

Dieser Beitrag ist erschienen in

Nachhaltigkeit als Forderung für die Wissenschaftsentwicklung
Rohrbacher Manuskripte, Heft 9, Herausgegeben von Rudolf Rochhausen.
Rohrbacher Kreis, Rosa-Luxemburg-Stiftung Berlin 2002

Alle Rechte des Beitrags liegen beim Autor.

Der Beitrag kann unter den Konditionen der Creative Commons Lizenz BY-ND
(Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0) frei verbreitet werden.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/de>

Vertrieb des ganzen Hefts durch Osiris-Druck Leipzig,

<http://www.osiris-onlineshop.de>

INHALT DES HEFTS

Rudolf Rochhausen: Begrüßung.	5 - 6
Rudolf Rochhausen: Wissenschafts- und Technikentwicklung im Rahmen von Nachhaltigkeit und die Bedeutung einer Wissenschaftsethik.	7 - 27
Eva Lehmann: Einige Überlegungen zum Verhältnis von Ethik und Freiheit der wissenschaftlichen Forschung.	28 - 46
Ruth Milachowski: Globaler Wandel und Herausforderungen an die Forschung in der BRD.	47 - 60
Rolf Löther: Genetik und ihre Anwendung.	61 - 80
Herbert Hörz: Über die Einheit des naturwissenschaftlichen Weltbildes.	81 - 112
Reinhold Krampitz: Tendenzen moderner Technik-Entwicklung.	113 - 133
Volker Caysa: Vom Recht des Körpers oder: Wie ist eine nachhaltige Körper- technologisierung möglich.	134 - 142

ROLF LÖTHER

Genetik und ihre Anwendungen

Lebewesen entstehen durch Selbstreproduktion aus ihresgleichen. »Elternzeugung« oder »Fortpflanzung« nennt man diesen Vorgang. Für jedes Lebewesen gibt es ein anderes Lebewesen, das sein unmittelbarer Vorfahre, sein Elter ist, und dessen unmittelbarer Nachkomme, dessen Kind es ist. Bei den sich zweieltrig-sexuell reproduzierenden Lebewesen, zu denen die Menschen gehören, sind die Kinder unmittelbare Nachkommen eines Elternpaares. Erfahrungsgemäß sind die Kinder ihren Eltern, die Nachkommen ihren Vorfahren ähnlich. Das lässt darauf schließen, dass die Eltern ihren Kindern bei der Zeugung etwas mitgeben, aus dem diese Ähnlichkeit resultiert und das bedingt, was in physischer und psychischer Hinsicht unter bestimmten Lebensumständen aus ihnen wird oder werden kann. Dieser Vorgang der Übertragung von etwas, auf dem die Ähnlichkeit von Vorfahren und Nachkommen beruht, heißt Vererbung und die Wissenschaft von der Vererbung ist die Genetik. Doch lange vor der Entstehung dieser Wissenschaft gab es Vorstellungen über die Vererbung, die auch heute noch nachwirken.

ZWEI KONZEPTIONEN DER VERERBUNG

Seit alters herrschten bei Gebildeten und Ungebildeten Vorstellungen, die darauf hinauslaufen, dass der tierliche Keim und der pflanzliche Samen gleichsam einen konzentrierten Auszug aus den elterlichen Organismen enthalten, wie sie zur Zeit der Zeugung beschaffen waren. Aus diesem Extrakt, so glaubte man, entstehe der seinen Eltern ähnliche neue Organismus. Manche Autoren, zuletzt noch Charles Darwin in seiner provisorischen Pangenesis-Hypothese, gestalteten diese Auffassung durch Vorstellungen über in den Teilen der Lebewesen gebildete Partikel aus, die in die Keimzellen gelangen und dort das Ausgangsmaterial für die Fortpflanzung bilden. Eben diese Auffassung lag auch dem Glauben an eine Vererbung während der Individualentwicklung erworbener Eigenschaften zugrunde, bis zur Konsequenz einer Vererbung von Verstümmelungen. »... man soll z.B. eine schwanzlose Hunderrasse dadurch gezogen haben, dass man mehrere Generationen hindurch beiden Geschlechtern des Hundes den Schwanz abschnitt. Nach Stöckhard kam hier in der

Nähe von Jena auf einem Gut der Fall vor, dass beim unvorsichtigen Zuschlagen des Stalltores einem Zuchtstier der Schwanz an der Wurzel abgequetscht wurde, und die von diesem Stier erzeugten Kälber wurden sämtlich schwanzlos geboren. Neuerdings sind bestätigende Beobachtungen über diese Erscheinung bei Hunden, Katzen und Mäusen von fünf verschiedenen Beobachtern mitgeteilt worden«, erzählte beispielsweise Ernst Haeckel¹.

Es ist die Konzeption der *unmittelbaren Vererbung*, von der hier die Rede ist. Der Glauben an eine Vererbung erworbener Eigenschaften wird gewöhnlich »Lamarckismus« genannt, doch geht er keineswegs auf Jean Baptiste Lamarck zurück. Dieser hatte nur, wie noch manch anderer nach ihm, bis zu Darwin und Haeckel, in die Wissenschaft übernommen, was allgemein für eine Tatsache gehalten wurde. Zuletzt lag die Konzeption der unmittelbaren Vererbung mit ihrer Weiterung von der Vererbung erworbener Eigenschaften noch der so genannten Mitschurin-Biologie zugrunde, einer Pseudowissenschaft, die Trofim D. Lyssenko und seine Anhänger mit der Unterstützung Stalins, der KPdSU und des Sowjetstaates, einschließlich seiner Geheimpolizei, etabliert hatten.² Die Vertreter dieser Richtung beriefen sich auch auf Marx und den dialektischen Materialismus. Manche glauben ihnen das bis heute als berechtigt, die den pseudowissenschaftlichen Charakter des Lyssenkoismus durchschauen und diese Bezugnahme als Argument gegen die marxistische Philosophie benutzen. So ist vermerkwürdig, wenn der berühmte US-amerikanische Evolutionsbiologe Ernst Mayr feststellt: »In Wirklichkeit hat Lyssenkos Pseudowissenschaft nichts mit dem dialektischen Materialismus zu tun. Dass er so viel staatliche Unterstützung erhielt, war seinem politischen Einfluss und der naturwissenschaftlichen Ignoranz von Stalin und Chruschtschow zuzuschreiben. Es wäre ein Fehler, Lyssenkos Ideen dem dialektischen Materialismus als schwarzen Fleck vorzuhalten.«³

Die naturwissenschaftliche Vererbungsforschung hat gezeigt, dass die Konzeption der unmittelbaren Vererbung mitsamt dem Glauben an eine Vererbung erworbener Eigenschaften rein spekulativen Charakter trägt und die Geschichten über eine Vererbung von Verstümmelungen in das Reich der Fabel verwiesen. Sie hat eine andere

¹ Ernst Haeckel: *Natürliche Schöpfungs-Geschichte*. Berlin. 1909, S. 192.

