

Hefte aus Burgscheidungen

Rainer Borriss

Manipulierte Natur?

Stand, Chancen und Risiken der Gentechnik



259

Herausgegeben vom Sekretariat des Hauptvorstandes
der Christlich-Demokratischen Union Deutschlands

Hefte aus Burgscheidungen

Rainer Borriss

Manipulierte Natur?

Stand, Chancen und Risiken der Gentechnik

ISSN 0440-5862
ISBN 3-372-00164-8

1. Auflage · Heft 259 · 1989
Ag-Nr. 224/9/89
702 635 5
00050

1989

Herausgegeben vom Sekretariat des Hauptvorstandes
der Christlich-Demokratischen Union Deutschlands

Dr. sc. rer. nat. Rainer Borriss war seit 1981 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Zentralinstitut für Genetik und Züchtungsforschung Gatersleben der Akademie der Wissenschaften der DDR und erhielt 1987 im Kollektiv den Nationalpreis der DDR; jetzt wurde er zum Dozenten an die Sektion Nahrungsgüterwirtschaft, Bereich Mikrobiologie, der Humboldt-Universität zu Berlin berufen. Er ist Mitglied der Arbeitsgemeinschaft Landwirtschaft beim Hauptvorstand der CDU.

1987 erschien eine von Fritz Erpenbeck herausgegebene Anthologie mit dem beziehungsreichen Titel „Windvogelviereck“. Hier sprechen DDR-Schriftsteller verschiedener Generationen ihre Sorgen und Ängste über Wege und Zielsetzungen der heutigen Naturwissenschaft aus. Im Brennpunkt stehen dabei bemerkenswerterweise Wissenschaftsdisziplinen, die den naturwissenschaftlichen Vorlauf für die Weiterentwicklung der von uns als „Schlüsseltechnologien“ bezeichneten Techniken schaffen. Ein ernstzunehmendes, lesenswertes Buch!

Es sind keine lebensfernen Träumer, die hier generell den technischen Fortschritt ablehnen und einem einseitigen Wissenschaftspessimismus frönen würden. Doch es wird berechtigterweise nach dem Preis gefragt, den wir schon heute und erst recht in Zukunft für manchen „Fortschritt“ auf wissenschaftlich-technischem Gebiet zu zahlen haben. Das ist keineswegs ein undifferenziertes Eifern gegen Genmanipulation und Tierversuche, Umweltverschmutzung und Kernkraftwerke. Es ist davon auszugehen, wie Erpenbeck im Nachwort bemerkt, daß Informationen und Ansichten von Schriftstellern sich nicht wesentlich von denen der gesamten Bevölkerung unterscheiden. Sie – und das ist sicher legitim – reagieren lediglich empfindlicher auf Stimmungen und Stimmungsumschwünge in der Gesellschaft. Und diese Gesellschaft – d. h. wir alle – hat ein Recht auf die Beantwortung der von ihr gestellten Fragen!

Die uns heute umgebende Wirklichkeit ist maßgeblich bestimmt durch ein unendlich kompliziertes Beziehungsgefüge positiver, aber auch negativer Folgen der jüngsten Entwicklung von Wissenschaft und Technik. Es ist auch nicht mehr möglich, diese Entwicklung isoliert von der Position unserer Republik oder der im RGW vereinten sozialistischen Länder zu sehen. Wir haben zu akzeptieren, daß den ganzen Erdball umfassende Probleme zunehmend das Leben jedes einzelnen beeinflussen und in Zukunft noch viel stärker betreffen werden.

Wir haben gelernt, daß die Folgen der wissenschaftlich-technischen Revolution auch in einem sozialistischen Staat, in dem die entscheidenden Produktionsinstrumente nicht mehr in der Hand einzelner Unternehmer oder Interessengruppen sind, nicht automatisch nur Gutes bedeuten. Bereits 1979 konstatierte Wolfgang Heyl, daß auch unter sozialistischen Produktionsbedingungen sich die Wahrheit der von einem der Klassiker des Marxismus getroffenen Aussage bitter bestätigen kann: „Schmeicheln wir uns nicht zu sehr mit unseren menschlichen Siegen über die Natur. Für jeden solchen Sieg rächt sie sich an uns. Jeder hat in erster Linie zwar die Folgen, auf die wir gerechnet haben, im Auge, aber in zweiter und dritter Li-

nie hat er ganz andere, unvorhergesehene Wirkungen, die nur zu oft jene ersten Folgen wieder aufheben ... Und so werden wir bei jedem Schritt daran erinnert, daß wir keineswegs die Natur beherrschen, wie ein Eroberer ein fremdes Volk beherrscht, wie jemand, der außer der Natur steht, sondern daß ... unsere ganze Herrschaft über sie darin besteht, ... ihre Gesetze erkennen und richtig anwenden zu können.“ (Friedrich Engels)

Als christliche Demokraten sehen wir in dieser Aufforderung des marxistischen Philosophen die Übereinstimmung mit dem biblischen Auftrag zur Erhaltung und Bewahrung der uns übergebenen Schöpfung, die Aufgabe, diese unsere Welt nicht nur für uns zu nutzen und auszubeuten, sondern sie so zu gestalten und zu erhalten, daß sie für die Generationen nach uns lebenswert und bewohnbar erhalten wird. Voll und ganz ist unserm Parteivorsitzenden Gerald Götting zuzustimmen, wenn er auf dem 16. Parteitag auf die großen Möglichkeiten, aber auch die Notwendigkeit verwies, das Gleichgewicht zwischen Mensch und Natur zu wahren oder wiederherzustellen. „Damit Hand in Hand muß allerdings die Einsicht gehen, daß der Mensch ein Teil der Natur ist und dementsprechend zu handeln hat. Deshalb wirken wir in unserer ideologischen Arbeit darauf hin, daß überall, wo das noch nicht geschieht, Verantwortungsbewußtsein an die Stelle von Egoismus und Gedankenlosigkeit tritt und daß davon ausgegangen wird: Es gibt nur eine Menschheit und eine Erde, mit der und von der wir leben.“

Eine neue Wissenschaftsdisziplin, die aus der Molekulargenetik hervorgegangene Gentechnik (englisch: „genetic engineering“, im folgenden auch „Gentechnologie“ genannt) wirft hinsichtlich der von ihr ausgehenden Möglichkeiten – aber auch Gefahren – besonders viele Fragen auf. Die öffentliche Diskussion dieses Problemkreises steht bei uns noch am Anfang: 1983 erschien von Reinhard Piechocki ein informatives Buch mit dem Titel: „Genmanipulation, Frevel oder Fortschritt“ (Urania Verlag); 1984 und 1985 gab es in der Zeitschrift „Sinn und Form“ eine Kontroverse zwischen dem Berliner Molekulargenetiker Erhard Geißler und einzelnen Schriftstellern über potentielle Gefahren dieser neuen Technik. Dieser Dialog zwischen Wissenschaftlern und Künstlern wurde in der Gaterslebener Begegnung 1987 fortgesetzt. Erhard Geißler nahm auch im Heft aus Burgscheidungen Nr. 245 (1987) zu dem Problemkreis der ethischen Verantwortung der Gentechniker Stellung.

Das genannte Buch von Fritz Erpenbeck artikuliert Fragen an die Vertreter der neuen biologischen Techniken. Immer wie-

der wird dabei die Frage nach dem „Verantwortbaren“ gestellt, nach einer Ethik der Gentechnologie. Die Diskussion dieser Frage kann nicht auf einen kleinen Zirkel „Eingeweihter“ beschränkt bleiben. Mögliche Folgen – gute und schlechte – betreffen alle Mitglieder der Gesellschaft. Ein Gebot sozialistischer Demokratie ist es daher, über das Machbare zu informieren, perspektivische Möglichkeiten – soweit sie heute gesehen werden – zu benennen und einen möglichst breiten gesellschaftlichen Konsens darüber zu erzielen, welche Zielstellungen mit Hilfe der neuen Techniken anzuvisieren sind. Dabei sind ethische Überlegungen zur Verantwortung gegenüber dem Leben und der uns umgebenden Natur, nicht nur wirtschaftlich-utilitaristische Zweckvorstellungen, in den Entscheidungsprozeß einzubeziehen.

Bei der Wahrnehmung seiner Verantwortung ist der Wissenschaftler hier besonders auf die Stellungnahme der Gesellschaft zu seinen Forschungsvorhaben angewiesen. In diesem Zusammenhang sind pauschale Verdammungsurteile, wie sie z. B. Jurij Brezanin in „Sinn und Form“ 1979 äußerte, wenig hilfreich: „Die genetischen Forschungen, die uns über kurz oder lang in die Lage versetzen werden, in das Wesen der Menschen überhaupt einzugreifen, zählen zu den schrecklicheren Dingen. Das was hier kommen kann, ist so schaurig, daß man es nicht ausmalen kann. Hier könnte die Wissenschaft ein anderes, ein unblutiges Ende der Menschheit vorbereiten: das Ende der Menschen, wie wir den Menschen sehen. Ich jedenfalls habe Angst vor den Biologen, und ich fürchte, wir müssen alle Angst haben.“

Ebenso abzulehnen ist jedoch der letztlich arrogante und dem Wesen der sozialistischen Demokratie fremde Anspruch mancher Wissenschaftler, alleine im Besitz der für eine Entscheidungsfindung notwendigen Sachkenntnisse zu sein und dem „Laien“ jedes Einspruchsrecht abzusprechen. Notwendig im Interesse einer sachgerechten Diskussion des Gegenstandes und der Anwendungen gentechnologischer Forschungen ist jedoch ein Mindestmaß an Information bei allen daran Beteiligten. Christliche Demokraten sollten gerade aufgrund ihrer weltanschaulichen Position und ihres nachgewiesenen Engagements für die Verbesserung und Gestaltung dieser unserer Welt Anteil an dieser Diskussion nehmen.

Dabei ist zu beachten, daß diese Diskussion permanent sein muß und bestimmte Problemkreise keineswegs abschließend behandelt werden können. Neue wissenschaftliche Ergebnisse und gesellschaftliche Erfahrungen werden immer wieder neue Gesichtspunkte, die bei der Entscheidungsfindung zu berücksichtigen sind, in die Diskussion einbringen. In diesem Zusam-

menhang sind die in dieser Studie vorzubringenden Argumente und Standpunkte zu ethischen Fragen der Gentechnik zu verstehen, die – geschrieben aus der Perspektive des Jahres 1988 – einer ständigen Revision und Überarbeitung bedürfen werden.

Nicht berücksichtigt werden hier Fragen der Anwendung gentechnischer Methoden beim Menschen. Potentielle Eingriffe in das menschliche Erbgut bewegen heute heftig die Befürworter und Gegner gentechnischer Manipulation. Hier beruht jedoch noch vieles auf reiner Spekulation, in die sich der Autor nicht begeben wollte. Zudem würde die Dimension der hier angesprochenen ethischen, juristischen und wissenschaftlichen Fragestellungen den Rahmen dieser Studie sprengen und könnte nicht adäquat behandelt werden. Allerdings macht der Verfasser kein Hehl aus seiner Überzeugung, daß zwar über Genom-Analyse, pränatale Diagnostik, unter Umständen auch über somatische Gentherapie diskutiert werden kann, daß aber Eingriffe in die Keimbahn des Menschen aus grundsätzlichen human-ethischen Erwägungen abzulehnen sind und weder zum Gegenstand der Forschung noch der medizinischen Anwendung werden dürfen.

I. Was ist Gentechnik?

Die Manipulation mit Erbanlagen auf molekularem Niveau ist heute eine Routinemethode in Hunderten, ja Tausenden biologischer Laboratorien. Die kleinsten Einheiten der Vererbung, die Gene, sind verfügbar geworden. In einem schwindelerregenden Tempo werden die Techniken zur Isolierung, Analyse und Neukombination der Gene weiterentwickelt. Während noch vor zehn Jahren nur wenige molekular-biologische Laboratorien mit extremer Ausstattung einige ausgewählte Modellsysteme bearbeiten konnten, wird heute die Entwicklung auf breiter Front vorangetrieben, und die Mehrzahl biologischer Forschungsrichtungen nutzt die neuen Techniken in immer stärkerem Umfang. Die Biologie, die Wissenschaft vom Leben, befindet sich in einer beispiellosen Umbruchphase – höchstens vergleichbar mit der Entwicklung der Physik in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts. Wie kam es dazu, und worauf beruht dieser wahrhaft revolutionäre Prozeß?

An dieser Stelle können nur einige Linien dieser Entwicklung nachgezeichnet werden. Erst seit 1944 weiß man durch die Untersuchungen des Bakteriologen Oswald T. Avery, daß Desoxyribonukleinsäure (DNA), eine in allen pflanzlichen und tierischen Zellen sowie in Mikroorganismen anzutreffende hochmolekulare Substanz, der stoffliche Träger der Erbanlagen ist. Knapp zehn Jahre später wurde durch die späteren Nobelpreisträger Francis Crick und James Watson die räumliche Struktur dieses Riesenmoleküls aufgeklärt: Die Grundbausteine der DNA sind in einer Doppel-Spirale angeordnet, deren spezifische Struktur durch die Aufeinanderfolge der vier DNA-Basen Adenin, Guanin, Cytosin und Thymin bestimmt ist.

Wir wissen heute, daß jeweils drei dieser Basen den genetischen Code (Kodon) für jeweils eine Aminosäure, den Grundbaustein eines Eiweißes, bilden. Aus einer Art molekularbiologischer Mathematik ergibt sich, daß für die Kombination von drei der „genetischen Buchstaben“ sich $4^3 = 64$ unterschiedliche Möglichkeiten der Codierung ergeben. Eiweiße sind jedoch immer nur aus 20 verschiedenen Aminosäuren zusammengesetzt. Somit ist dieses molekulare Alphabet mehr als ausreichend, um die ungeheure Vielfalt der in der belebten Natur vorhandenen Eiweiße genetisch festzulegen. Im Verlauf der Arbeiten zur Aufklärung des genetischen Codes fand man dann auch, daß eine Aminosäure nicht nur durch eine, sondern durch mehrere, unterschiedliche Anordnungen der Basen in jenem Dreierverbund bestimmt wird.

