen Kontakt haben. „Tunnel-Effekt“ nennen das die Physiker, weil die elektrischen Ladungsträger eine eigentlich unüberwindliche Energiebarriere gleichsam „durchtunneln“. Da die „Tunnel-Stromstärke“ direkt gekoppelt ist an den Abstand zwischen Sondenspitze und Oberfläche, hat man damit eine Messgröße, die es technisch ermöglicht, diesen Abstand konstant zu halten. Und daher hat dieses Gerät auch seinen Namen.

### Das neue Zauberwort heißt Nanotechnologie

Das Raster-Tunnel-Mikroskop (RTM) steht am Anfang einer neuerlichen Revolution, die eben erst beginnt. Nanotechnologie heißt das Zauberwort, das derzeit die Phantasien auch von solchen Naturwissenschaftlern und Technikern ins Kraut schießen lässt, die sonst eher nüchtern und sachlich denken. Denn mit dem RTM und seinem Zwillingbruder, dem Rasterkraft-Mikroskop rückt nun in den Bereich des Möglichen, was anno 1959 noch bloße Science-Fiction war. Damals, genau am 29. Dezember 1959, hielt der berühmte Physiker und Nobelpreisträger *Richard P. Feynman* am ebenso berühmten *California Institute of Technology* einen Vortrag, den nicht wenige als amüsante Spinnerei abtaten. „Warum sollte es nicht möglich sein, den Inhalt der 24 Bände der *Encyclopedia Britannica* auf den Kopf einer Stecknadel zu schreiben?“, fragte *Feynman* rhetorisch und rechnete vor, dass sich tatsächlich alle „Druckpunkte“ aller Seiten umfangreichen Lexikons als 25 000-fach verkleinertes „Faksimile“ auf dieser winzigen Fläche unterbringen lassen. Wobei jeder „Druckpunkt“ noch immer knapp 1000 Atome der Metalloberfläche bedecken würde. Inzwischen kann man sogar einzelne Atome mit dem Rasterkraft-Mikroskop „aufpicken“ und punktgenau auf einer Oberfläche plazieren. Und mit dem RTM lässt sich das fertige Punkte-Bild auch betrachten. Das Gedanken-Experiment *Feynmans* ist damit – jedenfalls im Prinzip – schon um Größenordnungen übertroffen, auch wenn die Technik natürlich noch weit davon entfernt ist, auf diese Weise Information in großem Umfang zu speichern und zu lesen.

*Feynmans* Visionen gingen aber bereits 1959 weit darüber hinaus. Würde man die Information nicht als (analoges) Faksimile speichern, sondern digital kodiert, und außerdem nicht nur auf einer Fläche, sondern in einem kleinen Würfel,

dann müsste der höchstens eine Kantenlänge von 0,1 Millimetern haben, um die gesamte Information aufzunehmen, die in allen Büchern, Zeitschriften und sonstigen Dokumenten der amerikanischen *Library of Congress* zusammen enthalten ist. Das gesamte Wissen der Menschheit ließe sich also – wenn auch vorerst nur rein theoretisch – in einem Staubkorn konservieren. Wobei pro *Bit* immer noch großzügige 100 Atome zu Verfügung stehen würden. „There is plenty of room at the bottom. Don't tell me about microfilm!“, scherzte *Feynman*.

In der Nanowelt ist in der Tat reichlich „Spielraum“, weil alles unvorstellbar klein ist. *Nanos*, das griechische Wort für „Zwerg“, steht in der Physik für „Milliardstel“. „Nano“ ist also 1000-mal kleiner als „Mikro“ (Millionstel) und strapaziert unsere Vorstellungskraft gewaltig.

### Die Natur macht es uns vor

Könnte man einen Millimeter aus Gummi auf die Länge von einem Kilometer dehnen, dann wäre ein Nanometer gerade mal ein Millimeter dieses Kilometers.

Kann man mit derart winzigen Strukturen in der „normalen“ Technik und im Alltag überhaupt etwas Sinnvolles anfangen? Und ob! Die Natur macht es uns ja vor. Der Stoffwechsel, der in jeder lebenden Zelle abläuft, ist im Grunde nichts anderes als „nasse“ Nanotechnologie, meint z. B. der Nobelpreisträger *Richard Smalley*. Wer die kompliziert gebauten Proteine nur als „Chemikalien“ sieht, denkt zu kurz. Schaut man sich deren Funktionsweise in Modellen genauer an, entpuppen sie sich als regelrechte „Miniaturmaschinen“. Zusammengebaut werden diese Maschinen wiederum von anderen Nanomaschinen. Jede lebende Zelle ist so betrachtet, eine gigantische Nanofabrik. Warum sollte es nicht möglich sein, nach dem Vorbild der Natur auch eine „trockene“ Nanotechnologie zu entwickeln?

Ernst zu nehmende Wissenschaftler träumen z. B. schon von winzigen Robotern, die Krebszellen erkennen und vernichten können. Aber noch hat niemand eine realistische Vorstellung davon, wie man solche komplexen Maschinen aus Tausenden von Atomen bauen könnte. Schon *Richard Feynman* hat in seinem visionären Vortrag von 1959 solche Ideen präsentiert und kam zu dem Schluss:

„Die Prinzipien der Physik sprechen, soweit ich sehe, nicht gegen die Möglichkeit, Dinge Atom für Atom zu manövrieren. Das verletzt keine Gesetze. Im Prinzip kann man das tun. Dass es praktisch noch nicht gemacht wurde, liegt daran, dass wir zu groß sind.“

Wie gesagt: Nicht nur im Prinzip, sondern real lassen sich einzelne Atome heute mit dem Raster-Kraft-Mikroskop manipulieren. Dieses Gerät ist dem Raster-Tunnel-Mikroskop recht ähnlich. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass die Sondenspitze die Oberfläche tatsächlich berührt und einzelne Atome aufpicken und gezielt wieder absetzen kann, gesteuert durch den elektrischen Strom, den man durch die Spitze fließen lässt.

Dieses Bild kann aus urheberrechtlichen Gründen nicht angezeigt werden

IBM-Forscher haben auf diese Weise schon vor Jahren die drei Buchstaben „IBM“ mit insgesamt 35 Xenon-Atomen auf eine Nickeloberfläche „geschrieben“.

Aber bislang ist es nicht möglich, auf diese Weise komplizierte, dreidimensionale Moleküle zu produzieren. Und niemand kann seriös voraussagen, wie schnell sich dieses Gebiet entwickeln wird.

### Drei Wege in die Nano-Welt

Praktisch stoßen Wissenschaftler und Techniker heute aus zwei „Richtungen“ in die Nanowelt vor. Gleichsam „von oben“ durch *weitere Verkleinerung* der Mikro-Elektronik zur Nano-Elektronik. Und „von unten“ durch *chemische Synthese* großer Nano-Moleküle.

Ein dritter Weg in die Nanowelt wird schon seit vielen Jahrzehnten beschritten, ohne dass man das bislang Nano-Technologie genannt hat. Denn der Leitstern auf diesem Weg war vorwiegend praktische Erfahrung, nicht theoretisch fundiertes Wissen. Gemeint ist die *Veredelung von Oberflächen* durch chemisch-physikalische Methoden. Beispiele dafür sind das Härten von Metallen und die Herstellung von speziellen Hochleistungskeramiken. In beiden Fällen beeinflusst man z. B. durch gezielte Wärmebehandlung das Feingefüge der Werkstoffe, wobei winzige Kristallite entstehen im Nanometer-Bereich. Auch die magnetischen Eigenschaften bestimmter Metalle lassen sich auf diese Weise deutlich verbessern, was mit dazu beigetragen hat, dass die Speicherdichte von Computer-Festplatten in den letzten Jahren enorm zugenommen hat.

Technisch und wirtschaftlich ist dieser dritte Weg sehr bedeutsam. Und je mehr auch hier theoretisches Wissen zur Richtschnur wird, desto rascher wird man

weitere Fortschritte erzielen. Die Entwicklung verläuft hier jedoch eher evolutionär, denn revolutionär.

Was auf den beiden anderen Wegen geschieht, kann man kaum vorhersagen.

Echte Revolutionen sind hier aber durchaus denkbar.

Von der Mikro- zur Nano-Elektronik gelangt man durch immer bessere Lithografiemethoden bei der Fertigung der Chips. Aber es gibt eine natürliche Grenze bei der Miniaturisierung der „klassischen“ Elektronik, die man nicht einfach überschreiten kann. Werden z. B. die elektrisch isolierenden Schichten in den Chips zu dünn (ca. 10 Nanometer), dann verlieren sie ihre Funktion, d. h. sie verlieren ihren elektrischen Widerstand. Es tritt derselbe Effekt ein, der das Raster-Tunnel-Mikroskop erst ermöglicht hat: der „Tunnel-Effekt“. Wir befinden uns plötzlich in Dimensionen, wo die Gesetze der klassischen Physik nicht mehr gelten, sondern nur noch die Gesetze der Quantenphysik. Das heißt aber keineswegs, dass die Miniaturisierung hier Halt machen müsste. Im Gegenteil. Es eröffnen sich ganz neue Möglichkeiten für eine „Quanten-Elektronik“. Nicht mehr „Ströme“ von mehreren hunderttausend Elektronen müssen in diesen Bauteilen fließen, um eine Schaltfunktion auszuüben. Vielmehr wird das einzelne Elektron, also ein einzelnes Elementarteilchen, zur Schaltgröße und Informationseinheit. Computer mit Rechengeschwindigkeiten und Speicherkapazitäten, die alles heutige weit in den Schatten stellen, werden damit möglich (Vgl. Beitrag *Klaus Herbst*).

### Das Schlüssel-Schloß-Prinzip der Nano-Chemie

Ebenso vielversprechend ist der Weg von unten nach oben, der Aufbau von

Nano-Maschinen durch chemische Synthese. Die Entwicklung steckt hier zwar noch in den Kinderschuhen, aber das Kind macht bereits die ersten Gehversuche.

„Nano-Chemie“ unterscheidet sich wesentlich von der „normalen“ Chemie. Vor allem dadurch, dass Nano-Maschinen in der Regel nicht aus einem einzigen Molekül bestehen, sondern aus mehreren verschiedenen Molekülen, in die z. B. auch Salze (Ionen) oder einzelne Atome „eingebaut“ sein können. „Supra-molekulare Chemie“ heißt dieses Forschungsgebiet, das seine Vorbilder vor allem in der belebten Natur bzw. in der Biochemie sucht und findet. In der supra-molekularen Chemie spielen

nicht einzelne „funktionelle Gruppen“ die Hauptrolle, also bestimmte Teile der Moleküle, die zu typischen chemischen Reaktionen fähig sind. Mindestens ebenso wichtig ist hier die Geometrie, also die räumliche Struktur der einzelnen Moleküle. Kurz: Die verschiedenen Bausteine, die sich zu einer Nano-Maschine zusammenfügen sollen, müssen auch in Größe und Form exakt zueinander passen, wie ein Schlüssel zum Schloß. Dies ist ja ein grundlegendes Konstruktionsprinzip der Natur, mit dem sich Biochemiker tagein tagaus beschäftigen. Nach diesem Schlüssel-Schloß-Prinzip unterscheidet z. B. unsere Immunabwehr zwischen körpereigenen und fremden Zellen. Und nach diesem Prinzip erkennen die Geruchssensoren in unserer Nase bestimmte Düfte.

Für die Konstrukteure künftiger Nano-Maschinen hat das ganze vor allem folgenden Vorteil: Die einzelnen Bauteile einer Nano-Maschine finden sich auch in einem Meer von anderen Teilen gewissermaßen von selbst und fügen sich auch von selbst zusammen. Man braucht keine „Nano-Roboter“, um Nano-Maschinen zusammen zu bauen. Das funktioniert „automatisch“ und mit größter Präzision (Selektivität) auch in einer chemischen „Eintopf-Reaktion“. Die große Kunst der Chemiker besteht darin, solche exakt passenden Schlüssel- und Schloßmoleküle zu entwerfen. Das ist auch mit den heute verfügbaren Computerprogrammen, wie sie beispielsweise beim *Drug-Design* eingesetzt werden, also beim Austüfteln neuer Wirkstoffe für Medikamente, keineswegs eine leichte Aufgabe. Aber das ist der künftige Trend. Und es ist nicht erstaunlich, dass man mögliche Anwendungen für solche künstlichen Nano-Maschinen vor allem auch in der Medizin erwartet.

Auch die berühmten Kohlenstoff-Fuß-

bälle und ihre zahlreichen chemischen Verwandten aus dem großen Clan der *Fullerene* sind Teil der Nano-Technologie. Diese Moleküle, die aus reinem Kohlenstoff bestehen und kugel- oder röhrenförmige Käfigstrukturen bilden können, wurden Mitte der 80er Jahre entdeckt, und brachten 1996 drei Chemikern den Nobelpreis ein. Eine große Zukunft wurde und wird den Fullerenen vorhergesagt, weil man die Größe der Käfige – zumindest theoretisch – fast beliebig maßschneidern kann. Lagert man darin Metallatome oder irgendwelche Moleküle ein, lassen sich – so hofft man jedenfalls – neue Halb-, Licht- und Supraleiter für die Elektronik herstellen, neue Katalysatoren für die Chemie, neue Farb- und Kunststoffe. Ferner könnten die Käfige als schützende „Verpackung“ dienen für empfindliche Arzneimittel, die man damit sicher bis zu den Stellen im Körper transportiert, wo sie wirken sollen. Die Liste denkbarer Anwendungen ist sehr lang. Aber das meiste liegt noch in relativ weiter Ferne. Und von der Euphorie, die noch vor zehn Jahren unter den Wissenschaftlern herrschte, ist kaum noch etwas zu spüren. Langwierige Grundlagenforschung steht auf dem Programm.

### Von allem etwas: Mikro-Systemtechnik

Rasante Fortschritte verzeichnet derzeit hingegen ein Gebiet, das Mikro-Elektronik, Mikro-Mechanik und Nano-Technologie vereint: die Mikro-Systemtechnik. Man gibt den Chips der Mikro-Elektronik sozusagen Sinnesorgane sowie einen Bewegungsapparat, damit sie auf Umwelteinflüsse reagieren können. So erhält man auf kleinstem Raum und relativ kostengünstig komplette Steuer- und Regelgeräte. Künstliche Nasen etwa, die den Braten riechen, bevor er anbrennt, und die die Temperatur im Backofen entsprechend verringern.

Mit lithografischen Verfahren lassen sich nicht nur die Labyrinth-Strukturen der Chips in Silizium ätzen. Man kann damit auch mikro-mechanische Bauteile höchster Präzision herstellen. Zahnräder, die kleiner sind als ein Ameisenkopf, ja ganze Mikromotoren für Mikropumpen beispielsweise. Auch mit Lasern lassen sich diese winzigen Teile äußerst genau bearbeiten.

Und was die möglichen Anwendungsgebiete der Mikro-Systemtechnik betrifft, sind der Phantasie kaum Grenzen gesetzt.

Längst etabliert, aber weiter verbesserungsfähig sind z.B. die Druckköpfe von Tintenstrahldruckern, die Schreib-/Leseköpfe in Festplatten, endoskopische Instrumente für die Minimal-Invasive-Medizin, Auslöser für den Airbag.

Daten- und Medizintechnik, Fahrzeug- und Verkehrstechnik, Telekommunikation und Umwelttechnik, Energietechnik und Maschinenbau – es gibt praktisch keinen Bereich, der nicht von der Mikro-Systemtechnik profitieren könnte. Von der Bundesregierung wird sie deshalb schon lange als Schlüsseltechnologie für das 21. Jahrhundert eingestuft und gefördert. Erst kürzlich ist dieses Förderprogramm neu aufgelegt worden.

Ziel ist vor allem, die bereits vorhandenen Techniken und Anwendungsideen möglichst rasch in Produkte umzusetzen. Denn das Marktpotenzial der Mikro-Systemtechnik wird von Experten sehr hoch veranschlagt: 40 Milliarden Ecu sollen damit bereits im Jahr 2002 umzusetzen sein. Und gerade in solchen High-Tech-Bereichen gilt die Weisheit von *Michail Gorbatschow*: „Wer zu spät kommt ...“

Dieses Bild kann aus  
urheberrechtlichen Gründen  
nicht angezeigt werden

Dieses Bild kann aus  
urheberrechtlichen Gründen  
nicht angezeigt werden

Die USA, Japan und Deutschland bilden das Spitzentrio beim weltweiten Handel mit Hightech-Produkten. Das ist das Ergebnis einer Studie über die technologische Leistungsfähigkeit Deutschlands, die vom Bundesforschungsministerium vorgelegt wurde. Danach erreichten die USA bei Spitzen- und höherwertiger Technik einen Weltmarktanteil von fast 19 Prozent; japanische Unternehmen bestritten 15,8 Prozent des Weltexports, und 14,4 Prozent der weltweit gehandelten Hightech-Güter stammten aus deutscher Produktion. Damit haben die Deutschen an Boden verloren. 1995 hatten sie noch einen Anteil von 16 Prozent. Auch Japan gehört zu den Verlierern. Nur die USA konnten ihren Marktanteil ausbauen.

Globus

Der europäische Telekommunikationsmarkt wächst und wächst. Bereits im nächsten Jahr wird Schätzungen zufolge ein Umsatz von rund 300 Milliarden Euro erreicht. In Deutschland erzielt die Branche in diesem Jahr Einnahmen von fast 60 Milliarden Euro. Ein Ende dieser Entwicklung ist nicht in Sicht. Im Gegenteil, der neue Mobilfunk-Standard UMTS wird nach Ex-

pertenmeinung einen neuen Wachstumsschub auslösen. Zur Zeit versuchen die Netzbetreiber in mehreren Ländern Europas, an eine der knappen UMTS-Lizenzen heranzukommen. In Deutschland beginnt die Versteigerung der zukunftsträchtigen Lizenzen am 31. Juli des laufenden Jahres.