² Rolf Löther: *Lyssenkoismus contra Genetik*. In: *Biologisches Zentralblatt* 115 (1996): 171-176.

³ Ernst Mayr: *Roots of Dialectical Materialism*. In: *Na perelome. Sovjetskaja biologija v 20-30-godach*, Vyp. 1. Hrsg. von Eduard I. Kolcinskij. Sankt Petersburg 1997. S. 15 f.

Auffassung von der Vererbung bestätigt, die Konzeption der *vermittelten Vererbung*. Diese besagt, dass die Vererbung die Funktion besonderer materieller Vererbungsträger ist. Diese bestehen aus diskreten Einheiten, bedingen während der Individualentwicklung der Lebewesen die Ausformung bestimmter Eigenschaften und werden in der Generationenfolge in spezifischer Kontinuität weitergegeben. Darauf beruht die Ähnlichkeit zwischen Eltern und Kindern, Vorfahren und Nachkommen. Diese Konzeption wird hin und wieder seit dem Altertum angedeutet, so in Lukrez' »De rerum natura« sowie bei Tscharaka im altindischen Ayurveda und dann wissenschaftlich begründet und detailliert ausgeführt in der heutigen Genetik.

Als Geburtsurkunde der Genetik gilt bekanntlich Johann Gregor Mendels Abhandlung »Versuche über Pflanzen-Hybriden«, die er im Februar und März 1865 dem »Naturforschenden Verein in Brünn« vorgetragen hatte und die im folgenden Jahr in der Vereinszeitschrift erschien. Darin berichtete er über seine Kreuzungsexperimente mit Erbsenpflanzen, die zur Entdeckung der nach ihm benannten Vererbungsgesetze führte. Als Jahr, in dem die Genetik begründet wurde, gilt jedoch das Jahr 1900, in dem Hugo de Vries, Carl Correns und Erich von Tschermak-Seysenegg mitteilten, dass sie durch eigene Experimente zu Ergebnissen gelangt waren, die denen Mendels entsprachen, und zugleich Mendel für die Biologie entdeckt wurde. Mendels Rolle in der Wissenschaftsgeschichte ist nicht einfach auf einen Begriff zu bringen. »Er ist kein Vorläufer. Ein Vorläufer ist ganz zweifellos jemand, der allen seinen Zeitgenossen vorausgeht, aber er ist auch jemand, der auf einer Strecke halt macht, auf der andere nach ihm bis ans Ende gehen. Mendel ist jedoch bis ans Ende gegangen. Er ist auch kein Gründer, denn ein Gründer könnte nicht von denen ignoriert werden, die auf den von ihm gelegten Fundamenten ein Gebäude errichten. Muss man sich in Ermangelung einer passenden Kategorie mit einem Bild begnügen und sagen, dass es mit dem wissenschaftlichen Werk Mendels gerade so ist, wie mit einem zu früh geborenen Kind, das man hat sterben lassen, weil man nicht darauf vorbereitet war, es zu empfangen?«, schrieb der französische Wissenschaftshistoriker und Epistemologe Georges Canguilhem.⁴ So erscheint es als eine Art postume Wiedergutmachung, wenn Mendel als Begründer der Genetik geehrt wird, deren Geschichte im Jahre 1900 begann.⁵

⁴ Georges Canguilhem: Wissenschaftsgeschichte und Epistemologie. Gesammelte Aufsätze. Frankfurt/Main. 1979, S. 143.

⁵ Evelyn Fox Keller: Das Jahrhundert des Gens. Frankfurt am Main, New York. 2001.

Als ein Fazit der in der Frühzeit der mikroskopischen Anatomie im 17. Jahrhundert einsetzenden Zellforschung definierte der Anatom Max Schultze im Jahr 1861: »Eine Zelle ist ein Klümpchen Protoplasma, in dessen Inneren ein Kern liegt.«⁶ Mendel schrieb 1865: »Die unterscheidenden Merkmale zweier Pflanzen können zuletzt doch nur auf Differenzen in der Beschaffenheit und Gruppierung der Elemente beruhen, welche in den Grundzellen derselben in lebendiger Wechselwirkung stehen.«⁷ Letztlich sind es diese Elemente, die der dänische Vererbungsforscher Wilhelm Johannsen später »Gene« nannte, und die Mendelschen Vererbungsgesetze sind statistische Gesetze der Verteilung von Genen in aufeinanderfolgenden Generationen in Populationen (Fortpflanzungsgemeinschaften) sich zweieltrig-sexuell reproduzierender Lebewesen. Die Fortschritte der Zellforschung seit den 60er Jahren des 19. Jahrhunderts aber bestanden zu einem guten Teil in der Entdeckung der Strukturen und Prozesse der Zellen, auf die sich die Befunde der mendelistischen Kreuzungsexperimente zurückführen ließen, also Chromosomen, Zellteilungen (Mitose und Meiose) und Befruchtung. Dieser wissenschaftshistorische Vorgang ging mit reger Hypothesenbildung über das materielle Substrat der Vererbung in den Zellen, seiner Lokalisation, Struktur und Funktion, einher. Am Ende dieses Vorgangs stand die Gen- und Chromosomentheorie der Vererbung, in der die Ergebnisse des Mendelismus und der Zellforschung zur Synthese geführt wurden und mit der die klassische Genetik begann. In ihr begann die experimentelle Erforschung auch der Erbänderungen (Mutationen), nachdem Hermann Joseph Muller 1926 die mutagene Wirkung von Röntgenstrahlen entdeckt hatte. Was die Angelegenheit mit der Vererbung erworbener Eigenschaften betrifft, wurde durch die klassische Genetik klargestellt, dass nicht Eigenschaften, sondern Gene vererbt werden. Die Eigenschaften der Organismen bilden sich in der Wechselwirkung von Genen und Umwelt heraus. Daraus folgt, dass eine Einteilung der Eigenschaften in ererbte und erworbene nicht möglich ist, und dass das Problem der Vererbung erworbener Eigenschaften ein Scheinproblem ist.

⁶ Matthias Jacob Schleiden, Theodor Schwann, Max Schultze: *Klassische Schriften zur Zellenlehre*. Leipzig. 1987, S. 139 f.

⁷ Gregor Mendel: *Versuche über Pflanzen-Hybriden*. In: Gregor Johann Mendel 1822-1884. Hrsg. von Jaroslav Krízenecký. Leipzig 1965. Jan Janko, Anna Matálová: *Johann Gregor Mendel (1822-1884)*. In: Darwin & Co. *Eine Geschichte der Biologie in Portraits*. Hrsg. von Ilse Jahn, Michael Schmitt. München 2001. Bd. I Rolf Löther: *Wegbereiter der Genetik – Gregor Johann Mendel und August Weismann*. Leipzig, Jena, Berlin. 1989.