Die Arbeiten zur Aufklärung des genetischen Codes und die Erkundung des Weges, den die Umsetzung der auf dem line-

aren DNA-Molekül gespeicherten genetischen Information zu einer spezifischen Aminosäuresequenz nimmt, waren im wesentlichen Mitte der sechziger Jahre abgeschlossen. Zu diesem Zeitpunkt wurde zum gesicherten Grundlagenwissen, daß ein Gen einen kleinen Abschnitt auf dem DNA-Molekül umfaßt, der durch Start- und Stoppsignale begrenzt ist und in Form aneinandergereihter Kodonen die Information für die Synthese eines spezifischen Proteins enthält.

Eine Vorstellung über die Menge der in einer Zelle gespeicherten genetischen Information geben die von R. Piechocki in seinem erwähnten Buch genannten Zahlen: „Die DNA des Bakteriophagen mit dem Namen ϕ X 174, eins der kleinsten bakteriellen Viren, enthält 5 374 Nukleotide. Die aneinandergereihten Symbole der DNA-Basen A, G, C und T für die 5 374 Nukleotide lassen sich auf einer Seite darstellen. Will man dies mit der DNA von Escherichia-coli-Bakterien tun, die eine Längendimension von etwa zwei tausendstel Millimeter hat, so würde man für die 3 000 bis 4 000 Gene bereits 2 000 Buchseiten benötigen. Für das Niederschreiben der genetischen Information der menschlichen DNA einer einzigen Zelle wären dagegen 500 000 Seiten nötig! Dieses Beispiel zeigt nicht nur die ungeheure Komplexität der Struktur und Funktion der DNA, sondern es vermag auch zu verdeutlichen, wie faszinierend die neuen Methoden der genetischen Manipulation sind, die es erlauben, gezielt einzelne Gene aus dieser ungeheuren Informationsmenge zu gewinnen und sie dann in Bakterienzellen einzuschleusen.“ Davon war man freilich zu jenem Zeitpunkt noch weit entfernt.

Umwälzende Entdeckungen

Zwei wissenschaftliche Entdeckungen, die man bereits in den fünfziger und sechziger Jahren machte, erwiesen sich später jedoch als wesentlich für die heute angewandten Methoden der genetischen Manipulation:

1. 1956 isolierte der amerikanische Biologe Joshua Lederberg kleine, ringförmige DNA-Moleküle, die neben dem Chromosom der Bakterien, auf dem die Hauptmenge der genetischen Information gespeichert ist, selbständig existieren. Es stellte sich heraus, daß diese sogenannten Plasmide Träger der bis dahin rätselhaft erscheinenden Antibiotika-Resistenz sind. Eine ähnliche Größenordnung weist die DNA von Bakterienviren (Bakteriophagen) auf. Phagen selbst sind so einfach aufgebaut, daß sie eigentlich nicht mehr als Lebewesen be-

trachtet werden können. Sie sind Parasiten der Bakterienzelle und können sich nur vermehren, wenn sie in eine bakterielle Wirtszelle eingedrungen sind und den Stoffwechsel der Bakterienzelle für ihre eigene Vervielfältigung nutzbar gemacht haben. Plasmide und Bakteriophagen wie auch die DNA pflanzlicher und tierischer Viren werden heute als „Transportmittel“ (Vektoren) für isolierte Gene genutzt.

2. Der Schweizer Biologe Werner Arber klärte Anfang der sechziger Jahre einen bakteriellen Schutzmechanismus auf, der zunächst nur für die Grundlagenforschung von Interesse zu sein schien: Nach dem Befall durch Bakteriophagen bilden Bakterien sogenannte Restriktionsenzyme aus, die die eindringende Fremd-DNA des Virus zerschneiden und somit unwirksam machen. Die weitere Erforschung dieser Restriktionsenzyme führte zu einer Überraschung: „Anfang der siebziger Jahre entdeckten Herbert Boyer und seine Mitarbeiter von der Stanford-Universität, daß eins dieser Restriktionsenzyme, Eco R1, die DNA nicht beliebig, sondern nur an bestimmten Stellen zerschneidet. Heute sind bereits mehrere hundert solcher spezifisch wirkenden Restriktionsenzyme bekannt und werden kommerziell angeboten. Ein molekulares Skalpell, das DNA an bestimmten Stellen aufzuschneiden vermag, war gefunden! Im Zusammenhang mit der Entdeckung eines weiteren Enzyms, DNA-Ligase, das als eine Art molekularer Kitt die geschnittenen Enden wieder zusammenzufügen vermag, war nun das prinzipielle Handwerkszeug für die potentiellen Gentechnologien verfügbar.

Das Schlüsselexperiment

Das Schlüsselexperiment der Gentechnologie ließ nun nicht mehr lange auf sich warten: „Mit Hilfe der ... Technik der Neuverknüpfung von DNA-Molekülen gelang es Stanley Cohen, einem der führenden Spezialisten auf dem Gebiet der Plasmidforschung, zwei Plasmidarten zu kombinieren. Das von ihm charakterisierte Plasmid pSC 101, für das er mit seinen Initialen bereits Namenspatron war, trägt einen Resistenzfaktor gegen das Antibiotikum Tetrazyklin. Er isolierte die Plasmid-DNA, schnitt sie mit dem Eco-R1-Enzym auf und verknüpfte es mit einem zweiten aufgeschnittenen Plasmid, das diesem Plasmid die Fähigkeit zur Resistenz gegen Kanamycin (ein zweites Antibiotikum) verleiht. Die Enden wurden mit dem Enzym Ligase verschweißt ... 1972 gelang es Stanley Cohen, dieses künstliche Plasmid in Bakterien einzuschleusen, nachdem die Bakterien durch Calciumvorbehandlung ,emp-

fängnisbereit' gemacht worden waren" (R. Piechocki). Das Einbringen einer zweiten Antibiotika-Resistenz (Kanamycin) erleichterte wesentlich das Herausfinden „transformierter“ Zellen unter der großen Anzahl der Zellen, die das künstlich geschaffene Riesenplasmid nicht enthielten: Auf einem Nährboden, der die Antibiotika Kanamycin und Tetracyclin enthielt, waren nur die transformierten Bakterien mit der „Doppelresistenz“ lebensfähig.

Stanley Cohen selbst kommentierte seinen Erfolg als einen „Bruch der Schranken, die normalerweise biologische Arten voneinander trennen“ (R. Piechocki), und hatte damit ein wesentliches Kennzeichen der späteren, weit höher entwickelten Techniken des „genetic engineering“ in einem prinzipiellen Versuch erstmalig nachgewiesen. „Spektakulär an Cohens Leistung war die Demonstration, daß in die Plasmide prinzipiell jedes fremde Gen mit Hilfe der neuen Gentechnologie inkorporiert und transportiert werden kann. Somit können Bakterien als Vervielfältigungsmaschinen für Gene beliebiger Herkunft eingesetzt werden“, schreibt Piechocki. Mit dem von Herbert Boyer und Stanley Cohen 1973 publizierten Artikel „Construction of Biological Functional Bacterial Plasmids in vitro“ beginnt das Zeitalter der Gentechnologie.

Heute verstehen wir unter Gentechnologie Verfahren zur Isolierung genetischen Materials, zur Bildung neuer Kombinationen von genetischem Material und zur Vermehrung der neu kombinierten Nukleinsäuren in eventuell neuer, unnatürlicher Umgebung. Reproduktionstechnologien, die auf der Verschmelzung von Samen- und Eizellen – analog zur normalen Befruchtung eines Säugers – beruhen und nur an verändertem Ort – im Reagenzglas (in vitro) anstelle der Gebärmutter – durchgeführt werden, sollen hier nicht als Gentechnologie verstanden werden. Daher werden mit diesen Techniken zusammenhängende ethische Fragen in dieser Darstellung nicht erörtert.

Bevor wir uns generell den Fragen der Verantwortung von Wissenschaftlern und Gesellschaft, den Möglichkeiten des Mißbrauchs bei der Anwendung der neuen Techniken zuwenden, halte ich es für hilfreich, im Interesse einer sachlichen Diskussion dieses Fragenkomplexes, der ja weitgehend die perspektivischen Möglichkeiten der Anwendung von DNA-Rekombinationstechniken einschließt, zunächst auf die bis heute erreichten Ergebnisse einzugehen.

II. Was Gentechnik heute vermag

a) In der Grundlagenforschung

Bei den vielen spektakulären Erfolgen, die durch die Anwendung gentechnischer Methoden in verschiedenen Bereichen der Biotechnologie erreicht werden konnten, wird in der interessierten Öffentlichkeit häufig übersehen, welche dramatischen Fortschritte durch die Anwendung der Gentechnik für den Erkenntnisgewinn im Bereiche der molekularbiologischen Grundlagenforschung, insbesondere bei der Aufklärung der Struktur, Organisation und Funktion des Erbgutes (Genom) in den letzten zehn Jahren erreicht werden konnte. Hier wird ein interessanter dialektischer Vorgang sichtbar: Gentechnik, hervorgegangen aus zunächst isoliert und unzusammenhängend erscheinenden Erkenntnissen biologischer Grundlagenforschung, trägt nun ihrerseits, als Methode entwickelt, zu weiterem Erkenntnisgewinn entscheidend bei.

Eine zentrale Aussage der klassischen Molekularbiologie der sechziger wurde von dem bereits erwähnten Francis Crick als Dogma formuliert: DNA → RNA → Protein. Mit anderen Worten: vor der Übersetzung (Translation) der auf den Chromosomen gespeicherten genetischen Information zu einer spezifischen Aminosäuresequenz (Eiweiß) kommt es in der Zelle zu einer Umschreibung (Transkription) dieser Information von der Desoxyribonukleinsäure (DNA) auf eine andere Nukleinsäure, die Boten-Ribonukleinsäure (englisch: messenger ribonucleic acid = mRNA), die die gleiche Sequenz spiegelbildlich (komplementär) enthält.

Die prinzipielle Gültigkeit dieses Ablaufes wurde in zahlreichen gentechnischen Experimenten nachgewiesen. Am Beispiel des Gens für Ovalbumin zeigten Forscher der Universität Strasbourg jedoch erstmalig, daß nicht die gesamte Sequenz des Gens in mRNA umgeschrieben wird. Bereits 1977 fanden Chamberon und Mitarbeiter, daß innerhalb des Ovalbumin-Gens bestimmte Segmente in der resultierenden mRNA nicht enthalten waren. Später zeigte sich, daß das gesamte Ovalbumin-Gen 7700 Nukleotide enthält und damit etwa viermal größer ist als die mRNA, die nur 1872 Nukleotide besitzt. Aus diesem Befund ergibt sich, daß in diesem Gen Abschnitte, die über die mRNA zum Ovalbumin-Eiweiß umgesetzt werden, von großen Bereichen „nichtkodierender“ Sequenzen unterbrochen sind. Wir bezeichnen diese nichtkodierenden Sequenzen als Introns, die kodierenden Abschnitte des Gens dagegen als Exons.

Eine solche Struktur konnte inzwischen für die Mehrzahl

der aus tierischen und pflanzlichen Zellen isolierten Gene nachgewiesen werden. Verantwortlich für dieses Phänomen, so wissen wir heute, ist das „Herausspleißen“ (englisch: splicing) der nichtkodierenden Abschnitte aus einem kurzlebigen Ribonukleinsäure-Molekül, das letztlich zur Ausbildung des endgültigen, „gekürzten“ mRNA-Moleküls führt. Interessanterweise besitzen Bakterien-Gene keine solchen Intronabschnitte. Daraus ließe sich beispielsweise folgern, daß die heute lebenden Bakterien keineswegs als Vorfahren der pflanzlichen und tierischen Zellen anzusehen sind.

Molekulare Archäologie

Forschungen dieser Art führten zur Ausbildung einer Wissenschaftsdisziplin, die sich vielleicht als „molekulare Archäologie“ bezeichnen ließe. Was ist darunter zu verstehen? Ausgefeilte gentechnische Methoden erlauben heute die Isolierung und Analyse großer DNA-Abschnitte. Im Falle des Ovalbumin-Gens konnte ein sehr großes DNA-Fragment (40 000 Nukleotide) isoliert und analysiert werden. Dabei stellte sich heraus, daß auf diesem DNA-Fragment die genetische Information nicht nur für das Ovalbumin, sondern auch für zwei weitere Gene enthalten war, die eine dem Ovalbumin-Gen sehr ähnliche Sequenz aufwiesen. Chambon und Mitarbeiter kalkulierten auf der Basis der beobachteten Differenzen zwischen den drei Genen, die alle offensichtlich aus einer gemeinsamen Vorstufe gebildet worden waren, unter Zugrundelegung einer durchschnittlichen Mutationsrate (Anzahl der Basenaustausche in einer gegebenen Zeiteinheit), daß sich die Ovalbumin-Gene in ihrer heutigen Form durch Verdoppelung (Duplikation) vor etwa 50 Millionen Jahren ausgebildet haben.

Die Familie der Globin-Gene ist ein weiteres Beispiel für die bemerkenswerte Konservierung von Exon-Intron-Strukturen im Verlaufe der Evolution. Aufgrund von Sequenzvergleichen bei Alpha- und Beta-Globulin-Genen wissen wir heute, daß diese bereits sehr viel früher – vor etwa 500 Millionen Jahren – in ihrer heutigen Form existierten und aus einer gemeinsamen Ausgangsform durch Genverdoppelung entstanden sind.

Wir bezeichnen den oben geschilderten Gentyt als Mosaikgen (split gene). Diese Mosaik-Gene bestehen aus stabilen Teilen mit einer geringen Mutationsrate, die für das Genprodukt (Eiweiß) kodieren, und einem variablen Teil, der durch Ausfälle (Deletionen) und Hinzufügungen (Insertionen) größerer DNA-Abschnitte vielfachen Veränderungen unterliegt. Die nichtkodierenden Regionen (Introns) sind häufig zehnmal grö-

ßer als die kodierenden (Exons). Diese Tatsache erklärt zumindestens teilweise die Diskrepanz zwischen der Anzahl funktioneller Gene im Kern einer menschlichen Zelle, die auf etwa 50 000 geschätzt wird, und der im Zellkern festgestellten DNA-Menge, die für 50- bis 100mal mehr Gene ausreichen würde.