Globus

# Der Computer der Zukunft

Wann und wie es im Chip zum Kurzschluss kommt – und wie die Forscher das Problem lösen wollen

Von Klaus Herbst

*Nach seinem Studium der Linguistischen Datenverarbeitung ist Klaus Herbst heute regelmäßiger Mitarbeiter für den Deutschlandfunk, die SWR-Wissenschaftsredaktion und verschiedene andere ARD-Wissenschaftsredaktionen, für den ORF und den BBC World Service sowie Fester freier Mitarbeiter bei der „Computer Zeitung“.*

**Auf dem Wege zu immer kleineren und leistungsfähigeren Chips ist heute das Ende des Silizium-Zeitalters absehbar. Nach neuen Möglichkeiten muss gesucht werden, nach neuen Anordnungen in der Speicherung quasi als Ausweg, sowie nach neuen Materialien. Die Erfolge sind vielversprechend.** Red.

## Bald vorbei mit immer kleineren und leistungsfähigeren Chips

Während Millionen Rechner Tag und Nacht gewaltige Datenmengen verarbeiten, Nutzer weltweit Multimedia-Anwendungen genießen und während die ersten E-Commerce-Unternehmen vor der Pleite stehen, da denkt ein japanischer Computerexperte über die Zukunft nach und zeichnet ein Szenario für das neue Jahrhundert, das unsere von Informationstechnologie geprägten Welt das Fürchten lehrt: In einer ersten Phase erwartet Hiroshi Iwai vom Tokioter Institute of Technology noch Fortschritte bei der Softwareentwicklung, setzt auf höhere Computerintelligenz und ein wachsendes Kommunikationsaufkommen sowie auf mehr mobile und persönlichere Computer. In einer zweiten Phase sollen sich dann die Rechnerstrukturen an biologische Vorgänge angleichen. Doch bald schon werde es dabei gravierende Probleme geben: Die Grenze des so genannten Downsizing, der Miniaturisierung soll schon bald erreicht sein. Die Lithographie, die traditionelle fototechnische Art der Chipherstellung, wird mit immer kleineren Chipstrukturen nicht mehr fertig. Iwai sieht nur einen Ausweg aus der technologischen Sackgasse: ganz neue Materialien für den Computer der Zukunft.

Auch Mitarbeiter der angesehenen Bell Labs, die Forschungsschmiede des Telekommunikationsriesen Lucent in Murray Hill (New Jersey), halten es für wahrscheinlich, dass die vermeintlich immerwährende Miniaturisierung der Computerchips an ihr Ende kommen wird: Schon im Jahr 2012 soll es mit immer neuen und besseren Chips vorbei sein. Mit einem hochkomplizierten Messverfahren, der Elektronenemissions-Verlustspektroskopie, sagen sie dies unübertroffen genau vor-

aus. Das Ende der Siliziumtechnologie, auf der die ganze Computerwelt basiert, soll dann erreicht sein, wenn die kleinste Struktur im Chip, der Isolator aus Siliziumdioxid, auf nur noch ganze vier Atome – von denen dann nur noch zwei voll funktionsstüchtig sind – ultradünn miniaturisiert sein wird. Das ist ziemlich genau im Jahr 2012 der Fall, meint Max Schulz vom Institut für Angewandte Physik der Universität Erlangen-Nürnberg. „Ultradünn“ bedeutet in diesem Fall etwa 0,8 bis 1,3 Nanometer.

## Denn die Erfolgsstory des Silizium geht zu Ende

Schulz erklärt die Vorgehensweise der US-Forscher. Sie untersuchen die quantenmechanischen, elektronischen Zustände an der Grenzfläche des Isolators und im Isolator selbst. Sie messen diese durch Abtasten mit Spektroskopie, wie man das auch in der Optik macht – dort ist es die Farbe des Lichts, hier ist es die Energie der elektronischen Zustände in einem Festkörper. Ein Kondensator kann eine Ladung, die gesteuert werden soll, nur speichern, wenn es keinen *Kurzschluss* zwischen zwei Kondensatorplatten gibt. Die Kapazität dieses Kondensators wird immer größer, je dünner der Plattenabstand wird. Wenn es aber so dünn wird, dass es einen Kurzschluss gibt, dann bricht die Ladung zusammen, und man kann in dem Feldefekttransistor keine Leitfähigkeit mehr steuern. Die Entwicklung ist also vorgezeichnet. Wenn die dünnen sogenannten Gate-Oxide aus Siliziumdioxid unter Spannung durchbrechen, so dass noch dünnere Oxide nicht mehr für elektronische Bauelemente verwendet werden können, dann droht der Erfolgsstory des Siliziums ein jähes Ende.

Heute ist eine typische Siliziumdioxid-Schicht 25 Atome dick. Auch Verfahrensverbesserungen wie extremere Reinraumbedingungen oder höher auflösende Röntgen-Lithographie werden später nicht mehr weiterhelfen. Denn die Begrenzung der Oxid-Dicke ist von fundamentaler Bedeutung. Man müsse sich also wirklich etwas Neues einfallen lassen, um durch das Silizium-Nadelöhr zu wandern und auch nach 2012 noch bessere Chips zu bauen.

Schon bald kommt es vermehrt zu sogenannten *Short Channel Effects*. Dann werden elektronische Schalter undicht. Schalter für binäre Informationen lassen im ausgeschalteten Zustand Spannung durch. Und umgekehrt, wenn man sie einschaltet, setzen sie zu viel Widerstand entgegen. Was man auch macht, es ist verkehrt.

## Auf der Suche nach tauglichen Alternativen

Die Cracks, die absoluten Experten auf diesem Gebiet, müssen sich also nach tauglichen Alternativen umschauchen. Davon gibt es bereits einen ganzen Bauchladen skurriler und seriöser Konzepte. Ganz andere Alternativen sind sogenannte DNS-Computer, Biocomputer, 3-D-Chips, optische Rechner sowie Ferroelektrika als Siliziumersatz. Ferroelektrika sind – jedenfalls zur Zeit – noch nicht tauglich. Sie sind bei weitem nicht so fehlerfrei wie das gute, alte Silizium. Geeignete Materialien mit einer besseren dielektrischen Konstante, einer stärkeren Isolationswirkung und so pflegeleicht wie Silizium, sind noch längst nicht gefunden. Das Ferroelektrikum Tantalpentoxid zum Beispiel hat viel schlechtere Materialeigenschaften in punkto Defektfreiheit und Durchbruchfestigkeit. In diesem Zusammenhang kommt auch Kunststoff zu neuen Ehren: Materialforscher am Philips-Forschungszentrum in Eindhoven (NL) haben den ersten komplett aus Kunststoff bestehenden integrierten Schaltkreis gebaut. Auf einem Polyamid-Wafer werden 326 Transistoren untergebracht. Für Halbleitermaterial und die Isolation wird ein Kunststoff verwendet, die Elektroden bestehen aus einem organischen Metall. Für die Transistorstrukturierung wurde auf die herkömmliche Lithographie zurückgegriffen. Der Plastikchip ist mit 30 Bit pro Sekunde allerdings noch sehr langsam. Sein Vorteil aber ist die einfache Fertigung.

## Dreidimensionales Speichern als Ausweg

Wenn schon die Materialforschung nicht die baldige Lösung liefert, dann kann man das Miniaturisierungslimit auf die sanftere Tour umgehen, hoffen die Experten. Mit Software wollen sie das Hardwaredefizit ausgleichen. Außerdem sollen Hardwarekomponenten auf dem Chip intelligenter miteinander verschaltet werden. Sönke Mehrgardt vom Münchener Halbleiter-Hersteller Infineon wehrt sich gegen allzu düstere Prognosen. Er setzt auf einen Paradigmenwechsel und weist auf das, was die Natur im menschlichen Gehirn bereits geschaffen hat. Dort ist die Information etwa 100 Millionen mal dichter gespeichert als in Computerspeichern. Das dreidimensionale Speichern von Informationen ist seiner Meinung nach ebenfalls ein großes Thema. Auch mit dem klassischen Silizium gebe es noch Möglichkeiten, die sich in erstaunliche Dimensionen hineinbewegen: In den Labors vorhandene 0,1- und 0,05-Mikron-

transistoren sollen die nächsten 10 Jahre abdecken. So sehr man ins Schwitzen komme, wenn man alle Detailprobleme denkt, so gebe es noch einen relativ gut gefüllten Köcher von Maßnahmen.

### Optische Rechner?

Ein mögliches Konzept sind optische Rechner. Die schnellsten Datenleitungen übertragen keine Elektronen sondern Photonen, Lichtquanten. Die Wechselwirkungen zwischen Photonen sind ganz anders als zwischen Elektronen, und so würden optische Rechner neue Möglichkeiten bieten, glaubt der Physiker Ekkehard Peik vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching. Zwar wird am Konzept der optischen Rechner schon seit Mitte der achtziger Jahre gearbeitet, aber die Forscher erwarten, dass diese auf sehr spezielle Anwendungen beschränkt bleiben: hauptsächlich auf Bildverarbeitung, das Vergleichen von Bildern beispielsweise. Um Computer miteinander zu vernetzen, ist Licht besonders geeignet. Die Technik der Datenübertragung über Glasfaserkabel mit Licht ist bereits fest etabliert, entwickelt sich rasant, getrieben durch das schnell wachsende Internet, das große Übertragungsraten verlangt. Aber komplette optische Rechner haben sich im Labor als zu groß erwiesen und sind bereits von der fortschreitenden Miniaturisierung überholt worden.

Sogenannte DNS-Computer liegen noch in weiter Ferne. Die Idee ist, dass sich das in jeder menschlichen Zelle arbeitende menschliche Erbgut mit einem Computerprogramm vergleichen lasse.

### Mit den Körperzellen von Schlammschnecken Computerchips bauen?

Dass man beispielsweise mit Hilfe der Körperzellen von Schlammschnecken neue Computerchips bauen könnte, glauben einige Wissenschaftler. Hier und da gibt es entsprechende Experimente. Man geht davon aus, dass sich die Zellen der Schnecken, legt man eine Spannung an, zusammenziehen und sich also als elektrische Schalter verwenden lassen könnten. Das hätte sicherlich Vorteile, Rechnern eine neuartige Schnittstelle zum menschlichen Körper zu geben. Biologische Chips könnten sich bei der Signalübertragung von Nervenreizen einspannen lassen, zum Beispiel in der Neuroprothetik. Dort ist es ein vielversprechendes Ziel, die Funktion künstlicher Organe stark zu verbessern. Dabei setzen die Forscher auf dem menschlichen Gehirn nachempfundene Neuronale Netze, bessere Software und eben auch auf Materialien aus der Natur. Dass aber ein vollständiger Computer aus Schneckenchips zu bauen sei und dass der auch noch schnell sein soll, damit rechnet wohl niemand ernsthaft.

### Vorgänge der Natur simulieren

Begriffe wie Biocomputing und Chemical Computing führen leicht in die Irre. Denn

sie suggerieren, es werde Computer geben, in denen biologische Substrate oder chemische Verbindungen Rechenoperationen ausführen. Tatsächlich verbirgt sich dahinter etwas anderes: eine hochaktuelle Technologie. Es geht um Software, beispielsweise der amerikanischen Chemical Computing Group (CCG). Die Software nennt sich Molecular Operating Environment (MOE). Sie erlaubt es, chemische und auch biologische Abläufe, also Vorgänge der Natur zu simulieren. Ein Stück Natur ist sozusagen auf die CD-ROM gebrannt. Solches Know How erlöst die Menschheit von Krankheiten – und die Pharmaindustrie von zusätzlichen Kosten. Die Technologie dient beispielsweise dem Screenen, der systematischen Suche nach neuen wirksamen Substanzen, was im Erfolgsfall in neue Medikamente mündet. Tierversuche werden so eingespart. Aber chemisch arbeitende Computer sind es nicht. Gleiches gilt für sogenannte DNA-Chips. Nicht das Erbgut rechnet – sondern Chip-ähnliche Gebilde explorieren das Erbgut.

### Gestapelte Chips

Sogenannte 3-D-Chips sind bereits Wirklichkeit, obwohl heute noch die meisten Schaltkreise zweidimensional konstruiert sind. Weil die Chiphersteller Platz sparen wollen und müssen, sind sie schon vor Jahren auf die Idee gekommen, mehrere Prozessoren übereinander zu stapeln. Auf diese Weise sind so genannte Stacked Chips, gestapelte Chips, entstanden. Wäre ein Rechner vollständig mit solchen Chips ausgerüstet, würde er also komplett in 3-D arbeiten, ist zu erwarten, dass sich seine Leistungsfähigkeit wesentlich steigert.

Dreidimensional wird es auch bei den so genannten holographischen Datenspeichern. Beim Rennen nach größerer Speicherkapazität, höherer Speicherdichte und schnelleren Auslesezeiten versprechen dreidimensionale Speicher, eine Alternative der nächsten Generation zu werden. Diese bestehen aus verschiedenen Schichten zusammen montierter Hologramme. Weil in ihnen die Dimension der Tiefe hinzu kommt, ist eine stark verbesserte Speicherkapazität zu erwarten. Schwierigkeiten bereitet es noch, solche Systeme kostengünstig herzustellen.

### Ein Quantencomputer könnte parallel statt nacheinander rechnen

Zum gegenwärtigen Stand gibt es glücklicherweise eine neuartige Technologie, der man mit einigem Recht größtmögliche Chancen zusprechen darf, mittel- und langfristig Silizium zu ersetzen – zumindest bei manchen Anwendungen. Das ist der sogenannte Quantencomputer. Sein Hauptvorteil: Er wäre in der Lage, besonders viele Rechenoperationen parallel, zur gleichen Zeit also, auszuführen, Aufgaben, die ein herkömmlicher Rechner vergleichsweise umständlich, nacheinander nämlich, abarbeitet. Ein Quantenbit, das sogenannte Qubit, könnte zusätzlich zu den beiden bekannten Zuständen offen

oder geschlossen, null oder eins, die unsere binäre Welt ausmachen, noch eine Überlagerung beider Zustände schaffen. Könnte man gar mit zehn Bits arbeiten, dann hätten wir einen Gewinn von Tausend gegenüber konventionellen Rechnern.

Im Max-Planck-Institut für Quantenoptik versuchen die Forscher gerade, den Quantencomputer zu verwirklichen, indem sie auf die Jagd nach Atomen gehen. In sogenannten Ionenfallen wollen sie elektrisch geladene Magnesiumatome im Raum festhalten. Die Fallen bestehen aus starken, genau definierten elektrischen Feldern. Dort werden die gefangenen Atome mit Laserstrahlen beschossen, handhabbar gemacht, hin- und hergeschoben und taugen damit grundsätzlich zum Ausführen von Rechenoperationen. Die wichtigsten Komponenten eines Quantencomputers sind also die Ionenfalle zum Einfangen der Atome, die Laserquelle für die Schaltoperationen und die Steuerung der Rechenoperationen von außen durch einen klassischen Computer, der die Laserstrahlung lenkt und sie gezielt zum Pulsieren bringt.

Eine Alternative sind sogenannte Kernspin-Quantencomputer. Hier verwenden die Forscher komplizierte, aus mehreren Atomen zusammengesetzte Moleküle mit ganz bestimmten Eigendrehimpulsen, den sogenannten Kernspins. Jeder Kernspin würde ein Qubit ergeben. Die Forscher könnten in flüssigen Medien sehr viele Moleküle zum Rechnen bringen.

Das Rechnen mit Quantencomputern würde ganze Klassen von Problemen überhaupt erst lösbar machen, vor denen herkömmliche Systeme versagen würden. Das wäre vor allem die sogenannte Kryptographie, die Ver- und Entschlüsselung von Nachrichten. Eine andere mögliche Anwendung ist das Durchsuchen extrem großer Datenbanken in Blitzgeschwindigkeit. Hier sind übliche Systeme sehr stark vom Zufall abhängig. Quantencomputer würden sehr viel effizienter suchen.

Allerdings birgt das Rechnen mit Quanten auch potenzielle Sicherheitsrisiken in sich. Denn weil es so schnell ist, würde es heute noch bombensichere Zahlencodes im Nu knacken, und die Verschlüsselung geheimer E-Mails, Kontodaten oder brisanter Texte würde zusammenbrechen. Das würde sie jedoch vermutlich nur kurze Zeit, denn schon bald würden Quantencomputer auf ganz neue Rechenformeln kommen, die dann wirklich sicher sind – ungleich sichere als diejenigen Kryptographieverfahren, die zur Zeit zum Einsatz kommen!

### Ein bahnbrechender Erfolg ist gelungen

Gerade ist es auf dem Gebiet der Quantencomputer sogar zu einem bahnbrechenden Erfolg gekommen. Was Forscher vom Institut für Organische Chemie und Biochemie II der Technischen Universität München, vom Institut für Organische Chemie der Universität Frankfurt und Ex-

perten des Karlsruher Technologiehauses Bruker Analytik geschafft haben, bezeichneten Experten als Weltsensation. Die Forscher haben zum ersten Mal fünf Atome in einer Lösung zu einem Molekül verknüpft, zu einem sogenannten Designermolekül, das der Frankfurter Chemiker Raimund Marx geschaffen hat. Jedes einzelne seiner fünf Atome, ein Wasserstoff-, ein Stickstoff-, ein Fluor und zwei Kohlenstoffatome, trägt die Information eines Bits. Die Münchener, Frankfurter und Karlsruher Experten haben also den weltweit größten Quantencomputer gebaut, den weltweit ersten Quantencomputer mit fünf Qubits.

Im Gegensatz zu normalen Computern besteht der neue Quantencomputer nicht aus miteinander verdrahteten Mikrochips. Das Modell setzt sich vielmehr aus einem NMR-Spektrometer (Kernmagnet-Resonanz-Spektrometer) und der eigens entwickelten Lösung zusammen. Das NMR-Spektrometer besteht aus einem starken Magnet. Dieser richtet Atome, die den so genannten Kernspin besitzen und sich damit selbst wie kleine Magnete verhalten, im starken Magnetfeld des NMR-Spektrometers aus wie Kompassnadeln im Magnetfeld der Erde. Durch das An- und Abschalten verschiedener Magnetfelder im NMR-Spektrometer werden die Kernspins der Atome in der neu entwickelten Lösung beeinflusst. Das „Computerprogramm“ des Quantencomputers besteht demnach aus einer bestimmten Abfolge von Magnetfeldern im An-/Aus-Modus. Diese Abfolge schreibt das Ergebnis der Rechnung fest.