VON DER KLASSISCHEN GENETIK ZUR GENOMFORSCHUNG

Die Untersuchung der Lebenserscheinungen war den Weg von den Organismen zu den Organen und weiter zu den Geweben und Zellen gegangen und hatte folgerichtig zu den innerzellulären Strukturen und Prozessen geführt. Schließlich gelangte sie auf die molekulare Ebene, auf der sich Biologie und Chemie trafen. Aus der Verbindung von organischer (Naturstoff-)Chemie und biologischer Fragestellung begann sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Biochemie herauszubilden. Richtungweisend erklärte der Biotheoretiker August Weismann: »Das Wesen der Vererbung beruht auf der Übertragung einer Kernsubstanz von spezifischer Molekularstruktur...«⁸. Schon 1869 hatte der Schweizer physiologische Chemiker Friedrich Miescher bei der Analyse von Eiterzellen im Laboratorium von Felix Hoppe-Seyler in Tübingen, dem ersten physiologisch-chemischen Laboratorium (physiologische Chemie war die medizinische Version von Biochemie), einen Stoff entdeckt, den er »Nuklein« nannte, und den er später in Basel aus dem Sperma von Lachsen gewann, die damals noch in großen Scharen zum Laichen rheinaufwärts zogen, und untersucht. Später wurde daraus die Desoxyribonukleinsäure (DNS) isoliert und analysiert, doch erst 1944 wurde diese von Oswald Avery (USA) als der Stoff identifiziert, aus dem die Gene bestehen und 1953 von den späteren Nobelpreisträgern Francis Crick und James Watson seine Molekularstruktur zu Ende aufgeklärt. Mit Averys Entdeckung begann die Molekulargenetik.

Die Makromoleküle der DNS bestehen aus Atomen der chemischen Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Phosphor, die in spezifischer Anordnung miteinander verknüpft sind. Ihre Funktion besteht darin, dass sie die Information (genetische Information oder Erbinformation) für die Reihenfolge der Aminosäuren tragen, aus denen die Proteine der Zelle aufgebaut sind. Kodiert ist diese Information in vier verschiedenen Untereinheiten der DNS-Makromoleküle und deren Abfolge, den Nukleotid-Basen Guanin (G), Cytosin (C), Thymin (T) und Adenin (A), ähnlich wie beispielsweise mittels des Morsealphabets Informationen durch Punkte, Striche und Zwischenräume kodiert werden. Gruppen aus drei Nukleotiden kodieren jeweils eine bestimmte Aminosäure, z.B. CCA die Aminosäure Glycin. 1965 war der

⁸ August Weismann: Die Continuität des Keimplasmas als eine Theorie der Vererbung., Jena. 1892, S. 25.

genetische Kode im wesentlichen entschlüsselt. In der Proteinbiosynthese der Zelle wird genetische Information in Proteine umgesetzt, die Basensprache der DNS in die Aminosäurensprache der Eiweiße übertragen. Im System der Zelle wird auch die DNS repliziert. In der Aufeinanderfolge der Zellen und der Generationen der Lebewesen wird sie und damit die genetische Information weitergegeben.

In der klassischen Genetik galt die Lehrmeinung, dass jedes Gen an jeweils bestimmter Stelle auf einem bestimmten Chromosom seinen Ort hat und die Gene in der Aufeinanderfolge der Generationen bei der Fortpflanzung von den Vorfahren auf die Nachkommen übertragen werden. Beide Auffassungen wurden durch die Entdeckung von »springenden Genen«, transponiblen DNS-Fragmenten (Transposons) korrigiert. Solche beweglichen Elemente im Genbestand hatte die US-amerikanische Genetikerin Barbara McClintock bereits in den 40er Jahren des 20. Jahrhunderts bei Experimenten zur genetischen Regulation der Körnerfarbe des Mais entdeckt. Ihre Mitteilung darüber stieß auf Unverständnis, weil sie der herrschenden Lehrmeinung widersprach. Als richtig und bahnbrechend wurden ihre Befunde erst anerkannt, nachdem in den 70er Jahren bei Bakterien und Phagen bewegliche Träger genetischer Information festgestellt wurden, die sich ähnlich wie die von McClintock beschriebenen verhalten. »Springende Gene« wurden auch bei der Taufliege (*Drosophila*) und anderen Tieren entdeckt, ihre Beschaffenheit und Funktionsweise aufgeklärt. Inzwischen werden bei Eukaryonten und Prokaryonten bereits mehrere Klassen von Transposons unterschieden. Vielfach belegt ist, dass DNS-Elemente während der individuellen Entwicklung von Lebewesen ihre Position ändern. Und durch sie gibt es eine »horizontale« Übertragung von genetischer Information neben der »vertikalen« Informationsübertragung in der Generationenfolge. Horizontale Übertragung genetischer Information hat beispielsweise wesentliche Bedeutung für die Anpassung krankheitserregender Bakterien an Antibiotika (Antibiotikaresistenz), die auf durch Plasmide vermittelten Genen beruht. Konjugative Übertragung von Plasmiden ist bei gramnegativen Bakterien prinzipiell zwischen allen Bakterien dieser großen Gruppe möglich, jedoch nicht zwischen gramnegativen und grampositiven Bakterien.

»Aus zwanzig Aminosäure-Buchstaben schuf die Natur eine Sprache, die – durch geringfügige Umstellungen der Nukleotiden-Silben – Phagen, Viren, Bakterien, Tyrannosaurier, Termiten, Kolibris, Wälder und Völker zum Ausdruck bringt – sofern sie nur genügend Zeit zur Verfügung hat«, schrieb der polnische Schriftsteller (und Philosoph)

Stanislaw Lem.⁹ »Diese so völlig atheoretische Sprache antizipiert nicht nur die Verhältnisse auf dem Grund der Ozeane und auf den Höhen der Berge, sondern auch den Quantencharakter des Lichts, die Thermodynamik, die Elektrochemie, die Echo-lokation, die Hydrostatik und Gott weiß was noch alles, was wir bisher nicht wissen! Sie tut das lediglich >praktisch<, denn alles bewirkend, versteht sie nichts – doch wie viel wirksamer ist ihre Vernunftlosigkeit als unsere Klugheit! Sie tut das fehlerhaft, sie ist ein verschwenderischer Verwalter von synthetischen Sätzen über die Eigenschaften der Welt, denn sie kennt deren statistische Natur und handelt gerade ihr entsprechend: einzelnen Sätzen misst sie keine Bedeutung bei – für sie zählt die gesamte milliarden-jährige Aussage. Wahrlich, es lohnt sich eine Sprache zu lernen, die Philosophen hervorbringt, während die unsere nur Philosophien erzeugt.«

Im Zusammenhang mit der Molekulargenetik sind eine Reihe neuer biologischer Arbeitsgebiete entstanden: die Genomforschung oder Genomik, die Proteinforschung oder Proteomik, die Bioinformatik und die Gentechnologie.