Gene und Vererbung

Der Auflösung eines weiteren „biologischen Rätsels“ sind die Forscher in den letzten Jahren zunehmend nähergekommen. Wenn man davon ausgeht – und es gibt keine gegenteiligen Befunde –, daß in der omnipotenten Zelle eines Embryos die gleiche genetische Information wie in einer differenzierten Gewebezelle eines erwachsenen Menschen enthalten ist, so ist beispielsweise die ungeheure Vielfalt der durch das menschliche Immunsystem gebildeten Antikörper nicht zu erklären. Wie können Millionen von unterschiedlichen Antikörpern durch eine relativ begrenzte Anzahl von Genen kodiert werden?

Die Antwort, die wir heute geben können, ist – stark vereinfacht – folgende: Keimzellen (Embryozellen) beinhalten eine Art genetischer Grundausstattung für die Ausbildung von Antikörpern. Diese Grundausstattung mit genetischen Primärelementen wird im Verlaufe der Differenzierung und Ausbildung der spezialisierten B-Lymphozyten-Zellen in unterschiedlichster Weise zusammengesetzt und kombiniert. Jede der Millionen B-Lymphozyten-Zell-Linien erhält eine unterschiedliche Gen-Ausstattung, indem lediglich drei Sätze zu je 100 Genen, also insgesamt 300 Gene, durch Umverteilung so unterschiedlich zusammengefügt werden, daß mehr als eine Millionen verschiedener Antikörper durch das menschliche Lymphozyten-System produziert werden können.

Die Entdeckung, daß das in den Zellen enthaltene Erbmateriale – im Gegensatz zu der noch in den sechziger Jahren gültigen Lehrmeinung – keineswegs hochgradig festgelegt ist, sondern einer eigenen Dynamik unterliegt, ist eine der aufregendsten Erkenntnisse, die wir bis heute durch die Anwendung gentechnischer Methoden gewonnen haben.

Nun wird aber die in den Genen festgelegte genetische Information keineswegs immer in gleicher Weise abgerufen und zu den jeweiligen Gen-Produkten umgesetzt. Vielmehr unterliegt sie vielfältigen Steuerungsmechanismen. Zur Aufdeckung dieser Mechanismen hat die moderne Virusforschung wesentlich beigetragen. So haben wir gelernt, daß manche Gene sich in ihrem Aufbau sehr stark ähneln. Zu den Genen, wo dies

eine Rolle spielt, gehören die Tumor-Gene, die die Entstehung von Krebserkrankungen einleiten können. Es handelt sich hier um eine Klasse von etwa 30 Genen, die in allen Zellen unseres Organismus vorliegen. Sie können auf verschiedene Weise, zum Beispiel durch Mutation oder durch Genumlagerungen, aktiviert werden, um dann eine vorher gesunde Zelle in eine Krebszelle umzuwandeln. Die komplexen Wechselbeziehungen bei der Steuerung dieses Vorgangs beginnen wir allmählich zu verstehen.

Wird etwa eine menschliche Zelle durch eine bestimmte Art von Krebsviren (Adenoviren) infiziert, so wird zunächst nur eines der etwa 40 in dem Virusgenom enthaltenen Gene eingeschaltet. Das Produkt dieses Schlüsselgens bindet anschließend an vier andere Bereiche auf dem Chromosom und führt zur Anschaltung von Genen, die letztlich der Vermehrung des Virus dienen und dessen Produktion bewirken. Von grundlegender Bedeutung ist in diesem Zusammenhang, daß dieses Virus-Eiweiß auch die Ausprägung zellulärer Gene der infizierten Körperzelle beeinflusst, um diese so für seine Bedürfnisse umzufunktionieren: Einige Gene werden angeschaltet, andere abgeschaltet, so daß das Virus sich optimal vermehren kann.

b) In der Biotechnologie

Das erste Anwendungsgebiet, in dem sich die Erfolge der neuen Technologie bereits klar abzeichnen beginnen, ist die pharmazeutische Industrie. Allerdings ist auch hier – ähnlich anderen potentiellen Anwendungsgebieten – festzustellen, daß der ursprünglich erwartete Zeithorizont für die Durchsetzung gentechnologisch hergestellter Produkte stark unterschätzt worden ist. Trotz des rasanten Fortschritts der Grundlagenforschung läßt – aus mannigfaltigen Gründen – die industrielle Anwendung der erreichten Laborresultate noch vielfach auf sich warten.

Bereits 1977 wurde von Boyer, einem der Mitbegründer der 1976 etablierten Gentechnik-Firma Genentech, San Francisco, die erste durch Bakterien durchgeführte Synthese von Somatostatin, einem Säuger-Hormon, bekanntgegeben. In diesem Falle hatten es die Forscher verhältnismäßig einfach, da Somatostatin ein sehr kleines Molekül ist, das nur aus 14 Aminosäuren besteht. Es war daher nicht notwendig, eine aufwendige Isolierung des Gens aus der Vielzahl anderer Gene (mehrere 10 000!) durchzuführen. Vielmehr war es hier möglich, die bekannte Aminosäuresequenz in den genetischen Code „rückzuübersetzen“ und ein künstliches Gen, bestehend aus

$3 \times 14 = 42$ Nukleotiden, zu synthetisieren. Anschließend wurden die Zellen des Darmbakteriums *Escherichia coli* mit einem rekombinanten Plasmid transformiert, in dem das künstliche Gen mit der Sequenz eines bakteriellen Gens verknüpft worden war. Die transformierten Bakterien produzierten ein Hybridmolekül, das auch die 14 Aminosäuren des Somatostatinpeptids enthielt. Daraus ließ sich Somatostatin selbst durch chemische Abspaltung gewinnen. Der Erfolg war erstaunlich: 100 Gramm des Darmbakteriums produzierten 5 Milligramm Somatostatin – die gleiche Menge, die vorher von 100 Tonnem Schafgehirnen extrahiert werden konnte!

Künstliches Insulin

Nur wenig später zeichnete sich ein weit größerer kommerzieller Erfolg der Gentechniker ab. Den Arbeitsgruppen um Arthur Riggs und Roberta Creawar es gelungen, Insulin-Gene künstlich herzustellen. Allerdings waren hier die Bedingungen für eine erfolgreiche bakterielle Synthese weitaus komplizierter als im Falle des Somatostatins. In der Bauchspeicheldrüse – also unter natürlichen Bedingungen – wird zunächst ein sogenanntes Prepro-Insulin gebildet, das aus insgesamt 109 Aminosäuren besteht. Während der Passage durch die Zellmembran werden die ersten 23 Aminosäuren des Moleküls abgespalten. Die restliche Sequenz, das sogenannte Pro-Insulin, besteht aus drei Segmenten. Dabei verbindet die mittlere C-Kette die äußeren A- und B-Ketten. Erst nach dem Herausspalten der mittleren C-Kette wird aus A- und B-Kette das funktionelle Insulin gebildet.

Da Bakterien nicht über die Mechanismen verfügen, die ein solches „Verkürzen“ der Sequenzen hin zum aktiven Insulin gewährleisten, schien die chemische Synthese der DNA-Abschnitte, die die A- und B-Kette kodieren, der einzige Weg für eine erfolgreiche bakterielle Synthese des Insulins zu sein. Ähnlich der bei Somatostatin angewandten Strategie wurde von einer Arbeitsgruppe bei Genentech (Goeddel und Mitarbeiter) die genetische Information für die A- bzw. B-Kette des Insulins getrennt an ein bakterielles Gen gehängt und nach erfolgter Synthese in den Bakterien chemisch abgespalten, gereinigt und im Reagenzglas miteinander verknüpft. Ein funktionsfähiges Insulinmolekül war die Folge dieser Prozedur. Eine zweite Strategie führte ebenfalls zum Erfolg. Nach Einführung des Pro-Insulin-Gens in die Darmbakterien wurde das synthetisierte Pro-Insulin zu aktivem Insulin „prozessiert“. Erstaunlich waren die in beiden Fällen erhaltenen Ausbeuten.

Es war möglich, 200 Gramm Insulin aus 1 000 Liter Fermentationslösung zu gewinnen. Für die gleiche Menge werden etwa 1 600 Kilogramm Schweine- oder Rinder-Bauchspeicheldrüsen benötigt.

Wie ist die hohe Effektivität gentechnisch manipulierter Bakterien zu erklären?

Durch das Einbringen rekombinanter Plasmide liegt die jeweilige genetische Information in einer Bakterienzelle nicht wie in der „normalen“ Zelle in nur einer Kopie vor, sondern es können bis zu mehreren Hundert identischer Plasmide nebeneinander existieren. Entsprechend vervielfacht sind die auf ihnen enthaltenen genetischen Informationen. Dadurch wird die Syntheserate der Genprodukte in der Zelle drastisch erhöht. Wir sprechen von einem Gen-Dosis-Effekt. Hinzu kommt, daß die Gentechniker heute ein ganzes Spektrum von sogenannten regulatorischen Sequenzen zur Verfügung haben, die, vor das eigentliche Struktur-Gen geschaltet, zu einer weiteren Erhöhung der Syntheserate in der Zelle beitragen. Es sind heute Beispiele bekannt, wo 50 Prozent und mehr des gesamten zellulären Eiweißes von einem einzigen Genprodukt gebildet werden.

Doch kehren wir zum Beispiel Insulin zurück. Nach langjährigen klinischen Untersuchungen wurde 1983 das erste gentechnisch erzeugte Human-Insulin unter dem Handelsnamen Humulin von einer amerikanischen Firma auf den internationalen Pharma-Markt gebracht. Die Größe des Marktes wird durch folgende Zahlen deutlich: Von insgesamt 60 Millionen Diabetikern werden etwa vier Millionen mit Insulin behandelt, allein in den USA 1979 1,8 Millionen.

Gentechnisch erzeugte Heilmittel

Weitere Beispiele für gentechnische Pharmazeutika sind Interferon und menschliches Wachstumshormon (Somatotropin), die 1984 auf den Markt kamen. Jedoch haben sich bei den Interferonen die ursprünglichen Hoffnungen, hier eine „Wunderdroge“ gegen den Krebs in der Hand zu haben, nicht erfüllt. Allerdings konnten erst, nachdem die Interferone in ausreichender Menge herstellbar waren, exakte klinische Untersuchungen aufgenommen werden. Noch vor wenigen Jahren kostete das aus natürlichen Quellen gewonnene Interferon etwa 20 Millionen DM pro Gramm, heute kann es für wenige tausend DM hergestellt werden.

Nach dem Human-Insulin ist das nächste Produkt, das Kranken zugute kommen wird, der Plasminogen-Aktivator. Dies ist

ein Eiweiß, das Blutgerinnsel gezielt wieder auflöst. Das ist therapeutisch wichtig, weil solche Blutgerinnsel Gefäße verschließen und dadurch zu Infarkten führen können. Die ersten Versuche an etwa 400 Herzinfarkt-Patienten in den USA zeigen, daß der aus Zellkulturen gewonnene Wirkstoff tatsächlich in der Lage ist, den Blutpfropf aufzulösen und damit den Kranken aus der lebensbedrohenden Situation zu befreien. Die Heilungsrate liegt bei etwa 65 Prozent, was einen dramatischen therapeutischen Fortschritt bedeutet.

Den Fortschritt, den gentechnische Methoden seit den Pionierarbeiten Mitte und Ende der siebziger Jahre gemacht haben, belegt das Beispiel „Blutgerinnungsfaktor VIII“ besonders eindrucksvoll, und es soll daher in diesem Abschnitt abschließend Erwähnung finden. Wir erinnern uns, daß Somatostatin und Insulin aus 14 bzw. 109 Aminosäuren zusammengesetzt sind. Das Eiweiß des Faktors VIII besteht aus 2 332 Aminosäuren. Ist diese Zahl schon eindrucksvoll, so wird man vollends beeindruckt, wenn man erfährt, daß das Gen, das dieses Riesemolekül kodiert, aus 190 000 Basenpaaren besteht! Die für den Blutgerinnungsfaktor selbst kodierenden Regionen – sechsundzwanzig an der Zahl – sind über diese riesige DNA-Strecke verstreut angeordnet und machen nur etwa 5 Prozent des gesamten Gens aus.

Heute ist die Reihenfolge der Bausteine dieses Riesen-Gens aufgeklärt und seine gentechnologische Herstellung gelungen. Das ist auch insofern ein wichtiger Ansatz für einen therapeutischen Fortschritt, weil die Faktor-VIII-Isolierung aus Blutfraktionen wegen der Aids-Erkrankungen problematisch geworden ist. Es gibt nicht genügend Spender, und diejenigen, die den Faktor brauchen, haben Furcht, sich zu infizieren.

c) Zum Stand der Genforschung in der DDR

Falls sich der Leser durch den komplizierten vorangegangenen Teil hindurchgearbeitet hat – im Interesse einer sachbezogenen Diskussion über Chancen und Risiken der Gentechnik halte ich das jedoch für notwendig –, wird er nun wahrscheinlich fragen: Offenbar werden die bahnbrechenden Leistungen auf diesem Gebiet von amerikanischen Forschern, vielleicht auch von einigen westeuropäischen und japanischen Laboratorien durchgeführt. Gibt es eigentlich in der DDR Forschungseinrichtungen, die mit gentechnischen Methoden arbeiten, oder wird hier eine Problematik diskutiert, mit der wir eigentlich noch gar nichts zu tun haben? Darauf läßt sich antworten: Ja, es gibt sie, und die Anwendung gentechnischer Methoden wird

auf zunehmend breiterer Basis in immer mehr Forschungseinrichtungen unserer Republik durchgeführt.

Es ist hier nicht der Raum, auf alle diese Aktivitäten einzugehen, doch einige der bisherigen Ergebnisse sollen kurz vorgestellt werden, um den Entwicklungsstand in der DDR zu charakterisieren.

Als Pionier der Genforschung in unserer Republik ist zweifellos die Ende 1988 verstorbene *Sinaida Rosenthal*, Biochemie-Professorin an der Akademie der Wissenschaften der DDR, zu nennen. Zusammen mit ihren Mitarbeitern *Hahn*, *Coutelle* und *Tom Rapoport* gelang es ihr, mit der Isolierung und Sequenzaufklärung des Karpfen-Prepro-Insulins nachzuweisen, daß anspruchsvolle gentechnische Zielstellungen auch in DDR-Laboratorien durchführbar sind.