### Die Schnelligkeit erlaubt ganz neue Rechenoperationen

Der neue Quantencomputer kommt viel schneller ans Ziel. Das haben erste Testrechnungen bewiesen. Dazu verwendeten die Macher einen der einfachsten Quantenalgorithmen, den seit 1992 bekannten sogenannten Deutsch-Jozsa-Algorithmus. Dieser ist – stark vereinfacht beschrieben – in der Lage, mit Hilfe der fünf Qubits bestimmte Unterscheidungen zu treffen. Man könnte zum Beispiel die Echtheit eines Mark-Stückes daran erkennen, dass auf der einen Seite der Münze die Zahl eins eingepresst ist und auf der anderen der Bundesadler. Ein solches Objekt wäre höchstwahrscheinlich eine echte Münze. Besäße aber ein vermeintliches Mark-Stück auf beiden Seiten eine Zahl oder auf beiden Seiten einen Adler, dann wäre es – weitere Mängel unbesehen – mit Sicherheit Falschgeld.

Die aktuellen Experimente haben bewiesen, dass es möglich ist, auch klassische Rechnungen auf einem Quantencomputer durchzuführen. Die wahren Stärken des Quantencomputers bei speziellen Anwendungen lassen sich nun erstmals ausspielen. An der Technischen Universität München werden bereits drei wichtige Anwendungen zum Test erprobt, zum Teil vorbereitet: drei Algorithmen, welche die Quanteneigenschaften ausnutzen. Der Deutsch-Jozsa-Algorithmus unterscheidet konstante und ausgeglichene Funktionen. Ein Algorithmus von Shor dient zur Faktorisierung von Zahlen. Diese hat besondere praktische Bedeutung, denn sie bewältigt die Schwierigkeit der Primzahl-

zerlegung. Sie faktorisiert diejenigen Zahlen, auf denen die wichtigsten Kryptographieverfahren beruhen. Soll eine Zahl in ein Produkt aus Primzahlen zerlegt werden, wäre ein normaler Computer bei einer Zahl mit mehreren hundert Stellen für Jahrhunderte beschäftigt. Ein Quantencomputer könnte dies schneller erledigen, gelänge es, die Kapazität von derzeit fünf Qubits auf etwa 100 zu steigern. Solche Quantencomputer wären in der Lage, Geheimcodes oder die Nummern von Kreditkarten zu knacken, die in der Regel nach dem Prinzip der Primzahlzerlegung verschlüsselt sind.

### Spürhunde in gigantischen Datenmengen

Der Algorithmus von Grover, dient zur Listensuche, taugt also Spürhund in gigantischen Datenmengen. Das ist längst nicht das Ende der Fahnenstange für mögliche Anwendungen, da sind sich die Forscher absolut sicher. Aber es sind eben die bislang bekanntesten Algorithmen, welche Quanteneffekte ausnutzen. Nun ist es ein aktueller Forschungsgegenstand, weitere Algorithmen zu entwickeln.

Es zeichnet sich schon heute klar ab, dass es eine Menge von Aufgaben gibt, die mit dem Quantencomputer sehr viel effizienter zu bearbeiten sind als mit dem PC, der bei uns auf dem Schreibtisch steht. Es ist gewiss hoch spannend, Zeitzeuge zu sein, wie sich aus der Frankfurt-Münchener molekularen Ursuppe das potenzielle Rechnerkonzept der Zukunft erhebt.

### Rasante Entwicklung

*Längst hat der Computer auch in die Werkhallen Einzug gehalten. Dreher und Schlosser arbeiten an CNC-Maschinen, Lagerarbeiter müssen Zu- und Abgänge im Computer erfassen. Jeder dritte Industriearbeiter hat heute mit dem Computer zu tun; von den Arbeitern, die Maschinen und Anlagen montieren und warten, sind es sogar 58 Prozent. Im Büro und in der Verwaltung ist die Arbeit ohne PC heute nicht mehr denkbar. Dort arbeiten 93 Prozent der Arbeitnehmer zumindest ab und zu am Computer. Selbst Landwirte und Gärtner wollen nicht mehr ohne PC arbeiten: 27 Prozent können einen Computer nutzen. Insgesamt kommen fast zwei Drittel der Erwerbstätigen in Deutschland mit Tastatur und Monitor in Kontakt. Eine rasante Entwicklung: Vor einer Generation – damals liefen die Großrechner noch mit Lochkarten – arbeitete nur eine Minderheit von 14 Prozent mit dem Computer.*

Globus

Dieses Bild kann aus urheberrechtlichen Gründen nicht angezeigt werden

„Das Ziel der Raumfahrt ist die Erde“

# Der Griff nach den Sternen

Vom erdnahen Orbit zu fernen Welten?

Von Hermann-Michael Hahn

*Dipl.-Physiker Hermann-Michael Hahn lebt als Wissenschaftsjournalist in Köln, arbeitet für alle ARD-Anstalten, für die Frankfurter Allgemeine Zeitung und Bild der Wissenschaft. Mehr als ein Dutzend Bücher hat er verfaßt. „Himmliche Themen“ sind seine Spezialität.*

**An die Fahrt zum Mond haben wir uns längst schon gewöhnt. Welcher Planet kommt als nächster dran? In den Blick ist hier der Mars geraten, doch der Weg dorthin dauert unter den günstigsten Bedingungen heute 260 Tage. Andere Sterne anzusteuern, würde eine Fahrt ohne Wiederkehr bedeuten. Und wozu der hohe Aufwand, den bereits die Fahrt zum Mond bedeutet? Letztlich dient die Erkundung des Weltalls durchaus irdischen Zielsetzungen, besseren Kenntnissen über unseren Planeten, seine Entstehung und sein Schicksal, zur Verbesserung von Materialien und Fertigungsverfahren bis hin zu medizinischen Erkenntnissen – vom „Krieg der Sterne“ gar nicht zu reden.**

Red.

## Die Gedanken sind frei, doch die Physik setzt Grenzen

Das Verlangen der Menschen, „nach den Sternen greifen“ zu können, ist vermutlich so alt wie die Menschheitsgeschichte selbst: Die Sterne, die wegen ihrer übernatürlich erscheinenden Unveränderlichkeit von unseren Vorfahren zur Wohnstatt der Götter erklärt wurden, selbst zu erreichen – oder ihnen zumindest näher zu kommen –, war der Inbegriff scheinbar überirdischer Macht. Da verwundert es kaum, dass noch vor gut 30 Jahren der Flug zum Mond auch als Möglichkeit zur Demonstration einer technologischen Überlegenheit angesehen und eingesetzt wurde. Und dass die Raumfahrtstrategen den „kleinen Sprung“ Neil Armstrongs nicht als glanzvollen Höhepunkt, sondern als den bescheidenen Anfang einer viel weiter reichenden Entwicklung ansehen wollen, kann auch nicht wirklich überraschen<sup>1</sup>. Schließlich sind Reisen zu den Sternen im Reich der Phantasie – als *science fiction*, als wissenschaftliche Fiktion – schon lange Anregung (und in begrenztem Maße auch Vorbild) menschlicher Ingenieurskunst. Doch längst nicht alles, was sich auf diesem Jahrmarkt der Phantasien (oder sollte man besser den englischen Begriff der *phantasy* benutzen) tummelt, über Bildschirme und Kinoleinwände flimmert, hat Aussicht auf eine frühere oder spätere Realisierung: Die Gedanken sind frei, doch die Gesetze der Physik (und der Biologie) ziehen mitunter

enge Grenzen.

Dies wurde schon beim Versuch deutlich, in den erdnahen Weltraum vorzudringen. Wer in eine Umlaufbahn um die Erde gelangen will, muß eine Geschwindigkeit von mindestens rund 8 Kilometern pro Sekunde erreichen. Mit herkömmlichen Antrieben ist eine solche Geschwindigkeit nicht mehr zu bewerkstelligen, die dazu erforderliche Raketentechnik musste erst mühsam entwickelt werden. Darüber hinaus müssen Menschen ihre natürliche Umwelt zumindest in Auszügen mit sich führen, da sie ohne Wasser und Sauerstoff, den richtigen „Außendruck“ und die passende Temperatur nicht überleben können. Um John Glenn im Februar 1962 auf drei Erdumrundungen zu schicken, reichte noch eine 120 Tonnen schwere, etwa 25 Meter hohe Atlas-Mercury-Rakete. Sieben Jahre später machten sich Neil Armstrong, Edwin Aldrin und Michael Collins an der Spitze einer 111 Meter hohen, fast 3000 Tonnen schweren Saturn-V-Rakete auf den Weg zum Mond.

## Der Weltraum als Labor für vielfältige Untersuchungen

Inzwischen wird die erdnahe Umlaufbahn als Labor für vielfältige Untersuchungen genutzt. Vor allem die dort herrschende *Mikrogravitation* – allgemein etwas salopp als Schwerelosigkeit bezeichnet – macht diese Umgebung für Wissenschaftler der unterschiedlichsten Disziplinen so interessant und einmalig: Die große Vorwärtsgeschwindigkeit läßt jedes Raumschiff im „freien Fall“ um die Erde herumfliegen und ermöglicht so die scheinbare Aufhebung der Erdschwere. Hier suchen Mediziner und Biologen nach dem Einfluss der Schwerkraft auf die Entwicklung einzelner Organe und ganzer Lebewesen, studieren Materialforscher das Verhalten bestimmter Stoffe und Stoffkombinationen, um – unbeeinflusst durch die auf der Erde stets dominierende Schwerkraft – auch kleinere Störquellen etwa bei Schmelz- oder Erstarrungsvorgängen zu ergründen und modellmäßig zu verstehen. Dabei geht es weniger darum, Fertigungstechniken für die Schwerelosigkeit zu erproben oder die Belastbarkeit des menschlichen Organismus in der Schwerelosigkeit zu ergründen<sup>2</sup>. Auch hier gilt vielmehr der Satz „Das Ziel der Raumfahrt ist die Erde“. So lassen sich aus der Kenntnis möglichst aller denkbaren Störprozesse irdische Fertigungsverfahren optimieren, kommen quantifizierbare Erfahrungen etwa über Muskelschwund, Knochenabbau und Probleme bei der Anpassung des Herz-Kreislauf-Systems an die Schwerelosigkeit der vorbeugenden Behandlung irdischer Langzeit-Bettlägriger

zugute. Da hier vor allem Langzeitstudien erforderlich sind, kommt dem Bau und der Nutzung der Internationalen Raumstation eine besondere Bedeutung zu – ganz unabhängig von dem auch politischen Wert einer solchen, ehemaliges Blockdenken überwindenden technologischen Gemeinschaftsanstrengung.

## Nächstes Ziel: der Mars?

Für die nächste Etappe der langfristigen Vorplanung ist eine solche internationale Zusammenarbeit schon allein aus Kostengründen zwingend erforderlich: Den Flug zum Mars wird eine Nation alleine nicht mehr bezahlen können, und mit *einem* Flug allein wäre das angestrebte Ziel – die ausgiebige Erkundung des roten Planeten – ohnehin kaum erreichbar. Nur dort gewesen zu sein würde dagegen eine solche Anstrengung angesichts zahlloser ungelöster Probleme auf der Erde nicht rechtfertigen. Hier mögen die bemannten Flüge zum Mond vor rund 30 Jahren eine warnende Mahnung sein. Die entscheidenden wissenschaftlichen Erkenntnisse wurden erst Jahre später auf der Erde gefunden – und wären fast durch die Anwesenheit von Menschen auf dem Mond im wahren Wortsinn zertrampelt worden<sup>3</sup>. Wichtige Informationen über den inneren Aufbau des Mondes sollten nämlich Temperaturmessungen in verschiedenen Tiefen des Mondbodens liefern, aus denen man über den sogenannten Wärmefluss nach außen die Restwärme des Mondinnern und damit seine thermische – und physische – Vergangenheit rekonstruieren zu können hoffte. Bei der Abteufung des Bohrloches mußten sich die Astronauten jedoch immer wieder mit viel Kraft in den Boden stemmen, um nicht von dem öfters feststehenden Bohrer herumgewirbelt zu werden. Dabei haben sie den an sich lockeren Mondboden stark verdichtet und so dessen Wärmeleitfähigkeit verändert, was zu einer Verfälschung des Messwerte führte. Natürlich setzt der Flug von Menschen zum Mars eine umfangreiche Vorerkundung dieser fremden Welt voraus, und so geht die – zunächst unbemannte – Erkundung des roten Planeten ungeachtet der herben Rückschläge für das russische und amerikanische Marsprogramm weiter. Schon in der Vergangenheit war dieser „erdähnlichste“ Planet des Sonnensystems Ziel zahlreicher Raumsonden: 14mal versuchten sich sowjetische und russische Raketentechniker, 13mal ihre amerikanischen Kollegen. Doch nur sechs „rote“ Sonden (knapp 43 Prozent) kamen am Ziel an (und lieferten jedes Mal nur wenige brauchbare Daten), während auf westlicher Seite immerhin acht Sonden (etwa 62 Prozent) den Mars erreichten

Dieses Bild kann aus urheberrechtlichen Gründen nicht angezeigt werden

und dort jeweils äußerst erfolgreich waren. Umso peinlicher waren die beiden letzten Misserfolge, die auf das babylonische Durcheinander der benutzten Maßeinheiten (Mars-Klima-Beobachter) beziehungsweise das durch ein fehlerhaftes Signal der Landebeine vorzeitig erfolgte Abschalten des Bremstriebwerks (*Mars-Polar-Lander*) zurückgehen. Die von der amerikanischen Weltraumbehörde NASA ausgegebene Parole „besser, schneller, billiger“ hat sich zumindest im Hinblick auf die Risikobewertung beziehungsweise -vermeidung als gefährliche Vorgabe erwiesen.

Derzeit „zehren“ die Marsforscher noch vom *Mars Global Surveyor*, der den Mars seit dem 12. September 1997 umrundet und mittlerweile mehr als 20 000 Aufnahmen übermittelt hat; sie zeigen zum Teil Einzelheiten bis herunter zu wenigen Metern Größe. Für die nächsten Jahre sind weitere Sonden geplant, die entweder den Planeten aus der Umlaufbahn erkunden oder auf dem Mars landen sollen. Dabei werden die Reisedaten von den Gesetzen der Himmelsmechanik dominiert, denn Mars und Erde kommen nur etwa alle 26 Monate in eine günstige Position zu einander, die einen Flug zum Mars erst möglich macht. Voraussichtlich bei der übernächsten Startmöglichkeit im Spätfrühjahr 2003 wird sich auch Europa in die Gilde der eigenständigen Marsforscher

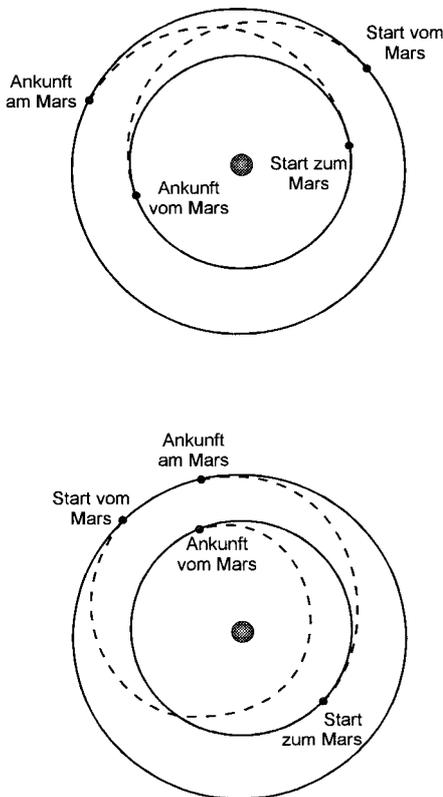
einreihen, nachdem Forscher, Ingenieure und Techniker schon seit längerem an amerikanischen beziehungsweise russischen Marsprojekten beteiligt waren. Die Sonde mit dem beziehungsreichen Namen *Mars-Express* soll Anfang Juni 2003 mit einer russischen *Soyuz-Fregat-Rakete* starten und bereits Ende Dezember den Mars erreichen.

#### **Hauptziel ist die Suche nach Wasser unter der Oberfläche des Mars**

Hauptziel der Mission wird die Suche nach Wasser unter der Marsoberfläche sein. Dazu dienen insgesamt sieben wissenschaftliche Fernerkundungs-Experimente, die aus der Umlaufbahn betrieben werden, unter anderem eine hochauflösende Stereo-Kamera, die am *DLR-Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung* in Berlin-Adlershof entwickelt wurde, ein italienisch-amerikanisches Radarsystem sowie Instrumente zur Untersuchung der Atmosphäre und der geologischen Verhältnisse am Marsboden; vor allem das Radarsystem kann die Existenz von Wasser und Eis bis in Tiefen von einigen Kilometern unter der Marsoberfläche aufspüren. Solche Untersuchungen dienen übrigens nicht nur der reinen Marsforschung, sondern sind auch für unser Verständnis der Erde und ihrer zukünftigen Entwicklung von Bedeutung. Wenn

klar wird, wie und warum der Mars seine früheren Wasservorräte verloren hat, kann man besser abschätzen, ob den Ozeanen der Erde dereinst ein ähnliches Schicksal droht.

Außerdem wird der *Mars-Express* ein kleines Landegerät (*Beagle 2*) auf der Marsoberfläche absetzen; mit dem *Schiff Beagle* (1) unternahm *Charles Darwin* in den 1830er Jahren seine Forschungsexpedition, die ihn schließlich zur Aufstellung der Evolutionstheorie führte. Nach der – hoffentlich erfolgreichen – Landung wird *Beagle 2* exobiologische und geochemische Untersuchungen vornehmen: Unter einem Mikroskop werden Gesteins- und Bodenproben bei starker Vergrößerung betrachtet, und mehrere Messinstrumente werden die chemische Zusammensetzung von Gesteinsproben innerhalb der Reichweite eines kleinen Roboterarms bestimmen – und dabei vor allem nach organischen Substanzen, Wasser und wasserhaltigen Mineralien suchen. Darüber hinaus soll der *Lander* einen kleinen *Rover* freisetzen, der sich mit einer Geschwindigkeit von 6 Metern pro Stunde voranbewegen und unter größere Felsbrocken in der Nähe kriechen kann, um dort über eine Gasanalyse nach Spuren früherer Lebensformen zu suchen. Natürlich gehören auch Panorama-Fotos vom Landeplatz und seiner Umgebung zum Aufgabenbereich des Landers.