- Ziel der *Genomik* ist es, mit Hilfe von Robotern und Computern die DNS-Basenfolgen und Gene zu katalogisieren, welche die Lebewesen einer Art besitzen, die Funktion jedes Gens zu bestimmen und die Wechselbeziehungen zwischen den Genen aufzudecken.
- Die Genomik wird von der *Proteomik* ergänzt, der Bestandsaufnahme und Untersuchung der Proteine, die in den Genen des Genoms kodiert sind, ihrer Struktur und Funktion.
- Aufgabe der *Bioinformatik* ist es, die von der Genomik und zunehmend auch von der Proteomik gelieferte Datenflut zu verarbeiten, zunächst zu ordnen und zu verwalten. Diesem Zweck dienen große Datenbanken, die über das Internet zugänglich sind, in denen nach Informationen gesucht werden kann und in die neue Daten eingespeist werden können. Weiter geht es darum, die gespeicherten Daten in Wissen umzuwandeln: in den Basensequenzen der DNS Gene zu identifizieren und ihre Funktion aufzuklären, die Struktur und Funktion von Proteinen zu erkennen und die Wechselwirkung von Genen und von Proteinen in Computern zu simulieren.
- Unter *Gentechnologie* wird ein Komplex von Methoden und ihnen zugrundeliegenden Kenntnissen verstanden, die der Analyse, gezielten Veränderung und Neukombination von Genen sowie zellulären Mechanismen der Genaktivität

⁹ Stanislaw Lem: *Summa technologiae*. Berlin. 1980, S. 565 f. Zur Zeit sind 22 in Lebewesen vorkommende Aminosäuren bekannt.

(Replikation, Expression) dienen sowie deren Einschleusung in Zellen. Im weiteren Sinne werden auch Methoden der Zellfusion und der Manipulation von Gameten dazugezählt.

In Verbindung mit der Gentechnologie werden häufig zwei Gebiete genannt, die nicht zur Genetik gehören: das Klonen und die Stammzellforschung.

- Unter einem Klon versteht man in der Biologie eine Gesamtheit von Lebewesen und jedes ihrer Mitglieder, die durch eine Form von ungeschlechtlicher Fortpflanzung entstanden sind. Jede Erdbeer- oder Kartoffelsorte beispielsweise ist ein Klon. Klone sind im Prinzip genetisch identisch. Von *Klonen* oder *Klonieren* als Tätigkeit aber ist die Rede, wenn Wissenschaftler die ungeschlechtliche Vermehrung eines Lebewesens bewirken, z.B. die Erzeugung des berühmten Klon-Schafes Dolly.
- Stammzellen sind Zellen, denen auf dem Wege von der befruchteten Eizelle zum hochdifferenzierten, aus vielen Zellarten bestehenden Organismus mehr oder weniger große Differenzierungsmöglichkeiten eigen sind. Beim Menschen sind die Zellen bis zum 8-Zellenstadium totipotent, d.h. aus jeder Zelle kann ein Mensch werden. Im Blastocystenstadium lassen sich aus der Zellmasse pluripotente embryonale Stammzellen gewinnen, wobei der Embryo getötet wird. Adulte oder somatische Stammzellen gelten als multipotent. Bei adulten Stammzellen aus dem Knochenmark erwachsener Ratten und Mäuse konnte jüngst ein Differenzierungspotential nachgewiesen werden, das an das von embryonalen Stammzellen herreicht. Auch Nabelschnurblut enthält Stammzellen. Von der *Stammzellforschung* wird viel für die regenerative Medizin erwartet, wobei gegen die Verwendung embryonaler Stammzellen wegen der dafür erforderlichen Tötung von menschlichen Embryonen schwerwiegende moralische Bedenken sprechen.

Klonieren und Stammzellforschung entstammen dem Komplex von Zellbiologie und Entwicklungsbiologie. Beim Klonieren kommt noch die Reproduktionsbiologie hinzu. Die Gentechnologie tritt mit diesen Gebieten in Beziehung, wenn es darum geht, Klone oder Stammzellen genetisch zu manipulieren.

BIOTECHNIK

Die großen Anwendungsgebiete der Genetik sind die Biotechnik und die Medizin. Biotechnik können wir mit dem Botaniker Hans Joachim Bogen als »die planmäßige

Indienststellung anderer Lebewesen«¹⁰ definieren. Doch weitete er den Begriff übermäßig aus, indem er auch biotische Phänomene, wie die sogenannten Pilzgärten von Ameisen und Termiten, einbezog, bei denen aber das Merkmal der Planmäßigkeit fehlen dürfte. Andererseits engte er ihn ein, indem er die Indienststellung anderer Lebewesen durch den Menschen auf »die Nutzung von (>gezähmten<) Mikroorganismen mit technischen Mitteln«¹¹ begrenzte. Diese Begrenzung ist heute in der Regel der Fall, wenn über Biotechnik und die dazugehörige Wissenschaft Biotechnologie gesprochen und geschrieben wird. Dabei bleibt die Landwirtschaft außen vor, desgleichen die Forstwirtschaft und die Aquakultur (Fischfarmen, Shrimpsfarmen und dergleichen), wo doch auch andere Lebewesen in den Dienst des Menschen gestellt werden, um – dies wäre bei Bogen zu ergänzen – materielle Güter zu produzieren.

Der Begriff der Biotechnologie wurde 1917 von dem ungarischen Agraringenieur Karl Ereky eingeführt. In seiner Schrift »Biotechnologie der Fleisch-, Fett- und Milcherzeugung im landwirtschaftlichen Großbetrieb« (1919) wies er »alle Arbeitsgänge, bei denen aus Rohstoffen mit Unterstützung lebender Organismen Konsumartikel erzeugt werden, dem Gebiete der Biotechnologie zu«¹². Den Begriff bildete Ereky in Analogie zur Chemischen Technologie. Der Agraringenieur wollte die traditionelle bäuerliche Wirtschaft durch eine kapitalistische Landwirtschaftsindustrie ersetzen, die auf wissenschaftlichen Erkenntnissen basiert. Seine Schweinemastbetriebe würden auch heute zu den größten Unternehmen ihrer Branche gehören. Die Schweine beschrieb er als »biotechnologische Arbeitsmaschinen«, die sorgfältig berechnete Futtermengen in Fleisch umwandeln. Nach dem 1. Weltkrieg war Ereky Ernährungsminister des konterrevolutionären ungarischen Horthy-Regimes.

Schon in den 20er Jahren des vorigen Jahrhunderts begann die Verschiebung des Begriffes »Biotechnologie« von der Landwirtschaft auf die mikrobiologische Industrie, während die Landwirtschaft weggelassen wurde, wie es heute die Regel ist. Das war auch nicht schwierig, handelt es sich doch wie in der Landwirtschaft um Stoffproduktion vermittelt biotischer Systeme und fällt unter Ereky's allgemeine Definition. In einer vom Bundesministerium für Bildung und Forschung herausgegebenen Schrift heißt es sogar irreführend: »Der Begriff >Biotechnologie< wurde 1919 von dem

¹⁰ Hans Joachim Bogen: Knaurs Buch der Biotechnik. Gezähmt für die Zukunft. München, Zürich. 1976, S. 12.