In der Zwischenzeit sind zahlreiche Projekte der Grundlagen- und angewandten Gentechnikforschung begonnen worden. Viele dieser Projekte wurden von *Sinaida Rosenthal* angeregt. Beispielsweise wurde von *Charles Coutelle* die Genom-Analyse zur Früherkennung möglicher Erbkrankheiten in menschlichen Embryonen (Föten) eingeführt. Von *Tom Rapoport* werden international stark beachtete Grundlagenforschungen auf dem Gebiet des Transports einzelner Genprodukte durch die zelluläre Membran geleistet. Ein weiterer Schwerpunkt der in der DDR durchgeführten Arbeiten ist die Virusforschung. Sie reicht von der Isolierung (Klonierung) einzelner Virusgene bis hin zu angewandten Fragen der Impfstoffherstellung mittels gentechnologisch gewonnener Produkte.

Ergebnisreiche Nutzung

Das erste Beispiel für die erfolgreiche industrielle Nutzung gentechnologischer Arbeiten in unserer Republik wurde im Zentralinstitut für Gentechnik der Akademie der Wissenschaften der DDR in Gatersleben erbracht. *Jürgen Hofmeister*, *Gerhard Steinborn* und dem Autor dieses Beitrages gelang die Konstruktion mikrobieller Produktionsstämme zur Herstellung von Enzymen unter Einsatz gentechnischer Methoden. Die manipulierten Bakterien werden im VEB Prowiko Schönebeck zur Gewinnung von Hilfsstoffen für die Lebensmittelindustrie verwendet. Im gleichen Institut besitzt die Gruppe um *Ulrich Wobus* langjährige Erfahrungen auf dem Gebiet gentechnischer Arbeiten und hat sich insbesondere um die Weitergabe von Methodenkenntnissen verdient gemacht. Wenn 1988 in der Tagespresse darüber berichtet werden konnte, daß es Forschern des AdW-Instituts für Tierzüchtung in Rostock-

Dummersdorf gelang, ein Rinderwachstumshormon-Gen nicht nur zu isolieren, sondern auch erfolgreich in die Keimbahn eines Rindes zu implantieren, so ist auch das der Zusammenarbeit mit der Gaterslebener Gruppe um *Ulrich Wobus* zu danken. Im März 1988 wurde in der DDR das erste Kalb mit gentechnisch implantiertem Wachstumshormon-Gen geboren.

Im Zentralinstitut für Mikrobiologie der AdW in Jena wurden in den letzten Jahren Verfahren für die Herstellung von Pharmaka wie Interferon und Streptokinase durch die Gruppen um *Horst Mahlke* und *Detlev Behnke* entwickelt.

In Gatersleben gelang die Klonierung pflanzlicher Speicherprotein-Gene. Nach Aufklärung ihrer Struktur befaßt man sich dort insbesondere mit den DNA-Sequenzen, die diesen Genen vor- und nachgeschaltet sind und eine Rolle bei der Steuerung ihrer Aktivität besitzen. Weiterhin ist man bemüht, diese Gene so zu verändern, daß die Eiweiße eine höhere ernährungsphysiologische Wertigkeit erhalten, und die künstlich veränderten Gene anschließend wieder in die Futterpflanzen zurück zu transferieren.

III. Fragen der ethischen Verantwortung

Die Ergebnisse der Gentechnologie haben heute noch nicht das Stadium erreicht, daß sie das Leben des einzelnen tiefgreifend beeinflussen. Der Eingriff in das menschliche Erbgut ist noch gänzlich unmöglich, herbizid-resistente Pflanzen wachsen noch nicht auf unseren Feldern, gen-manipulierte Rinder oder Schweine werden noch nicht in den Ställen gehalten, Krankheiten können noch nicht durch „Gen-Chirurgie“ kuriert werden.

Einigkeit bei den Experten besteht jedoch darüber, daß wir auf der Schwelle zu einem revolutionären Umbruch stehen. Es ist also Zeit, die Ethik vor der Technik zu entwickeln! Es gilt, aus den mit der modernen Physik gemachten Erfahrungen zu lernen, die Ambivalenz möglicher Anwendungen rechtzeitig zu bedenken und nicht einseitig einem blinden Wissenschaftspositivismus oder -pessimismus zu verfallen. Die Konsequenzen wären in beiden Fällen inakzeptabel: So oder so, im Falle des Verzichtes auf Spitzentechnologien oder im Falle einer unbedingten Anwendung alles dessen, was machbar ist, würden die entstandenen Probleme für uns und die künftigen Generationen nicht mehr lösbar sein. Von den Folgen der Weichenstellung für gentechnologische Arbeiten werden über kurz oder lang alle betroffen sein – nicht nur die Wissenschaftler, die diese Arbeiten durchführen, nicht nur Planungsstellen, die die Arbeiten veranlaßt haben, nicht nur einige Umweltschützer, die um die erschreckende Reduktion der Artenvielfalt besorgt sind, und auch nicht die Moraltheologen und christliche Ethiker, die heute vor den Gefahren für Gottes Schöpfung und die Integrität des menschlichen Seins durch die neue Technik warnen. Meine erste These lautet daher:

Es ist ein Gebot gesellschaftlicher Verantwortung und sozialistischer Demokratie, an der Entscheidungsfindung, welche Zielsetzungen durch gentechnologische Arbeiten erreicht werden sollen, eine breite Öffentlichkeit zu beteiligen. Dazu gehört auch eine sachgerechte Information über mit diesen Arbeiten verbundene mögliche Gefahren.

a) Ausgangspositionen

„Das Durchdringen der Produktion mit Wissenschaft... kennzeichnet natürlich die Ökonomie aller hochindustrialisierten Staaten. Als Folge dessen strömen immer mehr Waren, in denen ein großer Anteil wissenschaftlicher Arbeit verkörpert ist, von allen Seiten auf den Weltmarkt und verdrängen Er-

zeugnisse zweitrangiger Qualität. Nun ist in dem hieraus notwendigerweise erwachsenden weltweiten Konkurrenzkampf die DDR als RGW-Mitgliedsstaat nicht mutterseelenallein auf sich gestellt. Aber die sozialistische ökonomische Integration verlangt natürlich ihrerseits von uns rasche und hohe Innovation sowohl der Fertigungsprozesse als auch der Endprodukte. Die wissenschaftlich-technische Revolution ist eben schlicht eine globale Realität, unabhängig davon, ob sie einem begrüßenswert erscheint oder nicht. Man muß ihr Rechnung tragen, wenn auch nur die elementaren Mechanismen des wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Lebens in Funktion bleiben sollen“, schreibt Hans-Georg Schöpff im Heft aus Burgscheidungen Nr. 236 (1986).

Für die Biotechnologie wurden im Gesetz über den Fünfjahresplan 1986–90 konkrete Aufgaben gestellt: „Die biotechnologische Produktion in der Volkswirtschaft ist bis 1990 auf das 3-fache zu steigern.“ Schwerpunkte sind dabei „die Entwicklung und Produktion hochwirksamer Diagnostika und Pharmaka für den Gesundheitsschutz, der Einsatz von Enzymen und Geschmacksstoffen in der Lebensmittelproduktion, die Nutzung gen- und zelltechnischer Methoden in der Pflanzen- und Tierproduktion sowie die Höherveredlung einheimischer Rohstoffe und die Gewinnung von Werkstoffen aus Abprodukten einschließlich der Reduzierung von Umweltbelastungen“. Diese und künftige Aufgabenstellungen sind ohne Einbeziehung der Spitzentechnologie Gentechnik nicht zu lösen.

Doch der Rahmen ist weiter gesteckt, geht über anzuvisierende Planziffern hinaus. Aus dem hohen sozialetischen Anspruch unserer Gesellschaft – zusammengefaßt in der Hauptaufgabe: Alles für das Wohl des Volkes, steigende materielle und kulturelle Bedürfnisbefriedigung, Einheit von Wirtschafts- und Sozialpolitik – ist zu folgern, daß jegliche Technik ihren Wert nicht nur davon erhält, wie sie zur unmittelbaren Steigerung der industriellen Warenproduktion beiträgt, sondern auch vom Maßstab ihrer sozialen Verträglichkeit her. Mit der Maxime „Alles für das Wohl des Volkes“ ist eine breite Plattform für sozialetische Erwägungen zum Wissenschafts- und Technikverständnis in unserer sozialistischen Gesellschaft gegeben.

Verantwortung für Gottes Schöpfung

Für den Christen, der in dieser unserer Gesellschaft steht und hier heute seine Verantwortung sieht und ausüben gewillt ist, erhält die Frage nach der ethischen Verantwortung

eine besondere Dimension. Sie reicht tief in sein Glaubensverständnis hinein, die von Gott gemachte Schöpfung für sich zu nutzen, aber auch zu erhalten und zu bewahren. Er hat hier eine Verantwortung wahrzunehmen, wie es beispielhaft einst die Ureinwohner des Nordostens der Vereinigten Staaten getan haben, die weder Christen noch Genetiker waren: Keine Entscheidung zu fällen, „bevor sie sich nicht darüber geeinigt hatten, welche Folgen ihr heutiges Votum für die siebente Generation ihrer Kinder haben würde“ (so Manfred Wolter in: Windvogelviereck, S. 316).

Aus dieser Sicht sind die nachfolgend zitierten Positionen eines theologischen Kritizismus und eines unbedingten Wissenschaftspositivismus gleichermaßen provokativ und unannehmbar: „Die Atombombe kann die Schöpfung Gottes ‚nur‘ zerstören, die Molekularbiologie und Genforschung kann sie in ihr Gegenteil pervertieren“ (S. M. Daecke) und „Wir erheben uns zu wirklichen Herren der Natur. Dem Menschen gelingt es, ‚Lebewesen nach seinem Bilde‘ zu schaffen“ (E. Geißler).

Vielmehr sehen wir in der Gentechnik die Ambivalenz menschlicher Entscheidungs- und Handlungsmöglichkeiten. Dieser Ambivalenz können wir weder mit einer pauschalen Verdammung gentechnischer Methoden als Quelle möglicher künftiger Gefährdungen der Menschheit, noch mit kritiklosem und unbedachtem „Machen alles Machbaren“ gerecht werden. Nach meiner Überzeugung helfen in diesem Zusammenhang generelle Diskussionen ohne konkreten Bezug zum jeweiligen Forschungsgegenstand wenig weiter. Daraus ergibt sich meine zweite These:

Diskussionen über Chancen und Risiken der Gentechnik sollten immer in einem konkreten Sachzusammenhang geführt werden.

Aus diesem Grunde werden nachfolgend Fragen der ethischen Verantwortung vor dem Hintergrund der konkreten potentiellen Anwendungsbereiche der Gentechnologie diskutiert. Damit ist gleichzeitig die Vorläufigkeit der hier getroffenen Aussagen betont.

b) Einsatz gentechnisch manipulierter Mikroorganismen zur Stoffproduktion

Dieses Anwendungsgebiet gentechnologischer Forschung ist heute bereits teilweise Wirklichkeit. Erinnert sei an die Ausführungen zur Herstellung von Pharmaka und Enzymen mit-

tels gentechnisch manipulierter Bakterien. Human-Insulin, hergestellt durch gentechnisch manipulierte Bakterien, wird seit 1983 vermarktet, in der DDR wird das Enzym Alpha-Amylase durch gentechnisch manipulierte Bazillus-Stämme in 25 m³-Fermentoren produziert. Sowohl hinsichtlich des wissenschaftlichen „know how“ wie auf dem Gebiet der Risikoabschätzung beim Einsatz gentechnisch manipulierter Bakterien besitzen wir hier die größten Erfahrungen.

An dieser Stelle sollte festgehalten werden, daß es führende Wissenschaftler der neuen Technik selbst waren, die sehr frühzeitig ihre Verantwortung wahrgenommen haben, sich gegenseitig und die Öffentlichkeit über potentielle Gefahren und Risiken der Gentechnologie zu informieren. Der am 27. 12. 1969 in der Zeitschrift „Nature“ publizierte Brief führender amerikanischer Genetiker von der Harvard Medical School in Boston (Shapiro, Evon und Beckwith) ist ein Musterbeispiel für Zivilcourage und Weitsicht von Forschern, die wissen, daß sie ihre wissenschaftliche Arbeit unter den Bedingungen einer Gesellschaft durchführen, die wissenschaftliche Erkenntnis bedingungslos für ihre eigenen ökonomischen Interessen ausbeutet:

„In und an sich ist unsere Arbeit moralisch neutral – sie kann entweder zu einer Wohltat oder zu einer Gefahr für die Menschheit führen. Aber wir arbeiten in den Vereinigten Staaten des Jahres 1969. Die wesentliche Kontrolle über wissenschaftliche Arbeit und ihre weitere Entwicklung liegt in den Händen weniger Leute in den Führungsgremien großer privater Institutionen und an der Spitze von Regierungsbürokratien. Diese Leute haben immer wieder die Wissenschaft für schädliche Zwecke ausgebeutet, um ihre eigene Machtposition zu festigen... Wofür wir eintreten ist, daß Wissenschaftler zusammen mit anderen Bürgern arbeiten sollten an einer radikalen politischen Veränderung in diesem Land. Wenn wir das nicht tun, dann werden wir eines Tages eine Gruppe sehr betretener Oppenheimers sein. Wissenschaftler haben kein Recht, innerhalb dieser politischen Anstrengung eine besondere Stellung intellektueller Führerschaft zu beanspruchen... Wissenschaftler sind nach unserer Meinung verpflichtet, die Öffentlichkeit zu informieren, was in ihren abgelegenen Forschungsgebieten geschieht, damit die Leute eine Kontrolle über jene Entscheidungen verlangen können, die so tiefgreifend ihr Leben beeinflussen. Wenn unsere Argumente dahin führen, daß ‚der Fortschritt der Wissenschaft selbst unterbrochen werden könnte‘, so ist das eine unglückliche Folge, die wir zu akzeptieren haben werden. Sie sollte uns jedenfalls sicher nicht daran hindern, zu entscheidenden Problemen unsere Meinung zu sagen.“

Diese und einige weitere Veröffentlichungen zeigen an, daß bereits genetische Manipulationen an den einfachsten Mikroorganismen, den Bakterien, ein Risiko aufweisen, dessen Größe zunächst nur schwer abzuschätzen war. Aus heutiger Sicht ist eine Analyse des Risikos beim Einsatz gentechnisch manipulierter Mikroben unter den folgenden Aspekten durchzuführen:

- Wahrscheinlichkeit der Freisetzung in die Umwelt
- Überleben des betreffenden gentechnisch manipulierten Bakteriums in der ungeschützten Umgebung
- Fähigkeit des betreffenden Bakteriums, sich nach seiner Freisetzung zu vermehren, und mit welcher Rate
- Möglichkeiten des Transfers der genetischen Information auf andere Arten
- Weiterverbreitung der Organismen
- mögliche damit verbundene schädliche Effekte (nach: M. Alexander, Issues in Science and Technology, 1, 57–68, 1985).