Im Jahre 2003 sind die Bedingungen für einen schnellen Flug von der Erde zum Mars besonders günstig, weil beide Planeten sich dann sehr nahe kommen. Noch vor dem Einschwenken in die Marsumlaufbahn wird die Landekapsel abgetrennt und selbstständig zur Marsoberfläche absteigen. Der *Mars-Orbiter* hingegen wird den Planeten alle 6,7 Stunden auf einer polaren Umlaufbahn zwischen etwa 250 km und 11600 km umrunden.

### Menschen zum Mars?

Ein paar Jahre später könnte eine automatische Raumsonde die ersten Bodenproben vom Mars zur Erde bringen, die hier einer ausgiebigen Untersuchung unterzogen werden sollen. Doch selbst danach wäre noch viel Vorarbeit zu leisten, um Menschen sicher zum Mars und zurück zur Erde zu bringen. Besondere Anforderungen stellt die unabdingbare *extreme Zuverlässigkeit der Raumschiffe* und all ihrer Systeme, die über einen Zeitraum von zweieinhalb Jahren keine lebensbedrohenden Ausfälle zeigen dürfen. Besondere Anforderungen werden darüber hinaus an die *psychische Belastbarkeit* der Mannschaft gestellt<sup>4</sup>: Vier oder sechs Personen, die über diese lange Zeit auf engem Raum miteinander auskommen müssen und dabei einem hohen Druck ausgesetzt sind, wohl wissend, dass es im Ernstfall – anders als für Schiffbrüchige – keine Rettungsmöglichkeit gibt. Während die Insel einem *Robinson Crusoe* genügend Lebensraum mit allen notwendigen Vorräten bot, hält der Mars außer Steinen, Staub und allenfalls den Rohstoffen für eine – hochtechnisierte – Treibstoffproduktion für den Rückflug nichts bereit, nicht einmal Wasser.

Grundsätzlich gibt es mehrere mögliche *Flugrouten* zum Mars<sup>5</sup>. Wenn man mit möglichst wenig Treibstoff auskommen will, ist eine Anlehnung an die schon 1923 von dem Essener Ingenieur *Walter Hohmann* konzipierte Übergangsellipse angezeigt. Eine solche Bahn führt zu einer mittleren Flugdauer von etwa 260 Tagen für eine Strecke, erzwingt aber eine lange Aufenthaltsdauer (etwa 460 Tage) auf dem Mars, ehe beide Planeten wieder in eine für den Rückflug günstige Position gelangen. Ein solches Unternehmen würde die genannten zweieinhalb Jahre in Anspruch nehmen und den Astronauten viel Zeit für die Erkundung des Mars einräumen. Eine andere Variante verkürzt diese Erkundungsphase des roten Planeten auf 30 Tage und erfordert dann einen Rückflug, bei dem das Raumschiff bis auf die Höhe der Venusbahn an die Sonne herankommen muss und die Astronauten so vorübergehend einer erhöhten Strahlungsbelastung ausgesetzt werden. Mit 220 Tagen für den Hinflug, 290 Tagen für die Rückreise und 30 Tagen Aufenthalt am Mars wäre eine derartige Mission rund ein ganzes Jahr kürzer. Ob jedoch eine nur 30tägige Erkundungsphase diesen Aufwand rechtfertigt, wird kontrovers diskutiert. Für solche Bahnen sind schubstarke Raketen erforderlich, und das erhöhte Strahlenrisiko könnte sie am Ende ohnehin nur für Versorgungs-Raumschiffe tragbar erscheinen lassen.

Während die NASA den Preis für solche bemannten Missionen derzeit zu rund 400 Milliarden Dollar veranschlagt, hat der amerikanische Raumfahrt-Ingenieur *Robert Zubrin* eine wesentlich billigere Alternative konzipiert, die noch dazu deutlich früher realisiert werden könnte<sup>6</sup>. Nach seinen Ideen könnten Astronauten bereits 2008 mit der Erkundung des Mars beginnen. *Zubrins* Marsprogramm begänne mit dem Start einer 45 Tonnen schweren Treibstoff-Fabrik; für diesen Flug würde eine Rakete von der Schubstärke der Saturn-V-Mondrakete ausreichen. Nach der Landung auf dem Mars würde die vollautomatisch arbeitende Fabrik mit Hilfe eines Kernreaktors zur Stromversorgung aus mitgebrachtem Wasserstoff und dem in der Marsatmo-

sphäre reichlich vorhandenen Kohlendioxid innerhalb von 10 Monaten mehr als hundert Tonnen Methan und Sauerstoff produzieren, die im weiteren Verlauf als Treibstoff für den Rückflug zur Erde bereit ständen. Zwei Jahre später würden dann zwei Raketen von der Erde starten – die eine mit einer neuen Treibstoff-Fabrik, die andere mit vier Astronauten, Verpflegung und sonstigem „Reisebedarf“. Während die Astronauten in der Nähe der ersten Treibstoff-Fabrik landen müßten, könnte die zweite Fabrik etwa 300 Kilometer entfernt aufsetzen und ihrerseits mit der Produktion von Treibstoff beginnen. Unterdessen würden die Astronauten mit einem Marsauto die Umgebung des ersten Landeplatzes weiträumig erkunden und schließlich nach anderthalb Erdenjahren mit dem bereit stehenden Treibstoff die Rückreise zur Erde antreten. *Zubrins* Pläne sehen eine ganze Folge solcher Teilmissionen vor, die jeweils rund 50 Milliarden Dollar kosten würden – bis zum Erreichen der 400-Milliarden-Dollar-Marke wären also bis zu acht Etappen möglich.

### Eine Forschungsstation auf dem Mond

Weiterführende Pläne oder Visionen gehen davon aus, dass solche Unternehmungen eines fernen Tages zur Einrichtung einer dauerhaft bewohnten Kolonie auf dem Mars führen. Eine denkbare Zwischenstufe dazu wäre der Bau einer Forschungsstation auf dem Mond, der auch schon seit längerem „angedacht“ und untersucht wird. Eine solche Station hätte zwei recht unterschiedliche Funktionen: Zum einen wäre sie Basislager für eine intensivere Erforschung des Mondes, zum anderen Außenstation für irdische Observatorien zur Beobachtung des Universums. Ohne störende Atmosphäre fänden nicht nur Teleskope für das sichtbare Licht optimale, stationäre Beobachtungsbedingungen, wie sie nicht einmal das *Hubble*-Weltraumteleskop bieten kann – auch für andere Strahlungsbereiche ließen sich stationäre Empfangsanlagen errichten, die störanfällige Satellitensteuersysteme überflüssig



**Bild 1:** Die Oberfläche des Mars, aufgenommen während der erfolgreichen *Mars-Pathfinder*-Mission.

machen würden. Und Radioteleskope wären auf der Rückseite des Mondes sogar vor irdischen Störquellen wie den Signalen der Kommunikationssatelliten und Mobiltelefone sicher.

Die Entdeckung möglicher Wassereis-Vorkommen unter der Mondkruste im Bereich der Polarzonen hat solchen Gedankenspielen neuen Auftrieb verliehen. Wenn sich die Interpretation der Messdaten der amerikanischen *Lunar-Prospector-Sonde* bestätigen läßt, sollten sich etliche Millionen Kubikmeter Wasser gewinnen lassen, genug, um eine große Forschungsstation über viele Jahrzehnte hinweg mit Wasser zu versorgen.

### **Jenseits von Mond und Mars kaum realistische Ziele**

Jenseits von Mond und Mars gibt es für Astronauten – zumindest mittelfristig – kaum realistische Ziele im Sonnensystem: Aufgrund der zunehmenden Entfernung zur Sonne sind alle weiteren Planeten beziehungsweise deren Monde viel zu kalt; darüber hinaus bietet von den Planeten lediglich der sonnenferne Pluto eine begehbare Oberfläche, während Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun von sehr dichten, tiefreichenden Gashüllen umgeben sind.

Doch auch die beiden inneren Nachbarn der Erde, Venus und Merkur, sind alles andere als lebensfreundlich zu nennen. Auf der *Venus* herrscht unter der dichten Kohlendioxid-Atmosphäre ein Luftdruck, der dem irdischen Wasserdruck in rund 900 Metern Tiefe entspricht, und das bei einer nahezu konstanten Umgebungstemperatur von rund 480 Grad Celsius. Und auf dem atmosphärenlosen *Merkur* steigt die Temperatur tagsüber ebenfalls auf über 400 Grad an, während sie in der Nacht auf minus 170 Grad sinkt; zusätzlich wären Astronauten der dort viel höheren Intensität kosmischer Strahlung von der Sonne schutzlos ausgesetzt.

Eine Weltraumreise über die Grenzen des Sonnensystems hinaus dagegen wäre angesichts der gewaltigen Dimensionen für jeden Teilnehmer eine „Reise ohne Wiederkehr“. Selbst die bereits 1972 gestartete Raumsonde *Pionier 10*, die 1973 am Jupiter vorbeiflog ist und seither das Sonnensystem verläßt, war nach mehr als 27 Jahren Flugzeit am 1. Januar 2000 gerade einmal rund 75mal so weit von der Sonne entfernt wie die Erde – das entspricht nur rund einem Fünftausendstel der Strecke bis zum *nächsten* Stern. Zwar verspricht die Einsteinsche Relativitätstheorie bei Reisegeschwindigkeiten in der Nähe der Lichtgeschwindigkeit ein langsames Zeiterlebnis und Altern der Besatzung, so dass man mit 99 Prozent der Lichtgeschwindigkeit die Strecke bis zum nächsten Stern in (nach Eigenzeit) etwa einem halben Jahr schaffen könnte – nach irdischer Zeit wären bei der Ankunft am Ziel rund 30 Jahre vergangen. Doch um ein Raumschiff auf 99 Prozent der Licht-

geschwindigkeit zu beschleunigen, sind unermesslich große Treibstoffmengen erforderlich, die anfangs ja noch mit beschleunigt werden müssten; ein solches Unternehmen kann daher nach heutigem Kenntnisstand unmöglich realisiert werden, und eine denkbare Erweiterung von Physik und Technik wird die Prinzipien der Relativitätstheorie kaum außer Kraft setzen können.

### **Wenigstens virtuell ein besserer Zugang zu den Tiefen des Kosmos**

Mit anderen Worten werden wir wohl noch für sehr lange Zeit, wenn nicht für immer, auf den vergleichsweise winzigen Raumbereich unseres Sonnensystems beschränkt bleiben. Dennoch ermöglicht uns die Technik der Raumfahrt durch den Einsatz entsprechender Forschungsatelliten einen – zumindest virtuellen – Zugang zu den Tiefen des Kosmos: Mit Weltraumobservatorien für das sichtbare und das unsichtbare Licht können die Astronomen mittlerweile den Horizont des überschaubaren Universums immer weiter nach außen drängen. Zwar verfügt das *Hubble*-Weltraumteleskop, das die Erde seit inzwischen mehr als 10 Jahren umrundet, nur über einen vergleichsweise kleinen Spiegel von 2,40 Meter Durchmesser (das größte deutsche Teleskop ist der 3,5-Meter-Spiegel des Deutsch-Spanischen-Astronomischen Zentrums auf dem Calar Alto in Südspanien, und die derzeit größten Einzelteleskope der Erde, die 10-Meter-Keck-Spiegel auf dem erloschenen Hawaii-Vulkan Mauna Kea, haben eine mehr als 16mal größere Auffangfläche), doch sein im wahren Wortsinn „herausragender“ Standort über der Erdatmosphäre erlaubt wesentlich schärfere Bilder als alles, was erdgebundene Teleskope bislang erreichen können. Je besser aber das ankommende Licht gebündelt wird, desto höher ist die „innere“ Lichtstärke; so kann eine bessere Abbildungsqualität die Unterlegenheit eines kleineren Spiegeldurchmessers zumindest teilweise kompensieren<sup>7</sup>. Außerdem ist der Nachthimmel am Erdboden auch fernab störender Großstadlaternen nie so dunkel wie jenseits der Atmosphäre, denn bei Nacht leuchtet die Luft selbst, wenn gleich auch sehr schwach. Dieses sogenannte *Nachthimmelleuchten* überstrahlt zumindest die extrem lichtschwach erscheinenden Objekte und entzieht sie gleichsam den Blicken der irdischen Astronomen.

Ende 1995 wurde das *Hubble*-Weltraumteleskop zehn Tage hindurch immer wieder auf die gleiche Stelle am Himmel gerichtet, die dann insgesamt 342 Mal belichtet wurde. Diese Aufnahmen wurden im Computer zu einem einzigen Bild überlagert, das noch Objekte bis zur 30. Größenklasse zeigte, 100mal lichtschwächer als solche auf Aufnahmen, die mit dem legendären 5-Meter-Spiegelteleskop auf dem Mount Palomar gemacht wur-

den. 100mal lichtschwächer bedeutet, dass gleich helle Objekte über eine zehnmal größere Distanz erfasst wurden. „Dort draußen“ versuchen die Astronomen Antworten auf ihre Fragen nach der Frühzeit des Universums zu finden: Wann und wie entstanden die ersten Sterne und Galaxien, wie haben sich Galaxien seither entwickelt und was läßt sich daraus über die Zukunft des Universums ableiten.

### **Andere Welten?**

Doch die Astronomen interessieren sich nicht nur für die Objekte am Rande des überschaubaren Universums, sondern suchen mittlerweile auch nach Planeten bei nahe benachbarten Sternen. Mehr als drei Dutzend solcher planetarer Begleiter fremder Sonnen haben sie in den letzten Jahren bereits aufgespürt, doch noch keinen davon wirklich „gesehen“; dazu reicht die Lichtstärke ihrer Teleskope noch nicht aus, zumal die bislang gefundenen Planeten ihren jeweiligen Zentralstern oft in nur sehr geringem Abstand umrunden und daher von dessen Glanz überstrahlt werden<sup>8</sup>. Von der Erforschung dieser Systeme versprechen sich die Astronomen in erster Linie Hinweise auf die Entstehung unserer eigenen Heimat, von Erde, Sonne und Planeten. Bislang haben sie allerdings nur sehr bizarr erscheinende Verhältnisse vorgefunden, die noch vor wenigen Jahren kaum für möglich gehalten worden wären.

Hinter dieser Suche steckt natürlich auch die Frage, ob sich auch irgendwo außerhalb der Erde Leben im Kosmos entwickelt hat. Zwar bedeutet die Existenz ferner Planeten noch lange nicht, dass es unter ihnen auch belebte Welten gibt oder gar solche, auf denen (wirklich) intelligente Lebensformen existieren, doch wären die ohne solche Planeten äußerst unwahrscheinlich. Und so schließt sich der Kreis unserer Betrachtung, denn gibt es wirklich auch anderswo vergleichbare Lebensformen wie bei uns, so könnten auch dort Wesen zu den Sternen aufblicken und sie wegen ihrer scheinbaren Unveränderlichkeit zur Wohnstatt ihrer Götter erklären – und wir lebten dann in deren Himmel.

### **Literaturhinweise**

- <sup>1)</sup> Jesco von Puttkamer: Jahrtausendprojekt Mars. Langen Müller, 1996.
- <sup>2)</sup> Vergl. Ulrich Walter: In 90 Minuten um die Erde. Stürtz, 1997.
- <sup>3)</sup> Vergl. Hermann-Michael Hahn: Das neue Bild vom Sonnensystem. Kosmos, 1992.
- <sup>4)</sup> Vergl. Frank Miles: Aufbruch zum Mars. Kosmos, 1988.
- <sup>5)</sup> Vergl. George Musser/Mark Alpert: Die Reise zum Mars – Visionen und Konzepte. In: Spektrum der Wissenschaft, Juni 2000
- <sup>6)</sup> Robert Zubrin/Richard Wagner: Unternehmen Mars. Heyne 1997
- <sup>7)</sup> Vergl. Daniel Fischer/Hilmar Duerbeck: Hubble – ein neues Fenster zum All. Birkhäuser, 1995
- <sup>8)</sup> Vergl. Rüdiger Vaas: Auf der Suche nach der zweiten Erde. In: Bild der Wissenschaft, Heft 5/2000

Die Zukunft allerdings bleibt unvorhersehbar

# Macht und Ohnmacht der Experten

Wissenschaftliche Politikberatung und Zukunftsforschung

Von Frank Niess

Frank Niess, M. A., war Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Politikwissenschaft der Universität Stuttgart. Seit 1987 ist er Redakteur der Wissenschaftsredaktion des SDR, seit Gründung des SWR ist er Redakteur in der SWR-Wissenschaftsredaktion Hörfunk, Baden-Baden.

**Politik kommt nicht ohne wissenschaftliche Politikberatung aus. Sie ist um so stärker darauf angewiesen, je komplexer die Entscheidungsfragen sind. Auch bei uns in Deutschland haben sich zu diesem Zweck längst „Think Tanks“ nach amerikanischem Vorbild etabliert. – Von fragwürdigem Wert hat sich allerdings die Zukunftsforschung erwiesen, wo Euphoriker wie Apokalyptiker gleichermaßen sich blamieren haben.** Red.

## Deutlich steigende Nachfrage

„Die politische Führung war und ist auf gute Beratung angewiesen“ (Böhret 1995, 205). Heute in viel größerem Maße als im 19. und 20. Jahrhundert. Und in Zukunft immer mehr. Die „neue Unübersichtlichkeit“ zwingt dazu, den politischen Entscheidungsprozessen wissenschaftliche Explorationsvorarbeiten zu lassen. Die Komplexität der Systeme überfordert die Kompetenz der Politiker immer drastischer. Erfolgreiches politisches Handeln setzt voraus, Chancen und Risiken einer Entscheidung gegeneinander abzuwägen. Um so markanter nimmt die Bedeutung jener Institutionen zu, die solche Prozesse mit dem entsprechenden Know how zu beeinflussen vermögen (Gellner 1995, 11). Symptomatisch, dass eine deutliche Mehrheit von Befragten (56%) schon vor mehr als zwei Jahrzehnten den Wunsch geäußert hat, in größerem Maße wissenschaftliche Erkenntnisse in die Politik einfließen zu lassen (Bruder 1980, 69).