¹¹ Hans Joachim Bogen: Knaurs Buch der Biotechnik. S. 9.

¹² Robert Bud: Wie wir das Leben nutzbar machten. Ursprung und Entwicklung der Biotechnologie. Braunschweig, Wiesbaden. 1995, S. 35.

ungarischen Ingenieur Karl Ereky geprägt und als Summe aller Verfahren definiert, mit denen Produkte aus Rohstoffen unter Zuhilfenahme von Mikroorganismen [sic!] erzeugt werden.«¹³

In den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts hatten es einige Dozenten aus dem landwirtschaftlichen Fachschulwesen der DDR unternommen, zur Ausbildung der Fachleute für industriemäßige Produktionsverfahren die Agrarproduktion in technologischer Hinsicht zu untersuchen und die Konzeption einer biologischen Technologie auszuarbeiten, die Landwirtschaft und mikrobiologische Industrie einbezieht.¹⁴ Es ist zu wünschen, dass dieser Ansatz wieder aufgenommen und kritisch und konstruktiv weitergeführt wird. Die Begriffe »Biotechnik« und »Biotechnologie« werden in diesem Vortrag jedenfalls generell auf die Stoffproduktion vermittelt biotischer Systeme bezogen, seien es die landwirtschaftliche Tier- und Pflanzenproduktion oder die mikrobiologische Industrie.

Nach diesem Verständnis wird mit der heute üblichen Verwendung des Begriffes »Biotechnologie« ein Zweig einer umfassenden biologischen Technologie hervorgehoben, in dem sich die Entwicklung der Biologie, wesentlich auch der Genetik, umwälzend auf die industrielle Produktion auswirkt. Es handelt sich um eine natur- und technikwissenschaftlich fundierte, anwendungsorientierte Wissenschaft, die sich mit der Nutzung der Biosyntheseleistungen lebender Zellen (Mikroorganismen, tierische und pflanzliche Zellen) oder daraus gewonnener Enzyme (Biokatalysatoren) zur Gewinnung und Umwandlung von Stoffen im Rahmen industrieller Produktionsverfahren oder zum Abbau oder zur Umwandlung von Schadstoffen im Rahmen des Umweltschutzes (Umwelt-Biotechnologie) befasst.¹⁵ Besonders betont wird die Verbindung der Biotechnologie mit der Technischen Chemie und der Verfahrenstechnologie.

¹³ Perspektiven moderner Biotechnologie und Gentechnik. Hrsg. vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. Bonn. 2000, S. 7.

¹⁴ Fritz Haseloff: Einige biologisch-philosophische Probleme der biologischen Technologie in der Agrarproduktion. Phil. Diss. Humboldt-Universität. Berlin. 1971; H.-J. Holland, U. Nürnberg, L. Reinbrecht: Biologie – Agrarpopulation. Lehrbuch der Agraringenieurschulen. Berlin. 1977.

¹⁵ Rainer Buchholz: Biotechnik – eine alte und neue Technik. In: Jahrhundertwissenschaft Biologie?! Aktueller Stand der Biowissenschaften in Deutschland. Hrsg. von Paul Präve. Weinheim, New York, Basel, Cambridge 1992. Dieter Klämbt, Horst Kreiskott, Bruno Streit (Hrsg.): Angewandte Biologie. Weinheim, New York, Basel, Cambridge 1991. Alexander Schluttig: Umwelt-Biotechnologie. Mikroben für eine gesündere Umwelt. Leipzig, Jena, Berlin. 1990.

In der Geschichte der mikrobiologischen Biotechnologie werden verschiedene Etappen unterschieden. Als *Etappe der klassischen Biotechnologie* wird der viele Jahrtausende währende Zeitraum angesehen, in dem die Lebenstätigkeit von Mikroorganismen genutzt wurde, um Wein, Bier, Branntwein und Essig, Brot und Käse, Sauerkraut, saure Gurken und andere Produkte zu erzeugen, ohne etwas von Mikroorganismen zu wissen.

Die *Etappe der modernen Biotechnologie* begann in den 60er Jahren des 19. Jahrhunderts mit den mikrobiologischen Entdeckungen Louis Pasteurs und Robert Kochs. Sie ist durch die bewusste Nutzung und Beeinflussung von Mikroorganismen charakterisiert. Eingeleitet wurde sie durch die von Pasteur zwischen 1857 und 1860 angestellten Untersuchungen der alkoholischen und der Milchsäuregärung, die von Hefen bzw. Bakterien bewirkt werden. Die Untersuchungen waren von industrieller Seite angeregt worden und führten dazu, die Wein-, Bier- und Essigherstellung wissenschaftlich zu durchdringen und zu kontrollieren sowie die Konservierung und den Transport von Wein und Bier zu gewährleisten. In dieser Etappe kam es zur industriellen Herstellung von Produkten wie Milchsäure, Buttersäure, Zitronensäure u.a., Zitronensäure beispielsweise mit Mutanten des Schimmelpilzes *Aspergillus niger*. Besonders hervorzuheben ist der Beginn der großtechnischen Gewinnung von Antibiotika, zuerst des Penizillins. In dieser Etappe begann auch die Anwendung der Genetik. Standardisierte Suchprogramme (screening) für neue Mikroorganismen sowie die züchterische Bearbeitung von Produktionsstämmen über den darwinistischen Mutation-Selektion-Mechanismus wurden eingeführt. Das geschah zuerst für die Antibiotika-Produktion, die wegweisend für weitere mikrobiologische Produkte wurde. Weiter ist die Einführung von Zellkulturtechniken und Enzymtechniken in den Produktionsprozess zu nennen.

Mitte der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts begann schließlich die *Etappe der neuen Biotechnologie*, nachdem 1973 in den USA von Stanley N. Cohen und Anni Chang erstmals der horizontale Gentransfer von Lebewesen einer Art (*Staphylococcus-aureus*-Bakterien) in Lebewesen einer anderen Art (*Escherichia-coli*-Bakterien) gelungen war. Im selben Jahr übertrugen die beiden zusammen mit Herbert W. Boyen und seinen Mitarbeitern auch Frosch-Gene in *E. coli*-Bakterien. Damit begann die erfolgreiche Praxis der Gentechnik, während das Wie der Versuche grundlegend für die Methodik der Gentechnik wurde. Das Kennzeichen der neuen Biotechnologie besteht darin, dass die Möglichkeiten der Gentechnik genutzt und die Ergebnisse, so transgene Mikroorganismen und Zellkulturen, in technischen Prozessen eingesetzt werden. Über 40

Arzneimittel-Wirkstoffe und mehrere 100 Substanzen, die für die Diagnose von Krankheiten eingesetzt werden, werden heute weltweit auf gentechnischer Grundlage hergestellt. Gentechnik ist kein Produktionsverfahren. »Gentechnisch erzeugt« heißt vielmehr: mit gentechnisch veränderten, transgenen Organismen erzeugt.