Freiwillige Richtlinien

Zu Beginn der siebziger Jahre, als die ersten Experimente mit gentechnisch manipulierten Mikroorganismen in den Vereinigten Staaten aufgenommen worden waren, war man über die damit verbundenen Risiken noch völlig im unklaren. Wieder waren es die Wissenschaftler selbst, die hier ihre Verantwortung wahrnahmen und über mögliche Sicherheitsrichtlinien und Einschränkungen ihrer Arbeiten berieten. Die Konferenz von Asilomar (Kalifornien) 1974 stellte erste, freiwillige Richtlinien für die Arbeiten mit rekombinanter DNA auf, die hier auszugsweise wiedergegeben werden sollen:

- Organismen, mit denen experimentiert wird, müssen außerhalb des Labors lebensunfähig sein, damit Genübertragungen auf andere Organismen auf natürlichem Wege ausgeschlossen sind.
- Die Erzeugung krankheitserregender Bakterien (Gifterzeugung, Krebs, Schädigung des Immunsystems und des Körperbaus) ist verboten.
- Gentechnologie darf nicht zur Herstellung bakteriologischer Waffen angewandt werden.

Festzuhalten gilt, daß die Tagungsteilnehmer diese Richtlinien (selbstverständlich außer bei B-Waffen) aus Sorge um mögliche, keineswegs um erwiesene Gefahren beschlossen, die

mit der neuen Technik einhergehen können. Im Laufe der Zeit stellte sich heraus, daß diese Gefahren stark überschätzt worden sind.

Als besonders gefährlich wurde zunächst die Möglichkeit gesehen, daß Bakterien, in die Krebsvirus-DNA implantiert wurde, aus den gentechnischen Laboratorien entweichen und zu einer todbringenden Bedrohung für die Umwelt werden. Daher führten im April 1978 die Virologen M. A. Martin und W. P. Rowe unter strengsten Sicherheitsmaßnahmen ein derartiges Kontrollexperiment mit der DNA des Polyoma-Virus durch. Wird dieser Virus Hamstern, Ratten oder Mäusen in den ersten zwei Lebenstagen injiziert, so entstehen mit hoher Rate Tumore. Die Versuche mit manipulierten Escherchia-coli-Zellen, die die DNA dieser krebsverursachenden Viren enthielten, ergaben, daß diese gentechnisch manipulierten Bakterien offenbar nicht in der Lage waren – weder nach Verfütterung noch Injektion in Mäuse –, einen Tumor hervorzurufen. Die Veröffentlichung der Ergebnisse dieser Experimente führte zu einer weitgehenden Entschärfung der vorher erlassenen strengen Sicherheitsbestimmungen in den amerikanischen Forschungslaboratorien.

Eine Kultivierung von gentechnisch manipulierten Mikroorganismen in dem geschlossenen System eines Fermentors sollte – unabhängig von der potentiellen Gefährlichkeit dieses Mikroorganismus und seiner Fähigkeit, in der umgebenden Außenwelt zu überleben und sich zu vermehren – von vorn herein jedwede Gefährdung der Umwelt ausschließen. Hier reduziert sich der Umgang mit gentechnisch optimierten Mikroben zu einem ingenieurtechnischen Problem und zur Einhaltung einer bestimmten Betriebshygiene.

Gründliche Sicherheitstests

Sind in diesen Fällen weitere Überlegungen und Risikoabschätzungen also hinfällig? Sie sind es keineswegs! Das soll am Beispiel des im VEB Prowiko Schönebeck eingeführten Verfahrens zur Herstellung gentechnisch manipulierter Alpha-Amylase belegt werden.

Das „Produktionsmittel“ gentechnisch manipulierte Mikrobe läßt sich formal in mehrere Komponenten zerlegen. Die erste Komponente ist das Wirtsbakterium *Bacillus subtilis*. Erwiesenermaßen ist diese Mikrobe nicht krankheitserregend. Langjährige Erfahrungen über den Umgang und die Kultivierung dieser Bazillus-Art unter industriellen Bedingungen liegen vor. Das Bakterium enthält weder toxische Stoffe, noch ist

es in der Lage, in den menschlichen Verdauungstrakt einzudringen und sich dort zu vermehren. Seit langem ist bekannt, daß dieser Bazillus fähig ist, für die Lebensmittelindustrie nützliche Enzyme in das ihn umgebende Kulturmedium auszuscheiden. Daher kann eine Aufarbeitung der gewünschten Fermentationsprodukte ohne Einbeziehung der Mikrobenzellen aus der nach der Separation erhaltenen Kulturflüssigkeit erfolgen.

Die zweite Komponente dieses mikrobiellen Produktionssystems ist das Gen für Alpha-Amylase, aus einem ähnlichen Bazillus isoliert und nun nach Übertragung auf ein geeignetes Trägermolekül in vielfacher Kopie in der Bazillus-Zelle vorhanden. Der damit erreichte Gen-Dosis-Effekt ist der Schlüssel für die ungewöhnliche Produktivität des gentechnisch kreierte Bazillus, der in der Lage ist, das gewünschte Enzym Alpha-Amylase etwa fünfmal mehr zu produzieren als seine nicht manipulierte „Geschwister“. Wir sprechen in diesem Falle von homologer Genexpression, da das produzierte Genprodukt identisch mit der „natürlicherweise“ vom Bazillus produzierten Alpha-Amylase ist. Der einzige bemerkbare Unterschied liegt in der weit höheren Konzentration der gebildeten Alpha-Amylase in der Kulturflüssigkeit des genmanipulierten Bazillus.

Trotzdem ging der Einführung dieses gentechnischen Verfahrens eine lange, zeitraubende Serie verschiedenartiger Tests voraus, und auch heute wird die Durchführung des Verfahrens von einem Labor des Bezirks-Hygiene-Instituts speziell überwacht. Warum war und ist das nötig?

Wir haben noch nicht die dritte Komponente des eingesetzten Systems, das benutzte Trägermolekül für das isolierte Amylase-Gen, erwähnt. Im Gegensatz zu den anderen beiden Komponenten stammt das als Vektor eingesetzte Plasmid nicht aus Bazillen, sondern wurde von einer Streptokokkenart isoliert. Im Unterschied zu anderen Plasmiden, die schnell wieder von der Bakterienzelle abgestoßen werden, wies dieses Plasmid eine hervorragende Stabilität auf und machte den Einsatz des gentechnisch manipulierte Bazillus zur Amylase-Produktion unter industriellen Bedingungen überhaupt erst möglich. Andererseits brachte der Einsatz dieses Plasmids gewisse Unsicherheiten in der Risikoabschätzung für das industrielle Amylase-Herstellungsverfahren. Streptokokken weisen auch für den Menschen krankheitserregende Vertreter auf. Außerdem befindet sich auf dem Plasmid eine genetisch determinierte Resistenz gegen das Antibiotikum Erythromycin. Zwar wird dieses Antibiotikum in der Humanmedizin nur wenig angewandt, doch besitzt es für die Be-

kämpfung einiger Infektionen der Atemwege eine gewisse therapeutische Bedeutung.

Die Untersuchungen über eine mögliche Gefährdung wurden daher in zwei Richtungen geführt. Das erhaltene Genprodukt wurde in Tierfütterungsversuchen auf seine Unbedenklichkeit untersucht und die vorgeschriebenen Tests durchgeführt, ohne daß sich irgendwelche Anhaltspunkte für schädliche Wirkungen ergaben. Ungleich komplizierter war und ist es, den Nachweis zu erbringen, daß ein Gentransfer der genetisch bestimmten Antibiotika-Resistenz in andere – möglicherweise pathogene – Bakterienarten nicht stattfindet. Nach neuesten publizierten Ergebnissen ist ein solcher Gentransfer nicht mehr auszuschließen.

Was kann uns diese konkrete Fallstudie lehren? Über den möglichen gentechnologischen Einsatz von Mikrobenstämmen kann nicht generell, sondern muß nach Abwägung des konkreten Einzelfalls entschieden werden. Diese Verfahren bedürfen auch nach ihrer Einführung in die Produktion einer besonderen Aufmerksamkeit und wissenschaftlichen Betreuung. Epidemiologischen und medizinischen Gesichtspunkten ist dabei besondere Beachtung zu widmen. Auch bei zunächst risikolos erscheinenden Verfahren, die in geschlossenen Fermentationssystemen ablaufen, ist eine sorgfältige Betriebshygiene in allen Stufen des Prozesses einzuhalten. Eine gesonderte medizinische Betreuung und Überwachung des Personals ist unabdingbar.

Diese gesamte, komplexe Problematik kann nicht allein von den Wissenschaftlern, die das gentechnische Verfahren entwickelt haben, gelöst werden. Hier bedarf es interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Biologen, Betriebsingenieuren, Verfahrenstechnikern, Epidemiologen und Medizinern. Alle Beteiligten einschließlich der staatlichen Leitung und des Ministeriums für Gesundheitswesen haben hier Verantwortung wahrzunehmen, damit die großen ökonomischen Potenzen gentechnischer Verfahren ohne negative Sekundärfolgen nutzbar gemacht werden können. Im Falle der im VEB Pro-wiko produzierten Alpha-Amylase erfolgen die begleitend durchgeführten hygienisch-epidemiologischen Untersuchungen durch das Bezirks-Hygiene-Institut Magdeburg. Dessen Einsatz und Engagement verdanken wir, daß die hier dargestellten komplizierten Wechselbeziehungen immer deutlicher zutage treten und daher mehr und mehr gezielt vorbeugende Maßnahmen gegen potentielle Gefahren getroffen werden können, bevor das Kind in den Brunnen gefallen ist. Aus dieser Fallstudie ergibt sich somit meine dritte These:

Die Einführung gentechnischer Verfahren in die Produktion ist in interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Entwicklern und Anwendern sorgfältig vorzubereiten. Zunächst als unerheblich angesehene Restrisiken sind sorgfältig zu verfolgen und dafür gegebene Gefahrenmomente schrittweise auszuschließen. Dazu bedarf es einer begleitenden Kontrolle durch kompetente epidemiologisch-hygienische Untersuchungen und einer ständigen medizinischen Überwachung des beteiligten Personals.

c) Gentechnisch manipulierte Mikroorganismen in offenen Systemen

Der Einsatz gentechnisch manipulierter Mikroben wird heute auch auf Gebieten erwogen, wo keine Abschirmung der Mikroben von der Außenwelt mehr möglich ist. Gerade solche Verfahren sind von erheblichem ökonomischem Interesse und versprechen darüber hinaus, die für uns immer drängenderen Fragen der Abfallbeseitigung und der Wiederherstellung bzw. Bewahrung der lebensnotwendigen ökologischen Kreisläufe zu lösen. Die maximale Regenerierung von Rohstoffen schont die natürlichen Ressourcen der Erde. Gentechnische Produktionsverfahren, die in ökologische Kreisläufe integriert sind, vermeiden hohe Konzentrationen nicht abbaubarer Abfälle und ermöglichen deren Regeneration. Ein weiterer, für die DDR wichtiger Faktor: Diese einheimische Produktion regenerierter Rohstoffe und deren erneute Nutzung in der Industrie entlastet von Importen. Welche konkreten Vorstellungen existieren dazu heute?

Das Bodenbakterium der Gattung *Rhizobium* besiedelt die Wurzelregion bestimmter Leguminosen und führt dort zur Ausbildung von Wurzelknöllchen, die ihrerseits zur Bindung des atmosphärischen Stickstoffs in der Lage sind. Dadurch kommt es zu einer beträchtlichen Anreicherung assimilierbaren Stickstoffs im Boden und damit zur Einsparung mineralischer Stickstoffdünger. Die ersten Reinkulturen der „Knöllchenbakterien“ wurden bereits Ende des vergangenen Jahrhunderts von der Firma Höchst kommerziell angeboten. Heute werden in der Welt jährlich etwa 20 Millionen Hektar mit *Rhizobien* „geimpft“.

An der Verbesserung der Eigenschaften dieser *Rhizobien* (erhöhte Kapazität zur Stickstoffbindung, deren Ausdehnung auf die wirtschaftlich vielmehr relevanten Getreidepflanzen) wird unter Nutzung gentechnischer Methoden vielerorts intensiv gearbeitet. Forschung dieser Art wird auch im Institut für Bodenfruchtbarkeit der Akademie der Landwirtschaftswissen-

schaften der DDR in Müncheberg durchgeführt. Es ist zu erwarten, daß in naher Zukunft erste Freilandversuche mit solchen gentechnisch manipulierten Bakterien begonnen werden.

Zuvor sind allerdings wesentliche Fragen zu klären. Obwohl *Rhizobium* selbst, als überall verbreiteter Bodenorganismus, nachgewiesenermaßen keine Gefährdung des ökologischen Gleichgewichts bewirkt, bleibt es zunächst offen, ob veränderte oder in den gentechnisch manipulierten Mikroorganismus zusätzlich eingeführte Gene in die mikrobielle Bodenbegleitflora oder in die infizierten Pflanzen übertragen werden können und dann dort zu nicht vorhergesehenen Sekundärfolgen führen. Modelluntersuchungen, die diese Frage klären helfen sollen, werden zur Zeit auch von verschiedenen westeuropäischen Laboratorien durchgeführt.

Gentechnik ersetzt Pestizide

Chemische Insektizide werden zunehmend als großes Umweltisiko erkannt. Andererseits kann bei dem gegenwärtigen Entwicklungsstand der Landwirtschaft auf den Einsatz von Schädlingsbekämpfungsmitteln weltweit nicht mehr verzichtet werden. Ein möglicher Weg zur Lösung dieses Konfliktes ist der Einsatz selektiv wirkender biologischer Insektizide. Einer breiten Anwendung dieser umweltverträglichen Mittel stehen zur Zeit noch ihr begrenzter Wirkungsradius und der vergleichsweise hohe Aufwand ihrer Herstellung entgegen.