Dachte man noch im 19. Jahrhundert, im Zeichen der klassischen Nationalökonomie eines Adam Smith und David Ricardo, man könne Wirtschaft und Gesellschaft der *invisible hand*, mit anderen Worten, dem „freien Spiel“ der Marktkräfte überlassen, sah man sich zur Zeit der Hochindustrialisierung genötigt, vom reinen *laissez faire*, vom bloßen „Nachwächterstaat“ abzukommen. Je mehr der „Interventionsstaat“ im Interesse von Handel und Wandel für Recht und Ordnung zu sorgen hatte, desto deutlicher stieg die „Nachfrage“ nach politischer Beratung.

## „Ungeschminkt die Wahrheit sagen“

„In bestimmtem Umfang hat es Politikberatung immer schon gegeben“ (Lompe

1977, 493). In unterschiedlichsten Dimensionen und in vielfältigen Formen. Spätestens seit dem Hochmittelalter. Zu den Protagonisten gehörte zweifellos der Staufer-Kaiser Friedrich II., der im Jahre 1224 als erster mittelalterlicher Herrscher ein Bedürfnis nach persönlicher Politikberatung bekundet hat, mit den Worten:

„Gelehrte Männer fordern wir zu unserem Dienst heraus, um ihnen – gebildet durch den Eifer des Studiums von Recht und Gerechtigkeit – ohne Sorge die Staatsverwaltung anvertrauen zu können“.

„Ohne seinen persönlichen Berater Petrus von Vinea und viele andere hätte Friedrich jene ungewöhnliche Position nicht erringen können. Aber er errang sie auch nicht nur wegen seiner Berater: zum fähigen Fürsten erst zieht es die guten Ratgeber“ (Böhret 1995, 206). Niccolò Machiavelli bekundete kurz und bündig: „Ein Politiker, der nicht von sich aus weise ist, kann nicht gut beraten werden“ (nach Böhret 1997, 81).

Im Spätmittelalter und in der frühen Neuzeit hat der Hofnarr die Funktion des Ratgebers übernommen. Eine sehr spezielle Rolle, die auf der Fähigkeit und Funktion beruhte, ungeschminkt die Wahrheit sagen zu können. Indem er seiner Obrigkeit den Spiegel vorgehalten hat, hat er Informationsbarrieren leicht hin übersprungen. Und es ist ihm oftmals gelungen, die Rankünen einer Kamarilla zu durchbrechen, die den Herrscher oder die jeweilige Herrscherin im Tal der Ahnungslosen schmachten lassen wollte. Überdies war der Hofnarr fähig, den Kordon der Ja-Sager um die jeweiligen Herrscher zu durchbrechen. Das heißt aber nicht, dass nicht die „seriösen Ratgeber“ die Oberhand gehabt und behalten hätten. Ein Beispiel: Ein Berater-Ausschuss, der von den „Katholischen Königen“ Isabella von Kastilien und Ferdinand von Aragón Mitte der 1480er-Jahre berufen wurde, um das „Projekt Kolumbus“ zu explorieren und ihm, im positiven Falle, sein Plazet zu erteilen.

## Mit der Industrialisierung kam die systematische Beratung

Der persönliche Berater, der stets am Hofe zugegen war, um seinem Dienstherrn politische Entscheidungen zu erleichtern, hat in der frühen Neuzeit nicht völlig ausgedient. Aber seine Expertise hat doch vielfach anderen Beratungsformen weichen müssen. Dies schon deshalb, „weil die ‚monokratischen Herrschaftsformen‘ mehr und mehr pluralisiert und parlamentarisiert wurden, weil die sozioökonomischen und wissenschaftlich-technischen Rahmenbedingungen sich im beginnenden

den Industrialismus fundamental veränderten und weil (auch deswegen) die Beratungsgegenstände vielfältiger, komplizierter und fachbezogener wurden“ (Böhret 1995, 211). Gefragt waren statt des einen Generalisten eine Vielzahl von Spezialisten mit Fachwissen im Detail. Der Durchbruch zur systematischen, pluralistischen wissenschaftlichen Politikberatung fand in den Vereinigten Staaten statt. Und zwar, nicht zufällig, in der *progressive era*, der „fortschrittlichen Ära“, 1901–1917, die von liberalen Bestrebungen geprägt war. „Sie war in erster Linie eine Reaktion auf den Notschrei der Armen.“ Schuldbewusste Industriekapitäne, Gewerkschaftsbosse, bürgerliche Intellektuelle und andere, die über die elenden Lebensbedingungen vieler ihrer Landsleute hinweggesehen hatten, machten sich jetzt für soziale Reformen stark. Ende des 19. Jahrhunderts, in den 1880er-Jahren, sprossen wissenschaftliche Gesellschaften wie Pilze aus dem Boden, darunter der Historikerverband. Es waren diese Berufsverbände und Forschungsinstitute, die feste Beziehungen zur Politik und Verwaltung auf allen Ebenen installierten, darunter auch einen Draht zum Weißen Haus.

Insbesondere fünf *Think-Tanks* hinterließen einen bleibenden Eindruck vor und unmittelbar nach dem Ersten Weltkrieg: die *Russell Sage Foundation* (gegründet 1907), die *Carnegie Endowment for International Peace* (1910), das *Institute for Government Research* (1916), die *Hoover Institution* (1919) und der *Council on Foreign Relations* (1921), eine „erlesene Denkfabrik“, eine „Schule für Staatsmänner“, eine „Regierung im Exil“ (Abelson 1996, 25ff). Nicht zu vergessen die *Brookings Institution* (1922), ein *Institute of Economics*. „Als einer von Amerikas führenden *Think Tanks* hat sich die *Brookings Institution* ausgezeichnet durch ihre Zuversicht, die in ihrer Charta angestrebten Ziele auch wirklich zu erreichen“ (Abelson 1996, 37).

## Einzigartig: die US-amerikanischen Think Tanks

Die sprichwörtlichen *Think Tanks* sind ein ur-amerikanisches Gewächs. Sie sind, von ihrer Geschichte und ihrer Funktion her, „einzigartig“ (Abelson 1996, 27), auch wenn sie nicht die einzigen Institutionen sind, die auf dem „Marktplatz der Ideen“ ihr Experten-Wissen offerieren. Aber sie laufen, was den Einfluss auf den politischen Prozess angeht, Konkurrenzunternehmen oder einzelnen Ratgebern zweifellos den Rang ab. Dabei bereitet es Schwierigkeiten, überhaupt zu definieren, was unter einem *Think Tank* zu ver-

stehen ist. Dieser Begriff ist im Grunde nicht übersetzbar. Mit „Denkfabrik“ ist er missverständlich übertragen, sofern mit diesem Wort die Fließbandproduktion von Ideen und Erkenntnissen unterstellt wird. Gemeint ist damit ein sicherer Platz, um zu denken und zu planen. Es handelt sich bei den *Think Tanks* um „Forschungsinstitute oder andere, verwandte Organisationen, die Ratschläge und Ideen zur Lösung nationaler oder kommerzieller Probleme geben, beziehungsweise interdisziplinär zusammengesetzte Spezialistenteams“ (Gellner 1995, 15). Die dramatischen Ursachen und Folgen des „schwarzen Freitags“ 1929, der Weltwirtschaftskrise mit ihren Bankzusammenbrüchen, Pleiten, der Massenarbeitslosigkeit und anderen sozialökonomischen Übeln haben bekanntlich die US-Administration unter Präsident Franklin D. Roosevelt zum *New Deal* herausgefordert. Zu einer Serie von Interventionen in das wirtschaftliche Geschehen, wie sie bis dahin unvorstellbar waren. Seit der Ära seines Vorgängers Woodrow Wilson, seit 1913, hatten zwar Präsidentschaftskandidaten und Präsidenten, vor allem Herbert C. Hoover, auf die Expertise von Beratern zurückgegriffen. Aber im Zeichen der Weltwirtschaftskrise nahm dieses Beratungswesen ganz neue Dimensionen an. Die wissenschaftliche Politikberatung etablierte sich als ständige Einrichtung, die aus dem politischen Prozess nicht mehr wegzudenken war. Zunächst aber beschränkt auf die Innenpolitik.

### Im Zeichen von Weltkrieg und Kaltem Krieg Beratung auch für die Außenpolitik

Kein Wunder, dass sich in den Vierziger- und Fünfzigerjahren des 20. Jahrhunderts dieses Aktionsfeld auf die Außenpolitik ausgedehnt hat. Im Zeichen des Zweiten Weltkriegs und des Kalten Kriegs suchten die Politiker den Rat der Experten auf dem Felde der internationalen Politik. Wobei anzumerken ist, dass die meisten *Think Tanks* auf den Kongress hin orientiert sind. Bei Anhörungen in dessen heiligen Hallen sind sie besonders gefragt, weil sie den Abgeordneten und Senatoren in kniffligen Fällen zur „Waffengleichheit“ mit dem „Weißen Haus“ verhelfen können. Der Staatsapparat hatte sich im Krieg explosionsartig aufgebläht. *Big Government* verlangte auch in der Außenpolitik nach externer professioneller Expertise (Segbers 1999, 15). „Die Kombination all dieser Faktoren hat solchen Think Tanks wie der RAND Corporation, dem Council on Foreign Relations und der Carnegie Endowment for International Peace die Möglichkeit eröffnet, einen enormen Einfluss auf die US Außenpolitik auszuüben“ (Abelson 1996, 50).

Nicht wenige außenpolitische Entscheidungen gingen in den vergangenen Jahrzehnten auf den *Council on Foreign Relations*, einen exzellenten *brain trust*, und seine Zeitschrift *Foreign Affairs* zurück. Ein klassischer Fall: Der Artikel, den der amerikanische Diplomat, Außenpolitiker und „Sowjetologe“ George F. Kennan un-

ter dem Pseudonym „X“ im Juli 1947 unter dem Titel: „The sources of soviet conduct“ zur Politik der UdSSR publiziert hat. Sein Rat, die Sowjetunion machtpolitisch „einzudämmen“ (*Containment*) und zugleich innerlich zu belasten, bis an den Rand der Implosion, wurde zum Leitmotiv der offiziellen US-Außenpolitik der Truman- und Eisenhower-Ära. Und sie hat auch Reagans Politik gegenüber dem „Reich des Bösen“ vorgeprägt.

Viele Spitzenpositionen seiner Regierung besetzte US-Präsident Jimmy Carter mit Mitgliedern der Trilateralen Commission. Mindestens 55 Mitglieder des *Council on Foreign Affairs* rückten in die Carter-Administration ein. Und um seinen *brain trust* zu verstärken, „kaufte“ der Präsident bei der *Brookings Institution* weitere Berater ein. Der Nachfolger im Präsidentenamt, Ronald Reagan, hatte sich schon als Kandidat mit einer stattlichen Entourage von Ratgebern, darunter vielen wissenschaftlichen, umgeben. Noch nie zuvor hatten in einer Wahlkampagne so viele distinguierte Intellektuelle sich für einen Präsidentschaftskandidaten stark gemacht. 450 Berater in 50 Gruppen sondierten das Terrain für ihn und überschütteten ihn mit Hunderten von Empfehlungen.

Besonders tat sich dabei die *Heritage Foundation* hervor, gegründet 1974, deren konservative Botschaft gleichsam „Musik in den Ohren Reagans“ war (Abelson 1996, 55ff). Sie stieg quasi zum „Präsidenten-Club“ auf und beteiligte sich mit Rat und Tat an den wichtigsten Initiativen Reagans, speziell am SDI-Projekt. Die *Heritage Foundation* arbeitete einen elfhundert Seiten starken Fahrplan für die konservative Regierung aus. Eine Studie, die zur „Bibel der Reagan-Administration“ geworden ist. Im Frühjahr 1982 hat ein Insider festgestellt, dass diese Regierung 60 Prozent der *Heritage*-Empfehlungen befolgt hat! (Abelson 1996, 16f). Auch die derzeitige Liste der „Akademischen Experten als Berater der US-Regierung“ ist beachtlich. Der Optimismus, mit Hilfe der wissenschaftlichen Politikberatung das Regieren und Verwalten perfektionieren zu können, ist zwar in den USA in den Sechzigerjahren verfliegen. Der Vietnamkrieg, der sich so offenkundig der Planbarkeit entzog, trug zur Desillusionierung genauso bei wie Präsident Johnsons Scheitern beim Aufbau der *Great Society*. Das heißt aber nicht, dass das Beratungswesen geschrumpft wäre. Immerhin bieten in den USA zirka 1200 *Think Tanks*, große wie die *Brookings Institution* mit 1100 Mitarbeitern und kleine wie das *Institute for Policy Studies* (IPS), finanzstarke wie die *Heritage Foundation* mit Einnahmen von 19 Millionen Dollar und schwache wie das *Hudson Institute* mit Einnahmen von nur 5,4 Millionen Dollar, konservative wie das *American Enterprise Institute* und linke wie das IPS ihre Dienste an. Und ihr Einfluss ist nach wie vor nicht zu unterschätzen.

### Auch hier Deutschland als Nachzügler

In Deutschland, einem „Nachzügler“ auf diesem Gebiet, hat sich die wissenschaftliche Politikberatung während der Fünfz-

ger- und frühen Sechzigerjahre auf herkömmliche Formen beschränkt, nämlich auf eine Art „Auftrags-Rat“ oder „Rat-Auftrag“, der von der Regierung erteilt und in das politische Procedere einbezogen wurde. Die Bundesregierung zog von Fall zu Fall wissenschaftlichen „Sachverständigen“ heran. Die Kooperation zwischen Wissenschaft und Politik spielte sich hauptsächlich auf Ressort-Ebene ab, auf der Ebene der Bundesministerien (Segbers 1999, 7). Ende der 1960er-Jahre trat ein Wandel ein, der einem neuen Verständnis von Sozialwissenschaften und ihren Funktionen zuzuschreiben war. Während die Studentenbewegung mit ihren Utopien, gespeist aus einem gesellschaftswissenschaftlichem „Allmachtsanspruch“, souverän über das politische Alltagsgeschäft hinweggegangen ist, ludigte die sozialliberale Regierung der sozialen Stückwerksreformen à la Karl Popper. Bei allem Pragmatismus, den man als Kontrast zu den sozialistischen „Blaupausen“ an den Tag gelegt hat, war die Regierung damals einer „planungseuphorischen Machbarkeitsphilosophie“ (Gellner 1995, 16) verfallen. Um sie in die Tat umzusetzen, brauchte man „Denkfabriken“ oder, mit einem anderen Wort: „Ideenagenturen“. „Mit dem Übergang von den eher isoliert voneinander durchgeführten Planungsansätzen erreichte auch die Politikberatung eine neue Dimension. Dies zeigte sich beispielsweise an dem 1968 im Kanzleramt eingerichteten Planungsstab. Dadurch wurde erstmals in der Bundesrepublik Deutschland eine institutionalisierte wissenschaftliche Beratung des Regierungschefs ermöglicht“ (Segbers 1999, 7). Es gilt jedoch schon an dieser Stelle festzuhalten, dass sich auf diesem Felde der wissenschaftlichen Politikberatung, vor allem der externen, eine Kluft zwischen Deutschland und den USA auftut: „Es gibt einige politikwissenschaftliche Forschungsinstitute, die der Regierung gemeinsam Hilfsdienste leisten. Aber deren Einfluss auf die Regierungspolitik ist meist nur indirekt, und es wäre schwierig, bestimmte politische Entscheidungen auf wissenschaftlichen Rat hin zurückzufolgen“ (Mayntz 1987, 8).

### Die Wissenschaftlichen Dienste im Bundestag

Wenn schon die Exekutive Beratungsbedarf hat, die sich des in den Ministerien geballten Sachverständigen bedienen kann, um ihre Entscheidungen zu unterfüttern: um wie viel plausibler müssen da die Informationswünsche der Abgeordneten sein. Immerhin haben bei einer Umfrage 47% von ihnen Interesse an schnell lesbaren, journalistisch aufbereiteten Informationen bekundet (Gellner 1995, 232). Pro Wahlperiode werden der einzelnen/dem einzelnen Abgeordneten zum Beispiel rund 8 500 Parlamentsdrucksachen im Umfang von mehreren zehntausend Seiten vorgelegt. Etwa 800 Gesetzentwürfe werden in diesem Zeitraum eingebracht. Die Parlamentarier sind folglich dringend auf wissenschaftliche Zuarbeit angewiesen. Von ihren persönlichen Assistenten können sie solche Unterstützung erwar-

ten und auch bekommen. Auch von der Ausschussassistenten und den wissenschaftlichen Referenten der Arbeitskreise der Fraktionen. Eine wichtige Rolle als Hilfsmittel spielen Fachliteratur, Gespräche, die Presse und Forschungsinstitute. Aber nicht alle Informationswünsche sind auf diesem Wege zu befriedigen. Dafür sind die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages da, die eigens für diesen Zweck gegründet worden sind: „Die politisch neutralen *Wissenschaftlichen Dienste* sollen angesichts des Informationsvorsprungs der Exekutive und der informationellen Einflussnahme der privaten Interessenvertreter auf den Gesetzgebungsprozess ein gewisses Gegengewicht bilden, das die Eigenständigkeit und Unabhängigkeit des Parlaments stärkt“ (Schick/Hahn 1995).

### Doch mit dem „Congressional Research Service“ kaum zu vergleichen

Freilich: von den Arbeitsmodalitäten ihres Pendanten in den USA, des *Congressional Research Service*, können die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der „Wissenschaftlichen Dienste“ nur neidvoll träumen. Zwar hat die wissenschaftliche Beratung der Kongressmitglieder auch mit einer Bibliothek begonnen: mit der *Library of Congress*, gegründet 1800. Aber dabei ist es nicht geblieben. Noch vor dem Ersten Weltkrieg entstand ein *Legislative Reference Service*. Und aus diesem erst einmal winzigen Stab von wissenschaftlichen Beratern ist 1970 dann der *Congressional Research Service* (CRS) hervorgegangen, heute ein riesiger *brain trust* für die Volksvertreter.