Gentechnik und –technologie bilden die wesentliche innovative Komponente der industriellen Biotechnik und Biotechnologie in ihrer neuen Etappe, sind aber weder mit ihr identisch, noch auf sie beschränkt. Sie entstanden als Instrumentarium molekularbiologischer Grundlagenforschung und bleiben es, und sie haben weitere Anwendungsgebiete. Dazu gehört ihre innovative Rolle in der landwirtschaftlichen Tier- und Pflanzenzüchtung. Durch die Darwinsche Selektionstheorie und die Genetik wurde die seit der Entstehung von Ackerbau und Viehzucht empirisch betriebene Tier- und Pflanzenzüchtung während der ersten beiden Jahrzehnte des 20. Jahrhunderts zur angewandten Wissenschaft. »Landwirtschaftliche Zucht gehört zu jenen Leistungen, die den Menschen der Moderne auszeichnen – vielleicht nicht in der Sensationspresse, aber in der Realität. Durch den Einsatz selektiver Zuchtmethoden wurde die landwirtschaftliche Produktivität um ein Vielfaches gesteigert. Ein Großteil der gegenwärtigen Bevölkerung wäre gar nicht auf der Welt, gäbe es nicht die enormen Ertragszuwächse aufgrund der Anwendung wissenschaftlicher Zuchttechniken. Mit anderen Worten: Es waren Darwin und Mendel, die letztlich dafür verantwortlich sind, dass Malthus widerlegt wurde«, stellt der US-amerikanische Evolutionsbiologe Michael R. Rose fest.¹⁶ Mit der Erwähnung von Malthus spielt er auf dessen Ansicht von der Diskrepanz zwischen Bevölkerungswachstum und Nahrungsmittelerzeugung an.

Die Agrarwissenschaftler Frank Ordon und Wolfgang Friedt weisen darauf hin, dass die »klassischen«, auf Darwin und Mendel basierenden Züchtungsmethoden nach wie vor das Rückgrat der praktischen Pflanzenzüchtung darstellen, jedoch zunehmend Methoden und Techniken der Zell- und Molekularbiologie, einschließlich der Gentechnik, an Bedeutung gewinnen, die sie »biotechnologische« Methoden nennen. »Durch den Einsatz der Biotechnologie wird prinzipiell das Vorgehen in der Sortenzüchtung nicht verändert, d.h. neue Sorten entstehen nach wie vor durch (1) Schaffung von neuer Ausgangsvariation, (2) Selektion von Sortenkandidaten sowie (3) Vermehrung und Erhaltung dieser Sorten. In allen 3 Phasen der Sortenzüchtung eröffnen

¹⁶ Michael R. Rose: Darwins Schatten. Von Forschern, Finken und dem Bild der Welt. Stuttgart, München. 2001, S. 159.

jedoch biotechnologische Verfahren dem Pflanzenzüchter neue Wege...«, schreiben sie.¹⁷ (Im Sinne der in diesem Vortrag favorisierten Bedeutung von »Biotechnologie« wären auch die »klassischen« Züchtungsmethoden biotechnologische Methoden.)

Analoges wie für die Pflanzenzüchtung gilt auch für die Tierzüchtung. Große Erwartungen knüpfen sich an die Kombination der Gentechnik mit der Genomik und der Klonierung. Damit könnten zukünftig Gene mit von der Genomik erkundeter Funktion mittels Gentechnik gezielt in Genomen platziert und durch Klonieren vielzellige Tiere, speziell Säugetiere, damit ausgestattet werden. Mit diesen könnten dann ähnlich wie mit transgenen Mikroorganismen bestimmte Stoffe erzeugt werden, die ihrer Molekülgröße wegen nicht durch transgene Mikroorganismen produziert werden können. Heute schon werden beispielsweise aus der Milch gentechnisch veränderter Schafe therapeutisch wirksame Proteine gegen einige Blut- und Lungenkrankheiten gewonnen - »transgene« Landwirtschaft (farming) mit pharmazeutischem Nutzen, »Pharming« genannt.¹⁸ Das Komplement, die Pharmaproduktion mit gentechnisch veränderten Pflanzen, nennt man »Molecular Farming«. Solche Pflanzen sind ebenfalls in der Lage, große Eiweißmoleküle, z.B. komplexe menschliche Proteine, zu synthetisieren, oder auch antibakterielle Wirkstoffe, die nicht mit transgenen Bakterien erzeugt werden können. Bei transgenen Pflanzen werden z.B. die Blätter geerntet und die synthetisierten Stoffe daraus isoliert.

Wird bei der auf Darwin und Mendel fußenden Tier- und Pflanzenzüchtung Einfluss auf die vertikale Übertragung der Gene in der Generationenfolge gewonnen, wird mit der Gentechnik die horizontale Übertragung von Genen zwischen verschiedenartigen Lebewesen bewirkt. Der Einsatz der Gentechnik befindet sich erst am Anfang seiner Entwicklung. Ihre Nutzung für die Landwirtschaft, die so genannte »grüne Gentechnik« und ihr innewohnende Chancen und Gefahren bilden einen Schwerpunkt der Debatten um die Gentechnik.¹⁹ Gegen die Verwendung von Rohstoffen, die von transgenen

¹⁷ Frank Ordon, Wolfgang Friedt: Von Mendel zum Gentransfer. Grundlagen und aktuelle Methoden der Pflanzenzüchtung. Gelsenkirchen. 1998, S. 38.

¹⁸ Ian Wilmut, Keith Campbell, Colin Tudge: Dolly. Der Aufbruch ins biotechnische Zeitalter. München, Wien. 2000.

¹⁹ Hermann Englert, Robert B. Horsch, Margaret Mellon: Grüne Gentechnik. Risiko oder Rettung für die Welt. In: Spektrum der Wissenschaft. Oktober 2001. S. 56-65. Klaus-Dieter Jany, Claudia Kiener: Gentechnik und Lebensmittel. In: Biologie in unserer Zeit. 31 (2001) 6. S. 344-355. Kurt Reiprich, Joachim Tesch (Hrsg.): Effiziente Pflanzenproduktion mit Hilfe der Gentechnik? Pro & Kontra. Leipzig. 2000. Klaus Wöhrmann/Jürgen Tomiuk/Andreas Sentker: Früchte der Zukunft? Grüne Gentechnik. Weinheim. 1999.