Seit einiger Zeit sind Insektenviren (*Baculoviren*) als mögliche Insektizide im Gespräch. Wenn diese Viren in den Verdauungstrakt bestimmter Insekten gelangen, beginnen sie sich sprunghaft zu vermehren und führen gewöhnlich ein bis zwei Wochen nach der Infektion des Insekts zu dessen Tod. Der Vorteil der Anwendung solcher Viren liegt in ihrer Spezifität. Da sie sich jeweils immer nur in einer bestimmten Insektenart vermehren können, sind sie gezielt gegen bestimmte Schadinsekten einsetzbar und führen nicht – wie die „Breitband“-Insektizide der chemischen Industrie – zum Absterben der gesamten Insektenfauna der behandelten landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Etwa ein Dutzend verschiedener *Baculoviren* sind heute für den Einsatz in der Land- und Forstwirtschaft weltweit registriert und zugelassen. Sicherheitsstudien erbrachten den Nachweis, daß diese biologischen Insektizide für den Menschen vollkommen ungefährlich sind. Sie können sich nicht in anderen Organismengruppen als in den jeweiligen Insektenarten vermehren.

Gegenwärtig wird daran gearbeitet, die Qualität der Baculoviren als Insektizid durch gentechnische Manipulation weiter zu verbessern. Die angestrebten Ziele sind: Erweiterung des Wirtsspektrums auf verschiedene Schadinsekten, erhöhte Effektivität sowie Verbesserung der Langzeitwirkung durch erhöhte Umweltstabilität.

Ein Weg dazu ist die Einführung von Toxin-Genen in das Virusgenom. Besonders aussichtsreich in diesem Zusammenhang erscheint die Einführung von Toxin-Genen aus *Bacillus thuringiensis*. Dieses Toxin wirkt selektiv gegen eine sehr begrenzte Zahl von Schadinsekten. Würde dieses Gen in das Baculovirus-Genom integriert, könnten die relativ schwache Wirkung dieses Virus bedeutend erhöht und seine wirtschaftliche Anwendung als Insektizid ermöglicht werden. Gleichzeitig würde eine unkontrollierte Ausbreitung des Virus infolge des frühen Todes des Wirtsorganismus vor der Ausreifung vermehrungsfähiger Viruspartikel vermieden.

Gegenwärtig werden prinzipiell keine Unterschiede im Risiko des Einsatzes „natürlicher“ und gentechnisch manipulierter Insektenviren gesehen. Das Hauptaugenmerk ist hier – ähnlich wie beim Rhizobium-Beispiel angeführt – dem möglichen Transfer von Genen des Virusgenoms, einschließlich dort implantierter „Fremdgenen“, in das Erbgut der natürlich vorkommenden Mikroorganismen und der von den Viren befallenen Insekten zu widmen. Bisher konnte ein Gen-Austausch nur innerhalb der Gruppe der Baculoviren selbst nachgewiesen werden. Diesen Fragen wird zur Zeit in umfangreichen Feldversuchen weiter nachgegangen.

Die Beseitigung des Industriemülls, der zunehmend die Umwelt und damit letztlich unsere eigene Lebensqualität bedroht, ist zu einem der drängendsten Probleme unserer Zeit geworden. Nun soll hier keineswegs der Eindruck vermittelt werden, die Gentechniker hätten den Schlüssel zur Lösung dieser und anderer drängender Zeitfragen alleine in der Hand. Doch ein Beitrag kann auch von ihnen erwartet werden, weil es hier unser aller gemeinschaftlicher Anstrengungen bedarf. Es ist keine Frage, daß die Ausbringung von Stoffen, die unsere Umwelt schädigen, drastisch eingeschränkt werden muß. Andererseits haben wir jedoch auch alle Möglichkeiten zu nutzen, um vorhandene Umweltgifte schnell und effektiv durch die Einbeziehung biologischer Prozesse abzubauen.

In der Vergangenheit konnten mikrobielle Stämme isoliert werden, die giftige Chemikalien abzubauen vermögen. So wurden Bakterien der Gattung *Pseudomonas* gefunden, die bestimmte organische Lösungsmittel abbauen können. Im Falle des Bakteriums *Pseudomonas putida* sind die dafür ver-

antwortlichen Enzyme plasmid-kodiert. Vier solcher Plasmide sind: OCT (Abbau von Octan, Hexan und Decan), Xyl (Abbau von Xylen und Toluol), CAM (Abbau von Campher) und NAH (Abbau von Naphthalen). Die Konstruktion eines *Pseudomonas*-Stammes, der alle vier genannten Plasmide enthält, ist eines der ersten Beispiele für angewandte Gentechnik. Dieser Stamm wurde bereits 1979 von Chakrabarty im Auftrag der General Electric Company entwickelt. Charakteristikum dieses gentechnisch manipulierten Stammes ist, daß er auf Rohöl sehr schnell zu wachsen vermag und somit hohe Bedeutung z. B. für die Beseitigung einer Ölpest nach Tankerunfällen zu besitzen scheint. Die Weiterführung solcher Arbeiten soll zur Konstruktion solcher Bakterienstämme führen, die fähig sind, normalerweise biologisch nicht abbaubaren Industriemüll zu beseitigen und solche landwirtschaftlichen Nutzflächen zu entgiften, die der übertriebene Einsatz von Chemikalien verseucht hat. Meine vierte These lautet:

Gentechnisch manipulierte Mikroben können einen Beitrag zur Minderung der steigenden Belastung unserer Umwelt durch chemische Schadstoffe und mineralische Düngemittel leisten. Vor ihrem Einsatz ist jedoch das Risiko einer unkontrollierten Ausbreitung und eines möglichen Gentransfers in andere Organismen sorgfältig zu klären.

d) Gentechnologie in der Tierzucht

Im Gegensatz zur gentechnischen Manipulation von Mikroorganismen befindet sich die Anwendung gentechnischer Methoden in der Tierproduktion heute noch in einem Frühstadium der Entwicklung. Doch konkrete Zielsetzungen werden bereits anvisiert. Angestrebt werden:

- Steigerung der Leistung von Milchkühen,
- Erhöhung der Fleischproduktion von Schlachttieren,
- verbesserte Krankheitsresistenz industriell gehaltener Nutztiere,
- optimale Futtermittelausnutzung z. B. bei Wiederkäuern und anderen Haustieren.

Aus der Vielzahl der dabei angewandten Strategien soll an dieser Stelle nur ein Beispiel herausgegriffen werden. Durch die Klonierung tierischer Wachstumshormon-Gene eröffnet sich die Möglichkeit, durch Re-Implantation dieser Gene in die betreffenden Tierarten eine Leistungssteigerung zu erzielen. Die Auswirkungen derartiger „Zuchtziele“ werden zur Zeit

kontrovers diskutiert, da nicht nur positive Folgen solcher Manipulationen absehbar sind.

Die heute verfügbaren Methoden der Tierzucht — einschließlich ihrer modernsten Entwicklung, des Embryotransfers — haben im Falle der Milchkühe bereits zu einer biologischen Leistungsgrenze geführt. Eine Jahresleistung von 8 000 Liter/Kuh wurde schon erreicht. In Westeuropa sind die vorhandenen Milchmengen aber schon nicht mehr auf dem Markt absetzbar. Trotzdem investierten amerikanische Firmen bislang rund 500 Millionen Dollar, um Rinder-Wachstumshormon auf die amerikanischen und westeuropäischen Märkte zu lancieren. Vor zwei Jahren wurde ein Bericht amerikanischer Wissenschaftler veröffentlicht, der erste Ergebnisse zur Leistungssteigerung durch Rinderwachstumshormon enthielt: Milchzuwächse von bis zu 40 Prozent seien registriert worden. Diese Resultate konnten in Westeuropa jedoch nicht bestätigt werden: Bei 400 hormonbehandelten Kühen in der BRD konnte eine Leistungssteigerung von nur etwa 8 Prozent festgestellt werden. Die durchgeführten Langzeituntersuchungen wiesen ferner nach, daß der Bedarf an Kraftfutter gegenüber dem Grünfutter erhöht ist.

Bei der Erhöhung des Hormonspiegels im Tierkörper kommt es allerdings zu einer Senkung des sogenannten Grundumsatzes in den Milchkühen. Das ist der Anteil des Futters, den die Tiere benötigen, um ihre normale Lebensfunktion aufrechtzuerhalten. Mit anderen Worten: Je höher die Milchleistung pro Tier, desto größer wird der Anteil des Futters, den die Tiere in Milch umsetzen können. Die Frage bleibt, wie gut die Milchkühe diesen Leistungsschub dank des Wachstumshormon körperlich überhaupt verkraften können. „Schon heute ist bereits ohne leistungssteigernde Hormone die Gesundheits-situation der Hochleistungskühe zu Beginn der Laktationsperiode problematisch. Überwiegend sind es Fortpflanzungsstörungen, die dazu führen, daß Milchkühe nur noch drei Laktationsperioden erleben. Es ist eine gängige Praxis (in bundesdeutschen Ställen), die Tiere nach 4 bis 5 Jahren zu schlachten“, so schrieb kürzlich ein westdeutsches Wissenschaftsmagazin („Bild der Wissenschaft“ 2/1988, S. 111).

Es ist zu erwarten, daß Fortpflanzungsstörungen bei Tieren, die einen erhöhten Wachstumshormonspiegel aufweisen — gleichgültig ob züchterisch oder medikamentös erreicht —, verstärkt auftreten. Die Frage ist, ob solche Tiere wirklich ein lohnenswertes Zuchtziel darstellen. Andererseits kann die Gentechnik unter Umständen mithelfen, die Probleme der Intensivtierhaltung zu mildern, die Genreserven heutiger Hochleistungsrassen zu vermehren, ihre Widerstandsfähigkeit ge-

gen Krankheiten und Seuchen zu erhöhen und vorhandene Futtermittel besser auszunutzen.

Die Ambivalenz der Gentechnik ist eine Herausforderung für die auf dem Gebiet der Tierzüchtung arbeitenden Wissenschaftler, nicht nur das verfügbare Methodenarsenal weiterzuentwickeln, sondern auch sehr sorgfältig über die Zielstellungen nachzudenken, für die diese neuen Methoden einmal eingesetzt werden sollen.

e) Gentechnologie in der Pflanzenzüchtung

Die Ziele der Gentechnologie im Bereich der Pflanzenzüchtung lassen sich in einem Satz zusammenfassen: Sie liegen in der Übertragung eines interessanten Gens in einen interessanten Kultivar durch in-vitro-Gentechnologie (H. Saedler). Was ist im einzelnen darunter zu verstehen?

- Neue Sorten können im Vergleich zu den klassischen Züchtungsverfahren mit enormem Zeitgewinn hergestellt werden.
- Es lassen sich Gen-Kombinationen verwirklichen, die auf natürlichem, sexuellem Weg nicht herstellbar sind.
- Der Anbau gentechnologisch hergestellter Nutzpflanzensorten läßt erwarten, daß die Anwendung von Agrochemikalien in der Landwirtschaft erheblich eingeschränkt werden kann.

Es wird angenommen, daß die Gentechnologie künftig einen bedeutenden Anteil an der Umgestaltung der Landwirtschaft leisten wird, die zur Produktion weit ertragreicherer Nutzpflanzen führen soll. Viele sehen im Einsatz gentechnischer Methoden die wesentliche Möglichkeit, das Problem des Hungers in der Welt zu lösen. Dabei sind nicht nur quantitative Aspekte der Erträge von Bedeutung. Es geht um die Verbesserung der Widerstandsfähigkeit gegen biologische Schädlinge, Hitze, Kälte, Nässe, Trockenheit und Salze, um Erhöhung des Eiweißanteils und Verbesserung der Eiweißzusammensetzung, um die Fähigkeit zur Bindung des Luftstickstoffs und vieles andere. Sehr weitgehende Vorstellungen schließen in diese Zielstellungen auch die Erhöhung der Effizienz der Photosynthese, d.h. der Umwandlung der Sonnenenergie in für die Pflanzen verwertbare Energie, ein.

Mit immer geringerem Aufwand an mineralischen Düngern sollen immer höhere Erträge gewährleistet werden. Stehen wir hier an der Schwelle einer zweiten „Grünen Revolution“?

An dieser Stelle scheint ein Rückblick auf die Ergebnisse des 1961 von der UNO-Organisation für Nahrung und Landwirtschaft (FAO) initiierten Züchtungsprogramms zur Verbesserung der Welternährungssituation lehrreich. Damals wurde verstärkt damit begonnen, „Hochleistungssorten“ (high-yield-varieties = HYV) in Länder der dritten Welt einzuführen, um dort die dringendsten Probleme der Nahrungsmittelversorgung zu lösen.

Diese Hoffnungen haben sich in vielen Fällen nicht erfüllt. Was waren die Ursachen? Illustrativ ist folgendes Beispiel: „Die Kleinbauern (der Dritte-Welt-Länder – R. B.) praktizieren in der Regel eine Mischkultur, beispielsweise eine Mischung aus Mais und Bohnen. Unglücklicherweise haben die Züchter aber solche Pflanzeigenschaften nicht berücksichtigt, die die Pflanzen mischanbaufähig machen. Die neuen Bohnen- und Maissorten gedeihen daher zusammen nicht gut. Experten schätzen, daß der Mischanbau sowohl den Ertrag wie den wirtschaftlichen Nutzen um mehr als 50 Prozent steigern kann. Über den reinen Ertrag hinaus trägt der Mischanbau auch zur Eiweißversorgung einen wichtigen Teil bei. Die neuen Sorten sind für den Mischanbau nicht mehr geeignet, während die alten Sorten inzwischen meist untergegangen sind“ (P. R. Mooney, 1983: Saatmultis und Welthunger). Hinzu kommt, daß eine übermäßige Betonung des Weizenanbaus zulasten des Anbaus der eiweißreichen Leguminosen ging. In Indien ging z. B. der Kichererbsenanbau in den letzten 20 Jahren auf die Hälfte zurück.

Die verstärkte Einführung von Hybrid-Sorten, von denen der Anbauer das Saatgut nicht mehr selber gewinnen kann, führte zu einer drastischen Zunahme der Kommerzialisierung und Konzentrierung des Saatgut Handels, der immer mehr in die Hände weniger westlicher Saatgutfirmen und -Konzerne gerät. Verstärkte Abhängigkeit und weitere Verarmung der Kleinbauern in den Entwicklungsländern waren die Folge. Durch den Anbau nur noch weniger Sorten hat sich das genetische Potential unserer Kulturpflanzen beängstigend verengt. Es ist nicht nur der Verlust der Arten-Vielfalt, es sind auch handfeste ökonomische Gründe, die gegen den übertriebenen Anbau der HYV sprechen.