Antworten auf Informationsfragen von Wählern und Kongressmitgliedern zu geben, ist die eine Aufgabe des CRS. Die andere ist eine Art eigener *Forschungsarbeit*, in sieben Abteilungen von jeweils etwa 50 Wissenschaftlern wahrgenommen. Dem CRS hat der Gesetzgeber dazu noch eine wichtige *prognostische Funktion* zugeordnet. Er soll künftige Informationsbedürfnisse des Kongresses vorhersehen und prophylaktisch befriedigen. Auf eigene Initiative fertigt der CRS pro Jahr etwa 1000 Studien über Themen an, die vermutlich demnächst im Kongress zur Debatte stehen werden, sodass die Abgeordneten und Senatoren am „Tag X“ Hintergrundmaterialien als Entscheidungshilfen zur Verfügung haben.

Die *Wissenschaftlichen Dienste* des Deutschen Bundestags sind mit Personal und finanziellen Mitteln weit schlechter ausgestattet als ihr amerikanisches Vorbild. Das Gros der Bediensteten ist im Archiv, in der Pressedokumentation und in der Bibliothek beschäftigt, die der „Grundstein“ der *Wissenschaftlichen Dienste* ist, der Kern, auf den sich, anders als in den USA, der Wissenschaftsservice fast beschränkt, zumindest konzentriert. „Mehr oder minder haben die Hilfsdienste ... den Charakter eines lediglich materialaufbereitenden Zubringerdienstes“ (Lompe 1977, 498). An diesem Fazit, gezogen 1977, hat sich kaum etwas geändert.

### Die Gratwanderung zwischen Wissenschaftlichkeit und Parteilichkeit

„In der Bundesrepublik wird die Frage nach den Beziehungen zwischen Wissenschaft und Politik vor allen Dingen in der öffentlichen Diskussion um die Gutachten des Sachverständigenrats zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung immer wieder von neuem aktualisiert“ (Lompe 1977, 498). Ein Gremium, dessen Expertise nicht nur, wie üblich, Parteien, Parlament und Regierung, sondern ausdrücklich auch die Öffentlichkeit als Adressaten hat.

Kein wissenschaftliches Beratergremium, der Wissenschaftsrat vielleicht ausgenommen, steht so sehr im Mittelpunkt des politischen Interesses wie diese Expertenrunde. Über das politische Gewicht dieses Rats hat der langjährige „Weise“ Olaf Sievert einmal geschrieben: „Für die Vergangenheit ein unerbittlicher Rechnungshof, für die Wirtschaftspolitik der Zukunft ein unentwegter Besserwisser, das sind die Rollen, die das Gesetz dem Sachverständigenrat zuweist.“ Das „Gesetz über die Bildung eines Sachverständigenrates zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung“ vom 14. August 1963 verlangt den fünf Mitgliedern nicht nur Weisheit, sondern fast schon wirtschaftswissenschaftliches und politisches Genie ab, sollen sie doch „untersuchen, wie im Rahmen der marktwirtschaftlichen Ordnung gleichzeitig Stabilität des Preisniveaus, hoher Beschäftigungsstand und außenwirtschaftliches Gleichgewicht bei stetigem und angemessenem Wachstum gewährleistet werden können“.

Jahrelang hat die Mehrheit der „fünf Weisen“ den Tarifparteien fast gebetsmühlenartig moderate Lohnabschlüsse abverlangt. Mit dem vorgegebenen Ziel, die Ertragslage der Unternehmen zu verbessern und die Investitionstätigkeit zu stimulieren. Was mit einem gewissen Automatismus, wie die Sachverständigen immer wieder suggerierten, Arbeitsplätze schaffen und damit die Arbeitslosigkeit vermindern sollte. Dass in Wirklichkeit einseitig die Arbeitnehmer zu Konzessionen verpflichtet werden sollten, war unschwer dem Tenor der Expertise zu entnehmen. Weshalb die Wirtschaftsweisen nicht nur bei den Gewerkschaften in Misskredit geraten sind.

Selbst bei den Naturwissenschaftlern, die den Regierungen als Ratgeber dienen, besteht oft genug der Verdacht, dass sie von vornherein Partei sind. Etwa bei den Physikern, Chemikern und Geologen, die sich zur Frage der Kernenergie, speziell zur Wiederaufarbeitung und Endlagerung äußern sollen. Es entsteht der Eindruck, dass für jede beliebige politische Entscheidung ein wissenschaftliches Gutachten zu bekommen ist. Dieser Anschein von Parteilichkeit, vielleicht gar Käuflichkeit, gilt für andere Disziplinen wie die Wirtschaftswissenschaften noch viel mehr. Denn die Wirtschaftspolitiker zu beraten, das ist nicht nur eine Frage der Wissenschaft. Es ist, so scheint es manchmal, auch Glaubenssache. Oder Ideologie.

Dass derlei offenkundige Parteilichkeit der Glaubwürdigkeit wissenschaftlicher Politikberatung nicht besonders förderlich ist, versteht sich von selbst. Was deshalb not tut, ist eine „Beratungsethik“, die der wissenschaftlichen Politikberatung aus sich selbst heraus Grenzen setzt und die Modalitäten der Beratung regelt (Böhret 1995, 205). Die vor allem darauf hinzuwirken hat, dass die Gratwanderung zwischen wissenschaftlicher Objektivität und Rücksichtnahme auf die Geldgeber einigermaßen gelingt.

### Politikberatung für die Außen- und Sicherheitspolitik

Wer den Blick über die unterschiedlichen „Beratungslandschaften“ in den USA und Deutschland schweifen lässt, wird zunächst wohl wie gebannt auf ein Mammut-Unternehmen wie die RAND (*Research and Development*) Corporation mit ihren 1100 Mitarbeitern und Einnahmen von mehr als 100 Millionen Dollar schauen. Aber ein Vergleich anderer amerikanischer oder gar deutscher „Beratungsunternehmen“ mit diesem Koloss, der alle anderen überragt, verbietet sich schon deshalb, weil die *RAND Corporation* als Vertragsunternehmen des Pentagon einen Sonderstatus einnimmt (Gellner 1995, 78).

„Die zumeist einfach nach ihrem Standort (weit ab vom außenpolitischen Geschehen, F.N.) im Isartal bei München als ‚Ebenhausen‘ bezeichnete Stiftung (*Wissenschaft und Politik*, SWP, F.N.) verkörpert am ehesten das, was man sich vor allem in den 60er-Jahren in der Bundesrepublik Deutschland unter einem Think Tank vorgestellt hat. Kein Wunder, wenn man bedenkt, dass das Modell der RAND Corporation ein maßgebliches Vorbild für die Stiftung Wissenschaft und Politik war (Gellner 1995, 169). 1965, zu einer Zeit, da sich die weltpolitische Konstellation im Zeichen der Entspannungspolitik verändert hatte, auf Initiative des Politikwissenschaftlers Arnold Bergstraesser gegründet, entwickelte sich die Stiftung zu „Westeuropas größtem Think Tank auf dem Felde der Internationalen Politik“ (THE ECONOMIST 21.12.1991), mit 121 ständigen Mitarbeitern, darunter 40 Wissenschaftler im Forschungsbereich. Die „großen Themen“ der SWP: die europäische Integration, die transatlantischen Beziehungen, das Verhältnis zu Russland, Rüstungskontrolle, der Nahe Osten, Asien und Teile Afrikas. Ihr Gründer und langjähriger Direktor Klaus Ritter hat ihr einen Standort „im freien Zwischenfeld zwischen der Universität und den zentralen politischen Institutionen“ zugeordnet (Gellner 1995, 170). Dabei soll es im Prinzip auch bleiben. Aber die SWP soll dem Zentrum der Macht quasi auf Tuchfühlung näherrücken. Nicht nur dass sie nach Berlin umsiedelt. Auch innerhalb Berlins hat man einen günstigeren Platz gefunden als ursprünglich vorgesehen: ein paar Ecken vom Kurfürstendamm entfernt. Durch die Fusion mit dem Kölner *Bundesinstitut für ostwissenschaftliche und internationale Studien* (BIOSt)

entsteht das größte außen- und sicherheitspolitische Beratungsinstitut Europas. Nach dem Motto „Konkurrenz belebt das Geschäft“ und: „Regierungsnähe ist die eigentliche Geschäftsgrundlage“, hat sich die exquisite *Deutsche Gesellschaft für Auswärtige Politik* (DGAP) schon im Herbst 1999 in Berlin angesiedelt. Damit ist die außenpolitische Beratung in der Hauptstadt konzentriert. Der heutige SWP-Direktor *Christoph Bertram* verspricht sich viel von der räumlichen Nähe zu Regierung und Parlament. Er erwartet, „dass sich in Berlin das große Debattenforum des Landes herausbildet“ (FAZ 12. 1.00). Er ist sich sicher: „Berlin wird der politische Salon der Republik.“

Nebenbei bemerkt existiert in Berlin ein sozialwissenschaftlicher „Salon“ schon seit geraumer Zeit, seit einem Vierteljahrhundert, in Gestalt des *Wissenschaftszentrums Berlin*. Anfänglich bei den alteingesessenen Hochschullehrern der Freien und der Technischen Universität als „Forschungsbankert“ madig gemacht, konnte sich das WZB eine geachtete Position auf sozialwissenschaftlichem Terrain erkämpfen. „Der entscheidende Grund für diese Konsolidierung war die von der sozialliberalen Regierung initiierte Förderung anwendungsnaher Politik- und Sozialforschung“ (Gellner 1995, 189). Überdies wuchs damals das Interesse an der „Technikfolgenabschätzung“ ungemain. Ein weitläufiges Forschungsfeld für die Sozialwissenschaftler des WZB. Ganz zu schweigen vom dramatischen Anstieg der Arbeitslosigkeit, auf mehr als eine halbe Million 1974, dann auf Millionen-Niveau von 1982 an. Mit der anwendungsorientierten Analyse dieses sozialen Übels hatten die Berliner Sozialwissenschaftler alle Hände voll zu tun. Sie lieferten dazu fast durchweg solide und praxisnahe Studien. So kam es, dass aus dem „Bankert“ WZB ein „Parade-Think Tank“ geworden ist.

### Das Problem ist die politische Umsetzung

Für beide, eine auf Außenpolitik zentrierte „Ideenagentur“ wie die SWP und das sozialwissenschaftlich ausgerichtete WZB, gilt, mit nur geringfügigen Unterschieden, dass sie gut in der Produktion und Vermarktung ihrer Expertisen sind. Wenn es aber darum geht, sie politisch umzusetzen, bleiben die Erfolge oftmals aus. Mitnichten sind ja diese Expertisen als Handlungsanleitungen gedacht. Sie sollen nur Orientierungshilfen bieten. Aber in ihrer Logik liegt doch der Anspruch, prophylaktisch auf den politischen Entscheidungsprozess zu wirken. Also, vorteilhafte Entwicklungen zu propagieren und vor krisenhaften Entwicklungen zu warnen. Meriten hat sich die SWP zweifellos bei den Verhandlungen über die Nichtverbreitung nuklearer Waffen verdient. „Als weiteres Beispiel konkreten Einflusses ließe sich die MBFR-Politik der Bundesrepublik zwischen 1967 und 1973 nennen“ (Gellner 1995, 171). Und, nicht zu vergessen: die Rolle der Stiftung im Kosovo-Konflikt. „In den verschiedenen Phasen

des Konflikts wurde die Beratungsleistung der Experten der SWP unterschiedlich stark nachgefragt. Vor der Militäraktion gab es häufig persönliche Kontakte zwischen spezialisierten Beratern und Politikern. Dabei spielte früher gewonnenes Vertrauen eine entscheidende Rolle. Während der Militäraktion wurde wenig wissenschaftliche Beratung nachgefragt. Erst zur Vorbereitung der deutschen Initiative zur Einbindung Russlands wurden wieder Experten der SWP herangezogen“ (Segbers 1999, 36).

Einen *back channel*, informelle Kontakte, hat auch der Direktor des DGAP-Forschungsinstituts genutzt. Er brachte den Londoner Investmentbanker *Peter Castenfeld* ins Spiel, einen Amateuraußenpolitiker mit besten Beziehungen zu *Boris Jelzin*. Er war entscheidend daran beteiligt, die Wogen zu glätten, die zwischen Russland und der NATO bedrohlich hochgeschlagen waren, und er bereitete mit den Boden für den serbischen Rückzug aus dem Kosovo.

### Die Friedensforschung als Kind einer besonderen weltpolitischen Konstellation

Was für die wissenschaftliche Politikberatung generell gilt, trifft auf einen speziellen Teil, die Friedensforschung, in besonderem Maße zu: nämlich das Bestreben, nicht in *l'art pour l'art*-Manier zu forschen, nicht Expertisen für den Papierkorb zu produzieren oder sich in die dünne Luft der Utopien zu versteigen, sondern „praxisrelevant“ zu sein. Das heißt, anstehende politische Entscheidungen mit zu präformieren, statt vollendete Tatsachen der Kritik zu unterziehen. Also möglichst präventiv zu wirken, nach dem medizinischen Motto: „Vorbeugen ist besser als heilen.“

Die Friedensforschung hat sich in der Bundesrepublik in einer besonderen weltpolitischen Konstellation etabliert: im Kontext des Kalten Kriegs und im Kontrast dazu. „Vor allem ... fällt die Etablierung der HSFK (des größten und renommiertesten der drei herausragenden deutschen Friedensforschungsinstitute: Hessische Stiftung Friedens- und Konfliktforschung, F.N.) wie der Friedensforschung insgesamt in die gesellschaftliche Umbruchphase der späten Sechziger- und frühen Siebzigerjahre, die Zeit der Protestbewegung und des Beginns der sozialliberalen Koalition, die sich von der Förderung der Friedensforschung zweifellos einen Legitimationsgewinn versprach“ (Gellner 1995, 202).

Diese günstige Gründungskonstellation bewahrte die institutionalisierte Friedensforschung indessen nicht vor einem Kleinkrieg um ihre Finanzierung und schließlich sogar um ihre Existenz. Kein Wunder, hatten sich die Friedensforscher doch vorgenommen, mit ihrer Expertise auf die „Veränderung politischer Praxis“ hinzuwirken. Zum Beispiel, der tieferen Friedlosigkeit, der so genannten „strukturellen Gewalt“, einem Komplex von Unterdrückung, Arbeitslosigkeit, Armut und so weiter, beizukommen. Was gesellschaftli-

che Veränderungen implizierte. Dieses Bestreben, einen strukturellen Wandel herbeizuführen, trug den Friedensforschern den Ruf ein, als „Systemveränderer“ die marktwirtschaftlich-demokratische Ordnung untergraben zu wollen.

In Frankfurt betreibt man Friedensforschung noch immer mit dem bemerkenswerten Anspruch einer „Veränderungswissenschaft“, „mit weltbürgerlicher Orientierung“. Aber niemand käme heute auf die Idee, dahinter revolutionäre Umtriebe zu vermuten. Die ideologischen Fronten haben sich mit dem Ende des Kalten Kriegs in Wohlgefallen aufgelöst. Und zur *Détente* zwischen Wissenschaft und Politik haben auch die Friedensforscher selbst beigetragen, indem sie ihren hoch, zu hoch gesteckten Zielen abgeschworen und zu einer pragmatischen Zuarbeit zur Politik gefunden haben.

### Gründe für mangelnde Resonanz

Bleibt ein innerwissenschaftlicher Umstand, der es den potentiellen „Abnehmern“ friedensforscherischer Expertise schwer macht, diese politisch umzusetzen: der Theorien- und Methodenpluralismus der Friedensforschung, der ein Überangebot an praxisrelevantem Wissen hervorbringt. Eine Überfülle, vor der die Politikerinnen und Politiker schon aus Zeitnot kapitulieren müssen (Citron 1996, 540). Ganz abgesehen davon, dass sie nicht sonderlich an Plänen, Vorschlägen und Empfehlungen interessiert sein können, „deren Verwirklichung möglicherweise gravierende Veränderungen in Politik und Institutionengefüge nach sich ziehen könnte“ (Alfs 1995, 78).

Fazit: Es mangelt den friedensforscherischen Erkenntnissen an Resonanz. Die Friedensforschung kommt mit diesen Erkenntnissen oft genug, was in der Natur der Sache liegt, zu spät, um nicht vom Leben, sprich: der Politik, mit Desinteresse und Missachtung bestraft zu werden. „Die Realität einer multilateralen Verhandlung, bei der zahllose nationale Interessen unter einen Hut gebracht werden müssen, und die Unvorhersehbarkeit internationaler Entwicklungen machen es in der Tat der Forschung schwer, rechtzeitig Beiträge zu liefern, die für die Verhandlung von Relevanz sein können“ (Citron 1996, 544).

Immerhin kann sich die Friedensforschung rühmen, den Wandel in Russland und, von dort ausgehend, den Wandel der bipolaren Weltkonstellation indirekt zumindest mit gefördert zu haben, indem sie zum „Ideenlieferanten“ *Gorbatschows* geworden ist. Was jedoch weniger der übermächtigen Stringenz dieser Ideen, sondern vielmehr den unerwartet günstigen Verhältnissen im Politbüro der KPdSU zuzuschreiben war, die der westeuropäischen rüstungskontrollorientierten Friedensforschung im Innersten des Kreml Gehör verschaffte. Das Konzept der „gemeinsamen Sicherheit“ konvenierte mit der *Gorbatschow*'schen Entspannungspolitik. Und die positive Antwort der deutschen Außenpolitik: Zu ihr hat auch die Friedensforschung beigetragen (Risse-Kappen 1996, 525ff).