Kulturpflanzen stammen, für Nahrungsmittel – von Gentechnik-Gegnern »Frankenstein-Food« genannt – sowie Züchtung und Anbau solcher Pflanzen wird heftig gestritten. Als Folge werden in Europa bislang keine transgenen Pflanzen kommerziell angebaut. Weltweit wachsen hingegen mittlerweile auf 53 Millionen Hektar gentechnisch veränderte Nutzpflanzen, deren Ernteprodukte über den Welthandel auch auf den europäischen Markt gelangen. Die »rote Gentechnik« der Pharmaproduktion ist inzwischen weithin akzeptiert. Mit »Pharming« und »Molecular Farming« ver-schwimmt allerdings die Abgrenzung von »roter« und »grüner« Gentechnik.

BIOWAFFEN

Es gibt noch ein weiteres Anwendungsgebiet der Biotechnologie, einschließlich der Gentechnologie, das der Öffentlichkeit weitgehend verborgen ist, vor allem sein aktueller Stand: die Indienststellung anderer Lebewesen, um Menschen an Leib und Leben zu schädigen und sie zu töten, die Entwicklung von Biowaffen und ihr Einsatz für Krieg und Terror.²⁰ Mit Biowaffen werden gezielt die Erreger tödlicher Infektionskrankheiten und biogene Giftstoffe verbreitet. Ihr Einsatzspektrum reicht von Anschlägen auf Einzelpersonen bis zur Auslösung von Seuchen und Massenvergiftungen. Auch zum Einsatz gegen Haustiere und Kulturpflanzen sind Biowaffen entwickelt worden, um Trag- und Zugtiere zu vernichten und Hungersnöte zu verursachen.

Biowaffen und biologische Kriegführung haben eine lange Geschichte und ihre klassische, moderne und neue Etappe. Hier können nur wenige Beispiele angeführt werden. Im Altertum warfen die Assyrer vom Mutterkornpilz befallene Roggenkörner in die Brunnen ihrer Feinde. Der Pilz bildet Substanzen, die zu schwersten Vergiftungserscheinungen führen. Die Römer vergifteten das Trinkwasser ihrer Feinde, indem sie Kadaver in ihre Brunnen warfen. In Kriegen des Mittelalters und der Neuzeit wurden die Leichen von Tieren und Menschen, die an ansteckenden Krankheiten gestorben waren, in feindliche Truppenlager und belagerte Städte geschleudert. Als die Tataren die Stadt Kaffa (heute Fedossija), eine genuesische Handelsniederlassung auf

²⁰ Wendy Barnaby: Biowaffen. Die unsichtbare Gefahr. München. 2002. Kurt Langbein, Christian Skalnik, Inge Smolek: Bioterror. Stuttgart, München. 2002. Judith Miller, Stephen Engelberg, William Broad: Virus. Die lautlose Bedrohung. München. 2002. J. R. Möse: Gefahr ohne Grenzen. Biowaffen. Leoben. 2002. Klaus Urban: Das heiße Erbe des Kalten Krieges. Hinterlassenschaften und Hinterbliebene. München. 2000. Als Einführung in die Thematik für LeserInnen mit starken Nerven sei auf Richard Prestons Thriller »Cobra«. München. 2000, verwiesen.

der Krim, belagerten und 1346 unter den Belagerern die Beulenpest ausbrach, beförderten sie die Pestleichen mit Wurfmaschinen in die Stadt. Die Verteidiger kapitulierten, pestinfizierte Einwohner flohen per Schiff nach Genua, Venedig und anderen Mittelmeerstädten und verbreiteten die Seuche. Den Tataren folgten immer wieder Nachahmungstäter im christlichen Abendland. Die Spanier kredenzten im 15. Jahrhundert ihren französischen Feinden Wein, der mit dem Blut von Leprakranken versetzt war. Spanische Konquistadoren im 16. Jahrhundert und britische Militärs im 18. Jahrhundert »beschenkten« Indianer mit Textilien, die von Pockenkranken stammten. Sie lösten damit Epidemien aus, denen ganze Stämme zum Opfer fielen.

Bis ins 19. Jahrhundert wurde benutzt, was vorgefunden wurde. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts wurde die Entwicklung von Biowaffen auf wissenschaftlicher Grundlage vorangetrieben. Das Wissen über Mikroorganismen, biogene Gifte und Infektionskrankheiten sowie die Fortschritte der industriellen Biotechnologie wurden in den Dienst der biologischen Kriegsvorbereitung gestellt. Im 1. Weltkrieg verfügte das kaiserliche Deutschland bereits über diverse biologische Kampfmittel. Deutsche Geheimagenten infizierten in verschiedenen Ländern für die Alliierten bestimmte Pferde, Maulesel, Rinder und Schafe sowie Tierfutter mit Anthrax- und Rotz-Erregern. Für den Einsatz gegen Menschen wurde im 1. Weltkrieg Giftgas bevorzugt. Seit den 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts betrieben die Japaner in der von ihnen okkupierten Mandschurei in großem Umfang die Entwicklung von Biowaffen. Dazu gehörten grausamste massenhafte Experimente an chinesischen Gefangenen. Lebensmittel- und Trinkwasservorräte ganzer chinesischer Städte wurden mit Anthrax, Cholera, Salmonellen und Pest verseucht. Nach dem Ende des 2. Weltkrieges werteten sowohl die USA als auch die Sowjetunion die japanischen Ergebnisse für ihre eigenen Biowaffenprogramme aus, die Bestandteil des Wettrüstens im Kalten Krieg waren. Während des Koreakrieges scheinen die USA prinzipielle Einsatzmöglichkeiten für Biowaffen getestet zu haben.

Ken Alibek, ehemals 1. stellvertretender Direktor von »Biopräparat«, dem sowjetischen Biowaffen-Kombinat, berichtet: In den vergangenen zwanzig Jahren ist es Wissenschaftlern gelungen, Antibiotika resistente Milzbrand-, Pest-, Tularämie- und Rotzkrankheitsstämme zu erzeugen. Die *Biopräparat*-Forschung hat bewiesen, dass die Virulenz von Viren und Bakterien mittels genetischer Manipulation gesteigert werden kann. Damit wurde der Weg für die Entwicklung von Pathogenen bereitet, die gegen existierende Impfstoffe immun sind. Das Arsenal eines zu einem biologischen Angriff entschlossenen Staates oder einer terroristischen Vereinigung könnte Kampfstoffe

enthalten, die auf folgenden Erreger basieren: Tularämie, Milzbrand, Q-Fieber, Fleckfieber, Pocken, Brucellose, Venezolanische Pferdeenzephalitis (VEE), Botulinum-Toxin, Dengue-Fieber, Frühsommermeningoenzephalitis (FSME), Lassafieber, Marburg, Ebola, dem Bolivianischen Hämorrhagischen Fieber (Machupo) und dem Argentinischen Hämorrhagischen Fieber (Junin), um nur einige zu nennen, die in unseren Labors erforscht wurden. Es könnte aber auch bis zu neurologischen Kampfstoffen reichen, die auf der Grundlage körpereigener chemischer Substanzen entwickelt wurden.