Das historisch eindrucksvollste Beispiel liefert die Geschichte der Kaffeeplantagen. Obwohl mehr als 100 Arten der *Coffea*-Pflanze bekannt sind, wurden von Beginn an lediglich *Coffea arabica* und *Coffea canephara* kommerziell genutzt, wobei *C. arabica* auf fast 99 Prozent der Anbaufläche anzutreffen

ist. Bereits 1868 jedoch würde die Kaffeeplantagen in Ceylon (mit *C. arabica*) von einer Kaffeeblattrost-Krankheit heimgesucht, die dazu führte, daß der Kaffeeanbau in Ceylon vollständig eingestellt wurde. Danach ist diese Krankheit in fast allen kaffeeanbauenden Regionen aufgetreten und führte fast überall zu einschneidenden Produktionsbeschränkungen.

Beispiel Nr. 2 sei der Ceres-Weizen. Er wurde 1935 in den USA als resistente Sorte gegen den Weizenstengelrost gezüchtet. Aber zum Entsetzen der amerikanischen Bauern zerstörte 1953 eine Mutante des Pilzes 65 Prozent der Hartweizenerte in den USA, die ausschließlich aus der Sorte Ceres bestand und die bis dahin gegen den Weizenstengelrost absolut resistent gewesen war. „Über Nacht“ war extreme Resistenz einer extremen Krankheitsanfälligkeit gewichen – die übliche Folge einer Monokultur. Im Gefolge der „Grünen Revolution“ vermehrten sich solche Fälle. Bereits 1963 wurden epidemieartige Verluste bei Reisernten in Teilen Indiens registriert, die auf den alleinigen Anbau der Hochleistungssorte BR 34 zurückzuführen waren. Analoge Fälle mußten in Indien ebenfalls bei Weizen und Hirse registriert werden.

Diese Situation wurde so kommentiert: „Die Einführung von HYV und die damit verbundene großflächige Verdrängung von lokalen, angepaßten Arten hat die uralte landwirtschaftliche Situation in Indien dramatisch verändert. Diese Veränderung hat die genetische Variabilität reduziert und die Uniformität erhöht, wodurch die Nutzpflanzen verstärkt anfällig gegenüber Krankheiten geworden sind. Der Anbau dieser Nutzpflanzen in hoher Dichte, über ein großes Gebiet und mittels einheitlicher Anbautechniken hat Zonen potentieller Epidemien erzeugt. Sollte ein neuer Krankheitserreger oder eine Mutante bekannter Krankheitserreger dort auftauchen, ist mit zerstörenden Epidemien zu rechnen“ (nach H. Korfmacher: Gezielte Resistenzerzeugung in Nutzpflanzen). Verarmung der Arten, Verschwinden der alten landestypischen Sorten, die sich in einer jahrtausendealten Selektion den lokalen Besonderheiten des jeweiligen Anbaugesbietes angepaßt hatten, Monopolisierung des Saatgutes, zunehmende Chemisierung mit allen damit verbundenen Gefahren, erhöhte Abhängigkeit von kapitalistischen Konzernen – auch das ist eine Bilanz der einst von so großen Hoffnungen begleiteten „Grünen Revolution“.

Aus Fehlern lernen

Mancher wird nun fragen, welchen Zweck diese ausführliche Schilderung fehlgeleiteter, von den Interessen kapitalistischer

Monopole bestimmter Agrarpolitik in der sogenannten dritten Welt dient. Bei uns geht es in der Landwirtschaft nach wie vor um die Steigerung der Effektivität. Dabei haben wir bereits durch die Einführung von Hochleistungssorten, den gezielten Einsatz von Agrochemikalien und vieles andere große Erfolge errungen. Nutzen wir also jetzt vor allem die neuen Methoden der Gentechnik für die weitere Steigerung der Erträge, für die Einsparung von Düngemitteln und Schädlingsbekämpfungsmitteln, für die Qualitätsverbesserung pflanzlicher Futterproteine!

Das heißt zugleich, aus Fehlern der Vergangenheit zu lernen. Denn auch die Landwirtschaft hat schwere, z. T. irreparable Schäden an unserer Umwelt verursacht: Meliorierung von Feuchtgebieten mit einmaliger Flora und Fauna, unüberlegter und übertriebener Einsatz von Pestiziden und Düngemitteln, Nichtbeachtung lokaler Besonderheiten haben in der Vergangenheit zu beängstigenden Zerstörungen an unserer heimischen Natur geführt. Nach einer Broschüre des Naturschutzes in Berlin und Brandenburg aus dem Jahre 1978 sind allein hier in letzter Zeit immerhin 55 Pflanzenarten erloschen. Ist da Richard Pietrass nicht zuzustimmen, wenn er schreibt: „Sind Herbizide wirklich das Allheilmittel zur Erfüllung landwirtschaftlicher Pläne? Muß jedes Feld rainlos in den Weg übergehen? Gibt es außer der Solidarität von Mensch zu Mensch nicht auch die von Mensch zu Tier, von Mensch zu Pflanze? Sind diese nicht auch in unsere Verantwortlichkeit eingeschlossen? Der Gedanke an eine Erde, auf welcher der Mensch mit seinen wenigen Nutzpflanzen, Nutztieren und einigen unausrottbaren Parasiten und Krankheitserregern allein sein wird, ist mir eine Schreckensvorstellung.“ (aus „Windvogelviereck“, S. 132)

Gerade die pflanzliche Gentechnik verspricht Lösungen für manche der genannten Umweltprobleme. Wir wollen den Einsatz von Herbiziden und Insektiziden durch den Anbau gentechnologisch veränderter Pflanzen drastisch senken. Die Einsparung von Dünger durch Implantation von Genen der Stickstoff-Fixierung in unsere Nutzpflanzen und verbesserte Effektivität der Photosynthese ist ebenfalls ein Fernziel der „grünen“ Gentechniker. Es ist aber notwendig, jedes einzelne Projekt der pflanzlichen Gentechnologie vor seiner Anwendung in der Landwirtschaft einer kritischen Prüfung zu unterziehen. Bei der Entscheidungsfindung sind nicht nur kurzfristige ökonomische, sondern auch langfristige ökologische Ergebnisse zu berücksichtigen. Die Komplexität und Vielschichtigkeit des Gegenstandes soll hier am Problem der Herbizid-Resistenz dargestellt werden.

Zunächst stellt die Züchtung neuer Kulturpflanzen mit Hilfe gentechnologischer Verfahren lediglich eine Erweiterung der bisherigen Arbeitsmethoden züchterischer Tätigkeit dar. Aber zugleich erlaubt die Gentechnologie die Kombination von Eigenschaften in einer Weise, wie sie die klassische Züchtung niemals vermag, denn sie ermöglicht eine Gen-Übertragung zwischen verwandtschaftlich weit entfernten Pflanzen, die deshalb herkömmlich nicht kreuzbar sind, und/oder Bakterien und höheren Pflanzen.

Heute gelingt es bereits, Gene aus Pflanzen zu isolieren, zu charakterisieren und – in bestimmten Fällen – in die Pflanze zurück zu transformieren. Allmählich lernen wir zu verstehen, welche Faktoren in der Pflanze die Ausprägung einzelner Gene positiv oder negativ beeinflussen. Erste Beispiele für die erfolgreiche Entwicklung bakterieller Gene nach der Übertragung in höhere Pflanzen wurden ebenfalls berichtet.

Im Vergleich zur gentechnischen Manipulation von Bakterien und auch tierischer Zellen steht die pflanzliche Gentechnik in vieler Hinsicht jedoch noch am Anfang. Beispielsweise stellt die Einbringung von genetischem Material in die pflanzliche Zelle und dessen stabile Integration in das Erbgut, das auf die Nachkommenschaft übertragen wird, noch ein großes Problem dar, das – insbesondere bei den wirtschaftlich so bedeutsamen Getreidepflanzen – heute noch nicht gelöst ist. Hinzu kommt, daß die Verwirklichung solcher Ziele wie die Übertragung der Fähigkeit zur biologischen Stickstoffbindung in bestimmte Kulturpflanzen oder die Erhöhung des Wirkungsgrades der Photosynthese dadurch erschwert wird, daß hier eine Vielzahl von Genen beteiligt sind, die vielfältigen – heute noch weitgehend unbekannt – Steuerungsmechanismen unterliegen.

Verhältnismäßig einfach ist dagegen die Einbringung bestimmter Resistenzen gegen Pestizide, pflanzenkrankheitserregende Pilze oder Insekten, da in diesen Fällen die entsprechende Resistenz häufig nur durch ein einziges Gen bestimmt wird. Für den gentechnisch arbeitenden Pflanzenzüchter sind diese Art Resistenzen jedoch weniger interessant. Von besonderem Interesse sind vielmehr die nicht-selektiv wirkenden Total-Herbizid-Resistenzen. Gelänge es, eine derartige Resistenz in eine Kulturpflanze zu übertragen, würde die Anwendung eines einzigen Herbizids genügen, um eine landwirtschaftliche Nutzfläche unkrautfrei zu halten.

Trotz des offensichtlichen Vorteils gegenüber der gegenwärtigen Anwendung einer ganzen Palette unterschiedlicher Pflanzenschutzmittel scheint diese Konzeption in mehrfacher Hinsicht nicht unproblematisch:

1. Generell werden Herbizide nicht nur von den zu schützenden Pflanzen, sondern auch von anderen Mikroorganismen und von Tieren aufgenommen. Über den Stoffwechsel der Lebewesen des umgebenden Biotops werden die Herbizide in andere Substanzen umgewandelt, die in nachfolgenden Stoffkreisläufen immer weiter verändert werden. Eine toxische Wirkung als Sekundärfolge derartiger Kreisläufe ist also auch für Herbizide, die zunächst als nichttoxisch eingestuft wurden, nicht von vorn herein auszuschließen. Die Gefahr, daß durch den Einsatz von Herbiziden das ökologische Gleichgewicht in irgendeiner Weise gestört wird, ist also bei der Anwendung derartiger Verbindungen immer gegeben.

2. Ferner sind die Herbizide und ihre Folgeprodukte verschiedenartigen natürlichen Einflüssen ausgesetzt. Wind und Wasser verbreiten sie unkontrollierbar weit über ihren ursprünglichen Produktions- und Einsatzort hinaus. So können sie – akkumuliert z. B. in Fischen oder anderen Tierarten – in die vom Menschen selbst genutzte Nahrungskette zurückgelangen. In einigen Fällen ist diese mit dem Herbizideinsatz verbundene Gefahr heute schon direkt vorhersagbar. So wurde für Atrazin, ein von der Schweizer Firma Ciba-Geigy angebotenes Totalherbizid, nachgewiesen, daß es im Boden der behandelten landwirtschaftlichen Nutzflächen nicht abgebaut wird. Darüber hinaus stellte sich heraus, daß dieses Herbizid sowohl mutagen (Veränderungen hervorrufend) als auch embryotoxisch (keimtötend) wirkt, also nicht nur für die Umwelt, sondern auch für den Menschen selbst als potentiell gefährlich zu gelten hat. Trotzdem planen die Gentechniker des Schweizer Chemiekonzerns, eine Resistenz gegen gerade dieses Pflanzenschutzmittel in die Sojabohne zu transferieren. Eine Erhöhung der Verkaufszahlen von Atrazin von heute 120 auf 370 Millionen Pfund Sterling als Folge dieser genetischen Manipulation wird erwartet.

3. Auf dem kapitalistischen Markt führt der Einbau einer bestimmten Herbizid-Resistenz in eine Kulturpflanze unzweifelhaft zu einer weiteren Monopolisierung des Saatgutmarktes in den Händen weniger mächtiger Chemiegianten, die das entsprechende Herbizid produzieren. Insbesondere für die armen Länder der dritten Welt werden sich ökonomische Abhängigkeiten weiter verstärken. Ein weiterer Anstieg des sich in

der Vergangenheit bereits so verhängnisvoll auswirkenden Monokulturanbaues steht zu befürchten.

4. Die ökologischen Folgen des verstärkten Einsatzes von Totalherbiziden in Verbindung mit dagegen resistenten Kulturpflanzenarten sind heute schwer abzuschätzen. Zu befürchten ist aber, daß sich die in der Vergangenheit bereits negativ spürbare genetische Erosion unserer Kulturpflanzen infolge der Konzentration auf die wenigen Kulturpflanzenarten, in die die entsprechende Resistenz eingebaut wurde, weiter verstärkt und letztlich zur Verarmung unserer genetischen Ressourcen führen wird. Die Anfälligkeit dieser „Supervarietäten“ gegen tierische und mikrobielle Schädlinge – so steht zu befürchten – wird weiter wachsen. Hinzu kommt, daß durch die gezielte Anwendung der Totalherbizide die landwirtschaftlichen Nutzflächen noch „sauberer“, der Biotop unserer heutigen Kulturwirtschaft aber noch artenärmer wird, als er es heute schon ist.

Man mag zur Erhaltung unserer natürlichen Umwelt, wie sie über Jahrhunderte und Jahrtausende der Nutzung durch den Menschen gewachsen ist, im einzelnen durchaus verschiedene Ansichten haben. Jedoch auch diejenigen, die weitgehend nur Nützlichkeitsabwägungen zulassen wollen, müssen die von uns allen in der Vergangenheit gesammelte Erkenntnis akzeptieren, daß unkontrollierte Eingriffe in die Umwelt sich häufig sehr bitter gerächt haben und – in globalen Zeithorizonten gesehen – letztendlich eine Gefährdung menschlicher Existenz auf diesem unserem Planeten bedeuten können.

Von den Befürwortern gentechnisch manipulierter herbizid-resistenter Nutzpflanzen wird auf diese Überlegungen in folgender Weise entgegnet:

1. Die Konzentration auf wenige Totalherbizide wird zu einer erhöhten Agrarproduktion wesentlich beitragen. Das weltweite Hungerproblem kann aber nur durch eine effektivere Landwirtschaft, insbesondere in den Ländern der dritten Welt gelöst werden.

2. Der Einsatz dieser wenigen Totalherbizide in Kombination mit entsprechend resistentem Saatgut führt zu einer Entlastung unserer Böden, da insgesamt geringere Mengen an Pflanzenschutzmitteln als bisher aufgebracht werden müssen. Das führt zu einer Entlastung der Umwelt.