## Zukunftsforschung zwischen Schwarzmalerei und grenzenlosem Optimismus

Voraussagen sind ein schwieriges Geschäft. Besonders, wenn es um die Zukunft geht. Dieses chinesische Sprichwort ist heute so wahr wie vor ein paar hundert Jahren, obwohl man doch meinen sollte, dass der wissenschaftliche Fortschritt auch die Prognosen erleichtert hat. Stichwort: Computergestützte Modellrechnungen. Welchen wissenschaftlichen Wert sie haben, ist am besten zu ermesen, wenn man sich Prognosen etwa der Siebzigerjahre vergegenwärtigt, die zu den „Klassikern“ der Zukunftsforschung zählen.

Wäre damals alles nach *Herman Kahn* gegangen, hätte das Paradies auf Erden schon zum Greifen nahe sein müssen. 1967 hat dieser prominenteste unter den amerikanischen Zukunftsforschern zusammen mit *Anthony Wiener* den Bestseller: *The Year 2000. A Framework for Speculation* publiziert. Ein Kompendium von vollmundigen Prognosen, mit einem Touch von Science Fiction, das von chemischen Gedächtnisstützen über Nürnberger Trichter in Pillenform, künstliche Monde und bemannte Mondstationen bis zu programmierten Träumen reichte. Kaum jemand hat die Zukunft in so rosigem Licht gesehen wie der „Paradiesvogel“ dieser Zunft, *Herman Kahn*. Als notorischer Optimist, der mit wissenschaftlicher Unbefangenheit seine opulenten Voraussagen aufgetischt hat, konnte er sich deftiger Seitenhiebe auf solche pessimistischen Zukunftsprojektionen nicht enthalten, wie sie *Dennis Meadows* und Ko-Autoren 1972 in ihrem Bericht an den *Club of Rome* unter dem legendären Titel: „Die Grenzen des Wachstums“ beschworen haben. Und auch der nach nur einer Amtszeit unrühmlich ins Glied zurückgetretene US-Präsident *Jimmy Carter* bekam für den grau in grau gehaltenen „Präsidenten-Bericht 2000“ noch sein Fett weg. „Barer Unsinn“ lautete das Urteil des „Chefvisionärs“ *Herman Kahn*.

Im Kontrast zu derlei düsteren Szenarien hat *Kahn*, der vielen Wissenschaftlern als Scharlatan für die gehobenen Kreise galt, für das Jahr 2000 nicht gerade den Himmel auf Erden, aber doch ein unbeschwertes Erdendasein vorhergesagt. Unter dem Titel: *Vor uns die guten Jahre – Ein realistisches Modell unserer Zukunft* weissagte er 1977: Der Hunger werde im Jahr 2000 ein unbekanntes Übel sein, und zwar schon deshalb, weil das Wachstum der Weltbevölkerung rapide abnehmen werde.

Aber nicht nur *Herman Kahn*, der unter den Zukunftsforschern zur Spezies der „Euphoriker“ gehörte, hat sich gründlich getäuscht. Auch die Schwarzseher oder Apokalyptiker aus dem anderen Lager der Futurologen haben sich geirrt. „So hatten die Autoren des ‚Club of Rome‘ ihre Prognosen zwar mit der Einschränkung versehen, sie würden nur dann zutreffen, wenn die Welt weitermache wie bisher. Doch obwohl die Ausbeuter der Erde nicht innehielten, waren um 1985 weder die Goldvorkommen noch die Lagerstätten von Silber oder Quecksilber, wie prophezeit, erschöpft“ (*R. F. Müller* 2000, 146). Bei

genauer Betrachtung ist keine der düsteren *Meadows*-Prognosen eingetreten. Die Katastrophen, die so manche *Kassandra*-ruffer angekündigt hatten, sind ausgeblieben. Indien müsste zum Beispiel schon 1975 an Ernährungsproblemen zugrunde gegangen sein, wenn es so gekommen wäre, wie es die Brüder *William* und *Paul Paddock* in ihrem Buch *Hunger 1975* vorausgesagt hatten. Tatsächlich aber hat sich die Nahrungsmittelproduktion auf dem Subkontinent so stark entwickelt, dass sie das Land von Importen unabhängiger gemacht hat als 1967, in dem Jahr, in dem das Buch der *Paddocks* auf den Markt gekommen ist.

### Exakte Prognosen: Fehlanzeige

Die Produkte der „Futurologie“, die übrigens der deutsche Politikwissenschaftler *Ossip K. Flechtheim* 1943 im amerikanischen Exil so benannt hat, sind also mit Vorsicht zu genießen, seien es die hyperoptimistischen oder auch die schwarzseherischen. Die Prognosen der Einzelkämpfer genauso wie diejenigen solcher Denkfabriken wie des 1961 von *Kahn* gegründeten *Hudson Institute*, einer „futuristischen Organisation“, die sich großspurig des Optimismus rühmt, „die Probleme von morgen heute“ zu lösen. Die Fehlerquote der futurologischen Voraussagen liegt bei 80 Prozent, wie eine amerikanische Studie vor kurzem ergeben hat. Von 48 Wirtschaftsprognosen haben sich 46 als falsch erwiesen! Das geht aus dem Bestseller *The Fortune Sellers* von *William Sherden* (1997) hervor. Ganz zu schweigen von dem Mangel an futurologischem „Gespür“, der die akademisch gebildeten Wahrsager bedeutsame politische Entwicklungen einfach „verschlafen“ ließ: die islamische Revolution im Iran 1979, die Vorgänge in Afghanistan, den Zusammenbruch des Ostblocks, die deutsche Wiedervereinigung und so weiter.

„In der technischen Machbarkeitseuphorie nach dem Zweiten Weltkrieg hat die Welt jene vorwiegend amerikanischen Futurologen tatsächlich ernst genommen, die behaupteten, mit genügend großen Computern die Gleichungen lösen zu können, die angeblich die Zukunft bestimmen“ (*Minx* 2000, 155). Dafür, dass selbst an hochdifferenzierten kybernetischen Weltmodellen Zweifel angebracht sind, gibt es einen triftigen Grund: „Die Gesetze der Newtonschen Mechanik gelten nach heutiger Einsicht streng genommen nur in einem System mit zwei Körpern. Tritt ein dritter hinzu, so wird das System bereits so kompliziert und die unvermeidbaren Fehler sind so groß, dass künftige Zustände nicht mehr wirklich genau und eindeutig vorausberechnet werden können. Wenn es nun schon schwer ist, ein System mit drei Elementen zu berechnen, dann muss es fast unmöglich sein, dies für ein System mit praktisch unendlich vielen Elementen zu leisten, wie das für Aussagen im sozialen und politischen Bereich der Fall ist. Es herrscht hier ein deterministisches Chaos, und exakte Voraussagen über zukünftige Zustände sind nicht möglich“ (*Arnold* 1991, 65f). Die Vorhersage sozialökonomischer Entwicklungen gilt

unter seriösen Beobachtern des Zeitgeschehens schlicht als Scharlatanerie. Bezeichnend, dass sogar ein „Trendforscher“, der „nur“ den Wandel der Lebensstile und Märkte oder sogar nur einen „Geschmackswechsel“ der Konsumenten im Voraus wissen will, vor dieser methodologischen Konstellation kapituliert mit dem Stoßseufzer: „Die Sache mit der Zukunft ist ein schwieriges Problem.“ Etwas rigider ausgedrückt: „Die Zukunft ist nicht vorhersagbar“ (*Minx* 2000, 155).

Daran ändern auch aufwändige Methoden wie die modernen *Delphi-Studien* nichts: „Umfrageverfahren, die das Wissen von Experten unter Nutzung psychologischer Gruppeneffekte einsetzen, um Informationen über die Zukunft zu erhalten.“ Was dabei herauskommt (z. B. bei *Delphi* 98), ist zum Teil beliebig und zum Teil trivial. Dass der Datenschutz, der elektronische Handel, Dienstleistungen, die Telearbeit, Produktrecycling und die Vernetzung von Unternehmen in Zukunft eine große Rolle spielen werden: wer hätte das gedacht? Ein typischer Fall für das Manko der Zukunftsforschung, dass sie in der Regel über die Extrapolation des Gegenwärtigen in die Zukunft nicht hinausgelangt.

### Grenzen der Wirksamkeit

Da stellt sich die Frage nach der Wirksamkeit von wissenschaftlich aufgeäumten Prognosen. Groß ist sie nicht, wenn sich die Auguren in der Beliebigkeit von Aussagen über künftige Entwicklungen ergehen, wenn sie zum Beispiel den Zwang zu lebenslangem Lernen oder die zunehmende Spaltung der Gesellschaft prophezeien. Allenfalls als *selffulfilling prophecy* tut die Prognose ihre Wirkung. Wenn auch oftmals eine unerwünschte. Das gilt auch für den „Schweine-Zyklus“: Für die Reaktionen auf günstige oder abschreckende prognostische Signale vom Arbeitsmarkt, die im Wechsel ein Überangebot und einen Mangel an Absolventen bestimmter Studienfächer zur Folge haben können. Siehe: Informatiker und Ingenieure.

Dass die Zukunft die Prognosen Lügen straft: das wäre der Idealfall für mancherlei Belange. Zumal für die Ambitionen der Friedensforschung. Sie ist zwar auch auf die Vergangenheit bezogen, mit dem Anspruch, aus der Geschichte zu lernen, welches Konfliktmanagement erfolgreich, welches unwirksam gewesen ist. Aber im gleichen Maße ist sie zukunftsorientiert, mit der Absicht, Konflikte, die sich am Horizont abzeichnen, zu verhüten. Aber diese präventive Funktion der Friedensforschung: „das ist die schwierigste Frage überhaupt. Es ist nicht so, dass die Friedensforschung nicht im Grunde bei jedem dieser Konflikte, die wir in den letzten 10 Jahren gesehen haben, vorher Warnleuchten entzündet hätte. Das gilt ganz besonders für den Balkan, das gilt auch für den Kosovo. Das Problem ist, dass in den Horizont der Politik immer nur gerät, was unmittelbar geschieht und in den Medien ist. Und das wirkt der präventiven Wirkung der Friedensforschung leider direkt entgegen. Und wir haben noch kein Pa-

tentrezept gefunden, wie wir den Zeithorizont der Politik so verändern können, dass das, was wir zu sagen haben, rechtzeitig in die Aufmerksamkeit einrückt" (H. Müller 2000).

#### Literaturhinweise

Abelson, Donald E., American Think-Tanks and their Role in US Foreign Policy, New York 1996.  
Alfs, Michael, Wissenschaft für den Frieden? Das schwierige Theorie-/Praxis-Verhältnis der Friedens- und Konfliktforschung, Münster 1995.  
Arnold, Michael, Brauchen wir eine neue Politikberatung?, in: UNIVERSITAS 1/1991, S. 60–67.

Böhret, Carl, Vom Hofnarren zum Politik-Coach. Zum Wiederaufstieg der persönlichen Beratung des Politikers, in: Böhret, Carl und Matthias Nowack (Hrg.), Gesellschaftlich denken – kommunal handeln, Mainz 1995, S. 203–221.  
Böhret, Carl, Reformen im Staat mittels Politikberatung? In: A. Blocker u. a. (Hrg.), Die Reformfähigkeit von Staat und Gesellschaft, Frankfurt am Main 1997, S. 81–96.  
Bruder, Wolfgang, Sozialwissenschaften und Politikberatung. Zur Nutzung sozialwissenschaftlicher Informationen in der Ministerialorganisation, Opladen 1980.  
Citron, Klaus Jürgen, Anspruch und Realität – Politik und Friedensforschung, in: Berthold Meyer (Hrg.), Eine Welt oder Chaos?, Frankfurt am Main 1996, S. 539–548.  
Gellner, Winand, Ideenagenturen für Politik und Öffentlichkeit. Think Tanks in den USA und in Deutschland, Opladen 1995.  
Lompe, Klaus, Politikberatung, in: Kurt Sontheimer und Hans H. Röhring (Hrg.), Handbuch des politischen Systems der Bundesrepublik Deutschland, München/Zürich 1977, S. 493–502.

Mayntz, Renate, West Germany, in: Plowden, William (Hrg.), Advising the Rulers, Oxford/New York 1987, S. 3–18.  
Minx, Eckard, Daumen in den Wind, in: DER SPIEGEL, 14/2000, S. 155f.  
Müller, Harald, Interview mit dem Verfasser am 24. 5. 2000.  
Müller, Rolf S., Falsche Propheten, in: DER SPIEGEL, 14/2000, S. 146f.  
Risse-Kappen, Thomas, Friedensforschung als Friedensstiftung? Zum Verhältnis von Wissenschaft und Politik, in: Meyer, Berthold (Hrg.), Eine Welt oder Chaos?, Frankfurt am Main 1996, S. 520–538.  
Schick, Rupert und Gerhard Hahn, Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages, Bonn 1995.  
Segbers, Klaus (Hrg.), Außenpolitikberatung in Deutschland, Berlin 1999.

#### Know-how in den Köpfen

*Rohstoffe zu besitzen ist angenehm: Ein Land kann damit reich werden. Aber das wichtigste Kapital der Industrieländer sind heute nicht mehr die Kohle-, Erz- und Erdölvorkommen, sondern das Know-how in den Köpfen der Bürger. Der neueste Bildungsbericht der OECD (Organisation für Zusammenarbeit und Entwicklung) zeigt: Mehr Menschen gehen länger zur Schule. Im Durchschnitt wird ein heute Fünfjähriger 16 Jahre und 4 Monate zur Schule gehen, 1990 waren es 15 Jahre. Erwachsene investieren heute mehr als ein ganzes Arbeitsjahr in die Weiterbildung. Für die Bildung investieren die westlichen Industrieländer einen beträchtlichen Teil ihrer Wirtschaftskraft: In Schweden, in den USA und in Dänemark sind es sieben Prozent des Bruttoinlandsprodukts. Deutschland gibt 5,7 Prozent der Wirtschaftskraft für Lehrer, Schulen, Universitäten und Unterrichtsmaterial aus und liegt damit etwas unter dem OECD-Durchschnitt von 6,1 Prozent.*

Globus

#### Im Durchschnitt 8200 Mark pro Jahr

*Im abgelaufenen Schuljahr 1998/99 ist die Schülerzahl – erstmals seit der deutsch-deutschen Vereinigung – zurückgegangen. Rund 10,11 Millionen Mädchen und Jungen drückten die Schulbank, 40 000 weniger als im Schuljahr 1997/98. Durchschnittlich 8200 Mark mussten die öffentlichen Schulen in Deutschland für jeden Schüler ausgeben. 6700 Mark davon, also mehr als vier Fünftel, waren Personalkosten. Die Ausgaben in den einzelnen Bundesländern wichen teilweise stark von diesem Mittelwert ab. So kostete der Unterricht an Hamburger Schulen pro Schüler 80 Prozent mehr als in Sachsen und immerhin 46 Prozent mehr als im Saarland, das unter den alten Bundesländern die niedrigsten Aufwendungen je Schüler hatte. Auch bei den Schularten gab es große Unterschiede. Am teuersten war der Unterricht in Sonderschulen mit durchschnittlich 19 900 Mark für jeden Schüler mit Lernschwächen oder Behinderungen. Am unteren Ende der Ausgabeskala standen die Berufsschulen mit 4000 Mark. Hier spielt es natürlich eine Rolle, dass die Berufsschüler im allgemeinen keinen Vollzeitunterricht absolvieren; so können mit einer Lehrer-Stelle rein rechnerisch mehr Schüler versorgt werden als in anderen Schularten.*

Globus

Dieses Bild kann aus urheberrechtlichen Gründen nicht angezeigt werden

Dieses Bild kann aus urheberrechtlichen Gründen nicht angezeigt werden

Bio- und Gentechnik sind die Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Diese – nicht umstrittenen – Techniken ermöglichen es den Menschen, das Erbgut von Pflanzen, Tieren und anderen Organismen gezielt zu verändern. So wurden bereits neue Medikamente, Impfstoffe und auch gentechnisch veränderte (transgene) Nutzpflanzen entwickelt, die in vielen Ländern auch schon eingesetzt worden sind. Die Anbaufläche von transgenen Nutzpflanzensorten, die durch den Eingriff in ihr Erbgut neue Eigenschaften wie zum Beispiel Widerstandsfähigkeit gegen Unkrautvernichtungsmittel oder gegen Schädlinge erhalten haben, steigt von Jahr zu Jahr – seit 1996 bereits um mehr als das Zwanzigfache auf knapp 40 Millionen Hektar weltweit (zum Vergleich: Deutschland verfügt insgesamt über etwa 12 Millionen Hektar Ackerland). Mit einem

Anteil von 72 Prozent an der gesamten Anbaufläche transgener Pflanzen nehmen die USA eine fast konkurrenzlose Stellung in der Vermarktung der „Grünen Gentechnik“ ein.

Weitere Länder mit größeren Anbauarealen sind Argentinien, Kanada und China – die EU und damit auch Deutschland zählen bisher noch nicht dazu. Globus

Dieses Bild kann aus urheberrechtlichen Gründen nicht angezeigt werden

Dieses Bild kann aus urheberrechtlichen Gründen nicht angezeigt werden

Die Industrie setzt verstärkt auf pflanzliche Rohstoffe. Im vergangenen Jahr wurden rund 740 000 Hektar Ackerland mit Pflanzen für die industrielle Anwendung angebaut; das sind mehr als sechs Prozent der gesamten Ackerfläche in Deutschland. Anders als fossile Rohstoffe wie Kohle oder Erdöl wachsen Pflanzen nach. Ihre Nutzung ist umweltfreundlich, denn sie werden durch natürliche Zersetzung dem Stoffkreislauf wieder zugeführt. – Ein Beispiel für die industrielle Nutzung nachwachsender Rohstoffe ist Raps, aus dessen Öl „Bio-Diesel“ gewonnen wird. Viele andere Pflanzen sind ebenfalls als nachwachsende Rohstofflieferanten geeignet; ihre Einsatzmöglichkeiten reichen von der Textil- bis zur Pharmaindustrie. Für die Landwirte in Deutschland schaffen sie neue Produktions- und Einkommensmöglichkeiten und sichern so Arbeitsplätze auf den Höfen und im ländlichen Raum. Globus

# Das *politische* Buch

## Jetzt auch ein „Schwarzbuch des Kapitalismus“

Robert Kurz

*Schwarzbuch des Kapitalismus:*

*Ein Abgesang auf die Marktwirtschaft.*

*Eichborn Verlag, Frankfurt a. M. 1999*

*816 Seiten, 68,- DM*

Seit der Veröffentlichung des „Schwarzbuchs des Kommunismus“, welches dessen Verbrechen anprangerte, jagt ein Schwarzbuch das andere. Inzwischen gibt es nicht nur Anti-Schwarzbücher, auch ein Anti-Anti-Schwarzbuch liegt vor. Darüber hinaus sind Schwarzbücher zu den unterschiedlichsten Bereichen erschienen: von der Anthroposophie über die Esoterik bis zu den *Rolling Stones*, um nur eine kleine Auswahl zu treffen. Auf diesen Zug ist auch der Publizist *Robert Koch* gesprungen.