3. Weiterhin wird es dann möglich sein, die Wirkungen einzelner Herbizide viel genauer zu überprüfen, als es bisher bei der großen Zahl eingesetzter Pflanzenschutzmittel der Fall war. So wird es möglich werden, nur solche Herbizide anzuwenden, die umweltverträglich sind. Auf diese Weise wird schrittweise eine Entgiftung unserer Böden erreichbar sein.

4. Generell kann bei dem heutigen Entwicklungsstand der Produktivkräfte in der Landwirtschaft auf den Einsatz von Herbiziden zur Sicherung der für die menschliche Ernährung notwendigen Erträge nicht verzichtet werden. Alternative Methoden mit vergleichbarer ökonomischer Effizienz sind nicht vorhanden und, auch auf lange Zeiträume hin, nicht in Sicht.

Aus der Gegenüberstellung der Argumente wird deutlich, wie komplex und vielfältig im Einzelfall die Fragen der Anwendung der Gentechnik zu diskutieren sind. Für den Entscheidungsprozeß z. B. in diesem Falle, der die verschiedensten Problemfelder berührt (Gentechnik – Landwirtschaft – Klima – Boden – Toxikologie – Ökologie – Ökonomie – Kultur – Soziologie und nicht zuletzt Ethik), sind Dialog und Arbeiten zwischen Wissenschaftlern verschiedenster Disziplinen sowie den künftig betroffenen Bauern, sozialen Gemeinschaften, gesellschaftlichen Entscheidungsgremien etc. unabdingbar.

In diese Diskussion werden alle Wissens- und Erfahrungsmöglichkeiten auf der Grundlage der Erkenntnisse einer immer weiter auszubauenden Risikoforschung einfließen müssen, um zu einem sinnvollen, sozial verträglichen Weg der landwirtschaftlichen Produktion auf diesem Erdball zu gelangen. Sicher werden die Antworten in Abhängigkeit von den jeweiligen gesellschaftlichen Bedingungen differenziert ausfallen, doch haben wir alle dabei auch unserer globalen, gemeinsamen Verantwortung für ein menschenwürdiges Überleben auch der künftigen Generationen gerecht zu werden. Meine fünfte These lautet daher:

Bevor an die Einführung gentechnisch manipulierter Pflanzen in die Agrarwirtschaft gegangen wird, sind die damit verbundenen Konsequenzen in Zusammenarbeit von Wissenschaftlern der verschiedensten Fachgebiete weitgehend zu bedenken. Eine Entscheidung kann nur auf der Grundlage einer entwickelten experimentellen Risikoforschung getroffen werden. Sie sollte unter Einbeziehung einer über die vorhandene Problematik gut informierten gesellschaftlichen Öffentlichkeit und insbesondere der potentiellen Anwender erfolgen.

IV. Schlußfolgerungen

Die hier vorgebrachten Gedanken und Thesen sind ein erster Versuch, sich – vom Standpunkt eines Beteiligten – mit den Möglichkeiten und Gefahren, die die Anwendung der Gentechnik in breiten Bereichen von Industrie und Landwirtschaft aus heutiger Sicht mit sich bringt, auseinanderzusetzen. Diese Sicht ist bewußt provokativ angelegt und enthält keine Patentrezepte. Wir alle sind aufgefordert, die Folgen zu bedenken und uns das dafür notwendige Wissen anzueignen. Qualifizierte Diskussion, auch mit Laien, ist notwendig, um falsche Entscheidungen und Weichenstellungen zu vermeiden. Ein gemeinsamer Konsens, nicht alles zu machen, was machbar scheint, ist heute wohl schon weitgehend erreicht. Doch vieles gilt es noch aufzuarbeiten, im Gespräch der verschiedensten Wissenschaftsdisziplinen, der staatlichen Leitungen, der Parteien, gesellschaftlichen Institutionen und Organisationen, der Industrie und Landwirtschaft, mit Künstlern als einem der sensibelsten Teile unserer Öffentlichkeit – im Grunde mit allen Bürgern unseres Staates, die ihre Verantwortung für die Entwicklung unserer Gesellschaft und für die nächsten Generationen spüren und wahrnehmen wollen.

Uns Christen gebietet unser Ethos, die Schöpfung zu bewahren und lebenswert für alle, die nach uns kommen, zu erhalten. Wir leiten daraus unsere ständige Aufgabe ab, sorgfältig zu bedenken, was im Interesse eines naheliegenden ökonomischen Fortschritts sinnvoll zu tun ist. Der zunehmenden Verantwortung, die uns der in unsere Hand gegebene wissenschaftlich-technische Fortschritt aufgibt, können wir nur gerecht werden, wenn wir vor seiner Anwendung eine adäquate Ethik zu entwickeln lernen.

Davon ist die vorliegende Studie, die aus der Sicht eines Naturwissenschaftlers geschrieben wurde, naturgemäß noch weit entfernt. Zunächst ging es um eine Auflistung von pragmatischen Argumenten, um ein Darstellen und Abwägen der Ansichten von Opponenten und Proponenten der neuen Technik. Das geschah jedoch keineswegs wertneutral. Eigene Ansichten wurden in fünf Thesen formuliert, die hier noch einmal zusammengefaßt werden:

1. Es ist ein Gebot gesellschaftlicher Verantwortung und sozialistischer Demokratie, an der Entscheidungsfindung, welche Zielsetzungen durch gentechnologische Arbeiten erreicht werden sollen, eine breite Öffentlichkeit zu beteiligen. Dazu gehört auch eine sachgerechte Information über mit diesen Arbeiten verbundene mögliche Gefahren.

2. Diskussionen über Chancen und Risiken der Gentechnik sollten immer in einem konkreten Sachzusammenhang geführt werden.

3. Die Einführung gentechnischer Verfahren in die Produktion ist in interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Entwicklern und Anwendern sorgfältig vorzubereiten. Zunächst als unerheblich angesehene Restrisiken sind sorgfältig zu verfolgen und dafür gegebene Gefahrenmomente schrittweise auszuschließen. Dazu bedarf es einer begleitenden Kontrolle durch kompetente epidemiologisch-hygienische Untersuchungen und einer ständigen medizinischen Überwachung des beteiligten Personals.

4. Gentechnisch manipulierte Mikroben können einen Beitrag zur Minderung der steigenden Belastung unserer Umwelt durch chemische Schadstoffe und mineralische Düngemittel leisten. Vor ihrem Einsatz ist jedoch das Risiko einer unkontrollierten Ausbreitung und eines möglichen Gentransfers in andere Organismen sorgfältig zu klären.

5. Bevor an die Einführung gentechnisch manipulierter Pflanzen in die Agrarwirtschaft gegangen wird, sind die damit verbundenen Konsequenzen in Zusammenarbeit von Wissenschaftlern der verschiedensten Fachgebiete weitgehend zu bedenken. Eine Entscheidung kann nur auf der Grundlage einer entwickelten experimentellen Risikoforschung getroffen werden. Sie sollte unter Einbeziehung einer über die vorhandene Problematik gut informierten gesellschaftlichen Öffentlichkeit und insbesondere der potentiellen Anwender erfolgen.

Zuzustimmen ist der Auffassung: „Den Problemen unserer Welt können wir auch zukünftig nicht mit weniger, sondern nur mit mehr Wissenschaft, Gentechnik eingeschlossen, begegnen. Aber auch Gentechnik darf nicht um ihrer selbst willen betrieben werden; ihr Einsatz bedarf stets einer gründlichen Analyse. Alternative Techniken, mögliche Risiken, Umwelt- und Sozialverträglichkeit müssen umfassend diskutiert, und schließlich und vornehmlich muß das zu erreichende Ziel selbst einer kritischen Wertung unterzogen werden“ (U. Wobus, Biol. Schule 37, 1988, S. 391–92). Ich glaube, die hier vorgelegte Studie belegt diese Ansicht.

Erklärung der wichtigsten, im Text gebrauchten Fachausdrücke

<i>Aminosäure</i>	Grundbaustein der Eiweiße
<i>Amylase</i>	stärkeabbauendes Enzym; findet u. a. Anwendung in der Lebensmittelindustrie (z. B. als Hilfsstoff in der Brennerei)
<i>Antikörper</i>	körpereigene Eiweiße, die zur Abwehr eingedrungener Fremdstoffe (Antigene) dienen
<i>Bakterium</i>	einzelliger Mikroorganismus, der keinen echten Zellkern besitzt
<i>Bakteriophagen</i>	Bakterienviren (= Phagen), die sich nur nach Infektion einer Bakterienzelle vermehren können
<i>Bazillus</i>	(hier:) Bodenbakterium, das zur Herstellung verschiedener Enzympräparate in der Fermentationsindustrie eingesetzt wird
<i>Chromosom</i>	wichtigster genetischer Informationsträger. Der Name stammt von den anfärbbaren Fäden in den Zellkernen. Wesentlicher Bestandteil ist Desoxyribonukleinsäure
<i>Desoxyribonukleinsäure</i>	= DNA. Makromolekül, bestehend aus Nukleotiden. Enthält die genetische Information einer Zelle in linearer Folge. Zusammengesetzt aus den Basen Adenin, Guanin, Cytosin und Thymin, Desoxyribose und Phosphorsäureresten. Normalform ist die doppelsträngige Alpha-Helix
<i>Enzym</i>	Eiweiße, die als biologische Katalysatoren (Beschleuniger) der in der Zelle ablaufenden chemischen Reaktionen wirken
<i>Exon</i>	Abschnitt der DNA eines Mosaikgens, der eine spezifische Aminosäuresequenz des jeweiligen Genproduktes kodiert
<i>Faktor VIII</i>	aus Blutfraktionen isolierter Gerinnungsfaktor, der den Wundverschluß bewirkt; muß Blutern künstlich zugesetzt werden
<i>Gen</i>	definiert als kleinste Einheit der Vererbung. DNA-Abschnitt, der die genetische Information für die Kodierung eines Eiweißes enthält

<i>Genexpression</i>	Bezeichnung für die Realisierung der genetischen Information eines Gens
<i>genetischer Code</i>	Folge von drei Nukleotiden, die jeweils eine bestimmte Aminosäure „abrufft“
<i>Genom</i>	Gesamtheit der Gene einer Zelle
<i>Globin</i>	Eiweiße, die das komplexe Hämoglobinemolekül bilden. Z. B. besteht Hämoglobin A aus jeweils zwei Alpha- und zwei Beta-Globinen
<i>Globulin</i>	Gruppe von chemisch verwandten Eiweißen
<i>Hybridmolekül</i>	Molekül, das aus unterschiedlichen Eiweißen (z. B. Enzymen) zusammengesetzt ist
<i>Hybridom</i>	Mischzellen aus Krebs- und Antikörperproduzierenden Zellen, die zur Produktion monoklonaler Antikörper verwendet werden
<i>Immunsystem</i>	körpereigenes Abwehrsystem gegen Krankheitserreger und andere eindringende Fremdstoffe. Dabei Ausbildung von Antikörpern durch Lymphozyten
<i>Insulin</i>	Hormon, das den Blutzuckerspiegel reguliert
<i>Interferon</i>	Eiweiße mit hemmender Funktion für die Virusvermehrung (virostatische Wirkung)
<i>Intron</i>	genetisch inaktiver Teil in Mosaikgenen
<i>Keimbahn</i>	Teile des Organismus, die Geschlechtszellen produzieren
<i>Klon</i>	eine Kolonie identischer Zellen
<i>Klonierung</i>	experimentelle Erzeugung genetisch identischer Individuen (Zellen)
<i>Kodon</i>	siehe genetischer Code
<i>Kultivar</i>	durch Züchtung erzeugte Kulturpflanze
<i>Ligase</i>	Enzym, das zwei Enden der DNA zusammenfügt
<i>Lymphozyte</i>	Zelle der Körperflüssigkeit mit Fähigkeit zur Antikörperbildung
<i>monoklonal</i>	monoklonale Antikörper reagieren mit ein- und demselben Antigen. Sie können durch Hybridomzellen experimentell erzeugt werden

In der Reihe „Hefte aus Burgscheidungen“ erschienen zuletzt:

- 240 Werner Wünschmann, Aus christlicher Ethik und Tradition – Christliche Künstler in der sozialistischen Gesellschaft
- 241 Wolfgang Heyl, Einklang von Rationalität und Humanität – Zu sozialetischen Aspekten der Volkswirtschaft der DDR
- 242 Carl Ordnung, Verantwortung für Frieden und Wohlfahrt der Völker – Die Aktualität des Darmstädter Wortes von 1947
- 243 Christliche Existenz im sozialistischen Staat – Zeugnisse zu Weg und Wirken von Christen in der Welt
- 244 Gerhard Fischer, Albert Schweitzer heute – Die Aktualität seiner Ethik und der Fortgang seines Werkes in Lambaréné
- 245 Erhard Geißler, Den Schöpfer spielen? – Ethische Fragen der Gentechnologie
- 246/7 Zeittafel zur Geschichte der CDU 1945–1987
- 248 Joachim Graf, Option für die Armen – Zum Hirtenbrief der katholischen Bischofskonferenz der USA „Wirtschaftliche Gerechtigkeit für alle“
- 249 Lothar Oppermann, Für das Wohl unserer Kinder – Zu aktuellen schulpolitischen Aufgaben
- 250 Hans-Dieter Döpman, 1000 Jahre Russische Orthodoxe Kirche – Ein Abriß ihrer Geschichte vom Heiligen Wladimir bis zur Gegenwart
- 251 Peter Tille, Ernst Barlach – Eine Skizze seines Lebens und Wirkens
- 252 Carl Ordnung, Friede – Verheißung und Auftrag – Zum 30. Jahrestag der Christlichen Friedenskonferenz
- 253/4 Dietmar Czok, Nutzen und erhalten – Christliche Demokraten für Landeskultur und Umweltschutz
- 255 Günter Wirth, Die deutsche evangelische Kirche und die Novemberrevolution – Eine kritische Untersuchung
- 256 Hans-Hinrich Jenssen, Schöpfung durch Entwicklung – Darwinismus und christlicher Glaube
- 257 Renate Oshlies, Zum Beispiel Fritz Selbiger – Zeugen und Zeugnisse zur faschistischen Judenverfolgung
- 258 Winfried Wiesemüller, Brot für alle! – Probleme und Erfordernisse der Welternährung