Es war bloß eine Frage der Zeit, wann jemand – unschwer als Retourkutsche erkennbar – einen Abgesang auf den Kapitalismus anstimmen würde. Der Bezug zum „Schwarzbuch des Kommunismus“ offenbart sich nicht zuletzt in dem Komplex über das „System der totalitären Weltmarkt-Demokratien“. Hier ist wie selbstverständlich von der „totalen Mobilmachung“ des Kapitalismus, vom „totalitären Markt“, „sozialökonomischen Totalitarismus“ wie vom „totalitären Freizeitkapitalismus“ die Rede, als gehe es darum, eine Wirtschaftsordnung mittels einer entlarvenden Terminologie zu stigmatisieren, um ihr dann das Handwerk zu legen. Genau das ist das Ziel des Bandes.

Den Totalitarismus nur im staatlich-politischen Bereich aufzuspüren, erscheint Kurz unzureichend. Für den marxistisch geschulten Autor ist der politische Totalitarismus lediglich eine Spielart des sozioökonomischen. Im Vergleich zum totalitären Staat sei der „freie“ Markt sogar viel „totalitärer“, weil er tiefer in das menschliche Bewusstsein eindringe. Demnach überwindet die „liberale Weltmarkt-Demokratie“ nicht den Totalitarismus, sondern führt zu dessen Vollendung. Zu solchen abstrusen Schlussfolgerungen kann der Verfasser nur kommen, weil er alles in eine Topf wirft, statt die fundamentalen Unterschiede zwischen Demokratie und Totalitarismus herauszuarbeiten. Denn wer der ständigen medialen Berieselung im öffentlichen Raum „terroristischen Charakter“ unterstellt und die These vertritt, „das geht weit über die militärischen Anfänge im ‚totalen Krieg‘ hinaus“, der weiß weder um die Wirklichkeit in einer Diktatur noch in einer Demokratie.

„Entsetzt sehen wir, dass der Kapitalismus, seitdem sein Bruder, der Sozialismus, für tot erklärt wurde, vom Größenwahn bewegt ist und sich ungehemmt auszutoben begonnen hat“. Dies sagt nicht etwa *Robert*

*Kurz*, der dem aber gewiss beipflichten würde, vielmehr stammt die Äußerung von *Günter Grass*. Sie ist dessen Nobelpreisrede entnommen und offenbart die Bedeutung antikapitalistischer Positionen, die – zehn Jahre nach der Implosion des Kommunismus – längst wieder gesellschaftsfähig geworden sind. Deshalb darf ein Buch wie das von *Kurz* nicht schulterzuckend abgetan werden, sondern es muss eine sachliche Auseinandersetzung erfolgen, die zu einem begründeten Urteil kommt.

Im Mittelpunkt der Studie steht die Geschichte der ersten, zweiten und der dritten industriellen Revolution. Der Autor möchte die Aporien des Kapitalismus aufzeigen. Wie ein roter Faden zieht sich die „Erkenntnis“ durch das Buch, die Marktwirtschaft mache wenige reich, die Masse hingegen arm. *Kurz* betrachtet dies nicht nur als aktuelle Schlussfolgerung, auch die historische Entwicklung bestätige seine Analyse. Mit dem Auftreten der Marktwirtschaft hätten sich die menschlichen Lebensbedingungen, von wenigen prosperierenden Phasen abgesehen, kontinuierlich verschlechtert.

Der Kapitalismus wird dabei gleichsam für alle Probleme der Welt verantwortlich gemacht. Die Schwierigkeiten in Afrika schiebt der Verfasser einzig der Marktwirtschaft in die Schuhe. Andere Faktoren – historische, kulturelle oder geografische – bleiben ausgeblendet. Der Kapitalismus, „ein brutales Gewinner-Verlierer-Spiel“, gilt *Kurz* als „antihumane Gesellschaftsform“. Wer von dessen Alternativlosigkeit spreche, sei ein „zynischer Rechtfertigungs-Ideologe“. Jene, ob Wissenschaftler oder Politiker, die die Kurzchen Positionen nicht teilen, stellt dieser ins Abseits. So werden die Arbeiten von Milton Friedman und Friedrich August von Hayek unter „Angebots-Extremismus“ subsumiert, oder es ist vom „mikroökonomischen Extremismus“ die Rede. Otto Graf Lambsdorff firmiert als „die wirtschafts-extremistische ‚graue Eminenz‘ der deutschen Liberalen“. Wie es um das Rechtsbewusstsein des Verfassers bestellt ist, verdeutlicht Folgendes, ebenfalls nicht zu kommentierendes Beispiel: „Auch der Asylbewerber, der illegal die Sozialämter der halben BRD abklappert und sich nach seiner Abzockerei idiotischerweise eine Rolex zulegt, nimmt sich nur einen Anteil dieses Reichtums, der ihm als Mensch nach dem Stand der Produktivkräfte in einer vernünftigeren Form hundertfach und tausendfach zustehen würde.“

Weder Umverteilung noch Verzicht könnten helfen, da sie sich innerhalb der Logik des kapitalistischen Systems bewegten. Die Marktwirtschaft selbst sei das Problem. Nun bedeutet der Kapitalismus nicht das Paradies auf Erden; Defizite sind schwerlich von der Hand zu weisen. Doch

*Kurz* schüttet das Kind mit dem Bade aus. Denn welches Wirtschaftssystem schafft so viele Arbeitsplätze, die sich am Markt behaupten können, ohne dass es sich um verdeckte Arbeitslosigkeit handelt? Die Freiheit des Marktes, von *Kurz* grundsätzlich in Anführungszeichen gesetzt, ist alles andere, als ein Trugschluss. Sie ermöglicht eine Dynamik, die letztlich allen zugute kommt. Der Autor weigert sich beharrlich, solche Positiva zur Kenntnis zu nehmen. Fällt schon die Diagnose wenig überzeugend aus, gilt das erst recht für die Therapie. Diese macht das Buch endgültig zum Skandal: „Ist das nicht besser, erhobenen Hauptes und mit der Waffe in der Hand im Kampf gegen die Polizei des demokratischen Orwell-Staates zu sterben“, schreibt der Autor mit Blick auf die Sozialhilfeempfänger, als sich „zum Idioten der ‚Besserverdienenden‘ machen zu müssen?“ Der Epilog bekräftigt diese unmissverständliche Haltung, nun freilich ohne Begrenzung des Personenkreises: *Kurz* ruft offen zu einer „sozialen Rebellion gegen die unverschämten Zumutungen von ‚Marktwirtschaft und Demokratie‘“. Damit erweist sich der Verfasser als Antikapitalist wie als Antidemokrat. Man stelle sich einmal vor, kein „Linker“, sondern ein „Rechter“ spräche sich unverblümt für den bewaffneten Kampf aus. . . .

Angesichts der bombastischen Kritik am Kapitalismus könnte der Gegensatz zu der banalen Alternative – sogenannte „Räte“ sollten das „System von ‚Demokratie und Marktwirtschaft‘“ ablösen – gar nicht größer sein. Denn was *Kurz* für das 21. Jahrhundert feilbietet, ist ein Ladenhüter des 19. Jahrhunderts. Das Räte-system impliziert einen einheitlichen Volkswillen – wie soll der in einer modernen, ausdifferenzierten Gesellschaft eigentlich zustande kommen? – und führt zwangsläufig zur Aufgabe der Gewaltenteilung. Mit ihm geht eine Totalpolitisierung zugunsten weniger einher; gleichzeitig besteht die Gefahr der Verselbständigung der Mehrheit. Zeiterfordernis und Effizienz stehen in einem Räte-system in einem umgekehrt proportionalen Verhältnis. Schließlich stellt sich die Frage, wer an einem solchen Experiment überhaupt teilhaben möchte. Der Verfasser weiß, dass die „Massenbewegung“, die ihm vorschwebt, Wunschdenken bleiben wird. Und das ist ihm letztendlich das größte Ärgernis.

Ginge es nach *Kurz*, wären „alle destruktiven und unsinnigen Produktionen ersatzlos stillzulegen, die nur der Aufrechterhaltung des kapitalistischen Systems dienen (von der Geldverwaltung bis zur nervtötenden medialen Glocke der ‚Werbung‘)“. Was den letztgenannten Punkt betrifft, legt der Autor – in eigener Sache, vertritt sich – eine gewisse Flexibilität an den Tag. Er steht schon seit Anfang November für Anfragen der Presse zur Verfügung. Ein Schelm, wer Böses dabei denkt. Hinsichtlich des Zieles, „alle destruktiven und unsinnigen Produktionen ersatzlos stillzulegen“, kann *Kurz* froh sein, dass seine Kriterien beim „Schwarzbuch Kapitalismus“ keine Anwendung finden.

Ralf Altenhof

## Landeskunde im Dreierpack

Zu bestellen bei der

**Landeszentrale für politische Bildung, Stafflenbergstr. 38, 70184 Stuttgart (Fax 07 11/16 40 99-77)**

Hiermit bestelle ich folgende(n) Titel aus Ihrem Publikationsangebot:

\_\_\_\_\_ Ex. **Kommunalpolitik in Baden-Württemberg** (à 20,- DM zzgl. Versandkosten)

\_\_\_\_\_ Ex. **Taschenbuch Baden-Württemberg** (à 10,- DM zzgl. Versandkosten)

\_\_\_\_\_ Ex. **Baden-Württemberg – Eine kleine politische Landeskunde** (kostenlos)  
informiert über Politik und ihre Grundlagen mit vielen Abbildungen

Bitte schicken Sie mir ein Verzeichnis der noch erhältlichen Titel mit Abo-Bestellabschnitt der Zeitschrift:

Der Bürger im Staat

Politik und Unterricht

Deutschland und Europa

Bitte legen Sie der Sendung bei:

- LpB-Prospekt
- Liste der Publikationen
- Gesamtverzeichnis der kostenpflichtigen Titel  
(Spiele, Arbeitshilfen, Bücher)
- Aktuelles Seminarangebot

Meine Anschrift:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Datum \_\_\_\_\_

Unterschrift \_\_\_\_\_

----- bitte hier abtrennen -----

Wenn Sie **DER BÜRGER IM STAAT** abonnieren möchten, erhalten Sie die Zeitschrift für nur 25,- DM, viermal im Jahr, frei Haus. Schicken Sie diesen Abschnitt zurück an:

Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg,  
Stafflenbergstraße 38, 70184 Stuttgart

Sollten Sie jeweils drei Monate vor Ablauf des Kalenderjahres nicht abbestellt haben, läuft das Abonnement weiter.

Hiermit erteile ich widerruflich die Abbuchungsermächtigung für den Jahresbezugspreis in Höhe von 25,- DM.

\_\_\_\_\_  
Name, Vorname bzw. Organisation

\_\_\_\_\_  
Geldinstitut

\_\_\_\_\_  
Straße, Hausnummer

\_\_\_\_\_  
Konto-Nummer

\_\_\_\_\_  
BLZ

\_\_\_\_\_  
PLZ, Ort

\_\_\_\_\_  
Datum, Unterschrift

\_\_\_\_\_  
Datum, Unterschrift

### Rechtlicher Hinweis:

Ich kann diese Bestellung binnen 14 Tagen widerrufen. Zur Wahrung der Frist genügt die rechtzeitige Absendung (Poststempel) an: Verlagsgesellschaft W.E. Weinmann mbH, Postfach 4160, 70779 Filderstadt.

Ich habe von meinem Widerspruchsrecht Kenntnis genommen.

\_\_\_\_\_  
Datum, Unterschrift



## Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg

Staffenbergstraße 38 · 70184 Stuttgart  
Telefon (07 11) 16 40 99-0  
Telefax (07 11) 16 40 99-77  
Internet <http://www.lpb.bwue.de>

### Telefon Stuttgart (07 11) 16 40 99-0

Durchwahlnummern  
Direktor: Siegfried Schiele ..... -60  
Referentin des Direktors: Sabine Keitel ..... -62  
Stabstelle Marketing:  
Leiter: Werner Fichter ..... -63  
Öffentlichkeitsarbeit: Joachim Lauk ..... -64

#### Abteilung I Verwaltung (Günter Georgi)

Fachreferate

I/1 Grundsatzfragen: Günter Georgi ..... -10  
I/2 Haushalt und Organisation: Jörg Harms ..... -12  
I/3 Personal: Gudrun Gebauer ..... -13  
I/4 Information und Kommunikation: Wolfgang Herterich .. -14  
I/5\*\* Haus auf der Alb: Erika Höhne ..... (0 71 25) 152-109

#### Abteilung II Adressaten (Karl-Ulrich Templ, stellv. Direktor)

Fachreferate

II/1 Medien: Karl-Ulrich Templ ..... -20  
II/2\*\* Frieden und Sicherheit: Wolfgang Hesse. (0 71 25) 152-140  
II/3 Lehrerfortbildung: Karl-Ulrich Templ ..... -20  
II/4\* Schülerwettbewerb:  
Reinhard Gaßmann . . . . -25, Monika Greiner . . -26  
II/5 Außerschulische Jugendbildung: Wolfgang Berger . -22  
II/6\*\* Öffentlicher Dienst: Eugen Baacke . . . . (0 71 25) 152-136

#### Abteilung III Schwerpunkte (Konrad Pflug)

Fachreferate

II/1\*\* Landeskunde/Landespolitik:  
Dr. Angelika Hauser-Hauswirth . . . . (0 71 25) 152-134  
III/2 Frauenbildung: Christine Herfel ..... -32  
III/3\*\* Zukunft und Entwicklung:  
Gottfried Böttger . . . . . (0 71 25) 152-139  
III/4\*\* Ökologie: Dr. Markus Hug . . . . . (0 71 25) 152-146  
III/5\* Freiwilliges Ökologisches Jahr: Steffen Vogel . . . . -35  
III/6\*\* Europa: Dr. Karlheinz Dürr . . . . . (0 71 25) 152-147  
III/7\* Gedenkstättenarbeit: Konrad Pflug ..... -31

#### Abteilung IV Publikationen (Prof. Dr. Hans-Georg Wehling)

Fachreferate

IV/1 Wissenschaftliche Publikationen  
Redaktion „Der Bürger im Staat“:  
Prof. Dr. Hans-Georg Wehling . . . . . -41, -40  
IV/2 Redaktion „Politik und Unterricht“: Otto Bauschert . . -42  
IV/3 Redaktion „Deutschland und Europa“:  
Dr. Walter-Siegfried Kircher . . . . . -43  
IV/4 Didaktik politischer Bildung: Siegfried Frech . . . . . -44

#### Abteilung V Regionale Arbeit (Hans-Joachim Mann)

Fachreferate/Außenstellen

V/1 Freiburg: Dr. Michael Wehner . . . . . (0 71 25) 152-109  
V/2 Heidelberg: Dr. Ernst Lüdemann . . . . . (0 62 21) 60 78-14  
V/3\* Stuttgart: Hans-Joachim Mann . . . . . (0 71 11) 16 40 99-50  
V/4 Tübingen: Rolf Müller . . . . . (0 70 71) 2 00 29 96

#### Anschriften

Hauptsitz in Stuttgart (s. links)

\* 70178 Stuttgart, Sophienstraße 28–30,  
Telefax (07 11) 16 40 99-55  
\*\* Haus auf der Alb  
72574 Bad Urach, Hanner Steige 1,  
Tel. (0 71 25) 152-0, Telefax (0 71 25) 152-100

Außenstelle Freiburg

Friedrichring 29, 79098 Freiburg,  
Telefon (07 61) 20 77 30, Telefax (07 61) 2 07 73 99

Außenstelle Heidelberg

Friedrich-Ebert-Anlage 22–24, 69117 Heidelberg,  
Telefon (0 62 21) 60 78-0, Telefax (0 62 21) 60 78-22

Außenstelle Stuttgart

Sophienstraße 28–30, 70178 Stuttgart,  
Telefon (07 11) 16 40 99-51, Telefax (07 11) 16 40 99-55

Außenstelle Tübingen

Herrenberger Straße 36, 72070 Tübingen,  
Tel. (0 70 71) 2 00 29 96, Telefax (0 70 71) 2 00 29 93

#### Bibliothek Bad Urach

Bibliothek/Mediothek Haus auf der Alb, Bad Urach

Gordana Schumann, Telefon (0 71 25) 152-121

Dienstag 13.00–17.30 Uhr

Mittwoch 13.00–16.00 Uhr

#### Publikationsausgabe Stuttgart

Staffenbergstraße 38

Ulrike Weber, Telefon (07 11) 16 40 99-66

Montag 9–12 Uhr und 14–17 Uhr

Dienstag 9–12 Uhr

Donnerstag 9–12 Uhr und 14–17 Uhr

#### Nachfragen

##### „Der Bürger im Staat“

Ulrike Hirsch, Telefon (07 11) 16 40 99-41

##### „Deutschland und Europa“

Sylvia Rösch, Telefon (07 11) 16 40 99-45

##### „Politik und Unterricht“

Sylvia Rösch, Telefon (07 11) 16 40 99-45

**Publikationen** (außer Zeitschriften)

Ulrike Weber, Telefon (07 11) 16 40 99-66

#### Bestellungen

schriftlich an die zuständigen Sachbearbeiterinnen (s.o.):

Staffenbergstraße 38, 70184 Stuttgart,

Telefax (07 11) 16 40 99-77,

online: <http://www.lpb.bwue.de>

Im nächsten Heft:

## Deutschland Ost und Deutschland West

10 Jahre nach der deutschen Vereinigung