Es ist einfacher, einen biologischen Kampfstoff zu entwickeln als ein effektives System der Verteidigung gegen einen biologischen Angriff. Unserem gegenwärtigen Kenntnisstand zufolge können aus mindestens siebzig verschiedenen Arten Bakterien, Viren, Rickettsien und Pilzen Kampfstoffe produziert werden. »Eine zuverlässige Behandlung ist nur bei 20 bis 30 Prozent der Krankheiten, die sie verursachen, möglich.«²¹

Die Wirkung von Biowaffen geht weit über die unmittelbar Betroffenen hinaus, wie die Folgen der Anthrax-Briefe im Herbst 2001 in den USA gezeigt haben. Obwohl nur eine relativ geringe Personenzahl direkt betroffen war, hatten sie in den USA und weit darüber hinaus gravierende psychologische und wirtschaftliche Folgen. Die Einhaltung völkerrechtlicher Konventionen gegen Biowaffen setzt vor allem gegenseitiges Vertrauen und guten Willen voraus, die nur bedingt zu finden sind. Bei terroristischen Vereinigungen ist damit überhaupt nicht zu rechnen. Die Kontrolle ist schwierig, da die Erforschung, Entwicklung und Erzeugung biologischer Kampfstoffe durch die Doppelnutzung legitimer Forschungen und biotechnischer Produktionseinrichtungen kaschiert werden kann. Bioterror größeren Ausmaßes könnte nicht nur die Systeme der medizinischen Versorgung in den industriell entwickelten Ländern zusammenbrechen lassen.

VON DER MEDIZINISCHEN GENETIK ZUR GENETISCHEN MEDIZIN

Wie alle anderen Lebewesen unterliegt auch der Mensch den Gesetzen der Vererbung. Mit den erbbedingten Unterschieden zwischen den Menschen befasst sich die Hu-

²¹ Ken Alibek, Stephen Handelsmann: Bioterror. Tod aus dem Labor. München. 2001, S. 339.

mangenetik.²² Mehr als 90 Prozent der modernen Humangenetik sind medizinische Genetik, beziehen sich auf die genetische Bedingtheit von Erkrankungen. Der englische Kinderarzt Archibald E. Garrod (1857-1936) hat mit seiner Analyse des Auftretens der *Alkaptonurie*, einer Stoffwechselkrankheit, in der Generationenfolge erstmals die Gültigkeit der Mendelschen Vererbungsgesetze für den Menschen belegt. Mit seinem Konzept der »Inborn errors of metabolism« begründete er eines der wichtigsten Arbeitsgebiete der heutigen medizinischen Genetik und Kinderheilkunde.²³ In hohem Maße basiert die Untersuchung der Vererbungsvorgänge beim Menschen auf Vergleichen mit anderen Lebewesen und darauf gegründeten Analogieschlüssen, da sich genetische Experimente mit Menschen verbieten. Medizinische Genetik dient der Diagnose und Therapie genetisch bedingter Krankheiten sowie der Aufklärung und Beratung betroffener Individuen und Familien, besonders im Hinblick auf das Risiko genetisch bedingt kranker Nachkommen, aber auch auf die Chance für gesunde Kinder. Der Vorbeugung von genetischen Defekten durch Maßnahmen des Umweltschutzes dient der Nachweis der Mutagenität von Chemikalien und Strahlen.

In Verbindung mit der Gentechnik entstand das Konzept der (somatischen) Gentherapie: Durch Gentransfer in Körperzellen sollen die Funktionen defekter Gene wiederhergestellt und unerwünschte Genfunktionen unterdrückt werden. Trotz einiger Anfangserfolge befindet sich die Gentherapie noch im Stadium experimenteller Grundlagenforschung. Wie der Biochemiker Volkmar Gieselmann resümiert, ist die Gentherapie »weit von einer Anwendung in der klinischen Routine entfernt. Es kann auf dieser Stufe nicht vorhergesagt werden, wie viele Erkrankungen durch Gentherapie geheilt oder zumindest günstig beeinflusst werden können. Man darf nicht vergessen, dass die Fortschritte auf dem Gebiet der Gentherapie, auf die wir zurückblicken können, in den letzten 10 Jahren erzielt worden sind. Verglichen mit anderen technischen Entwicklungen ist dies ein sehr kurzer Zeitraum. Von der Erfindung des Ottomotors bis zur Produktion von Fords »Tin Lizzy« als erstem Automobil für eine

²² Albert Jacquard: *Der Mensch und seine Gene*. Bergisch Gladbach. 1998. Anna M. Wobus, Ulrich Wobus (Hrsg.): *Genetik – Zwischen Furcht und Hoffnung*. Leipzig, Jena, Berlin. 1991. Heinrich Zankl: *Genetik. Von der Vererbungslehre zur Genmedizin*. München. 1998.

²³ Archibald E. Garrod: *The Incidence of Alkaptonuria: a Study in Chemical Individuality* (1902). In: Milan Sosna (ed.): *Fundamenta Genetica. The Revised Edition of Mendel's Classic Paper with a Collection of 27 Original Papers Published during the Rediscovery Era*. Oosterhout, Prague, Brno 1965. Peter Vosswinkel: *Der schwarze Urin. Vom Schrecknis zum Laborparameter*. Berlin. 1993.

breite Käuferschicht vergingen mehr als 30 Jahre. Bis zur Entwicklung der hochentwickelten Kraftwagen der Gegenwart vergingen weitere 70 Jahre. Eine ähnlich erfolgreiche Entwicklung der Gentherapie hätte ungeahnte Konsequenzen für die Behandlung einer Vielzahl von Erkrankungen. Daher sollten wir der Forschung im Bereich Gentherapie mindestens weitere 30 Jahre der Bewährung einräumen.«²⁴

Mitte Februar 2001 wurden die vorläufigen Ergebnisse der so genannten Entzifferung oder Entschlüsselung des Humangenoms, genauer: einer ersten Bestandsaufnahme der Basensequenzen des menschlichen Genoms, veröffentlicht. Demnach besteht die menschliche DNS aus knapp 3,2 Milliarden der Adenin-, Cytosin-, Guanin- und Thymin-Basen in wechselnder Aufeinanderfolge. Doch nur 1,5 Prozent davon bilden tatsächlich Gene, die den Aufbau von Proteinen bestimmen. Entgegen früheren Schätzungen, nach denen der Mensch 80 000 bis 120 000 Gene haben sollte, sind es nur rund 30 000. Von etwa 500 bis 1000 Genen ist die Funktion bekannt. Aus dem Umstand, dass im Menschen schätzungsweise bis zu 250 000 Proteine gebildet werden, folgt, dass das früher angenommene Verhältnis 1 Gen : 1 Protein nicht stimmen kann, sondern kompliziertere Verhältnisse vorliegen. Über die Roh-Sequenzierung des Genoms hinaus liegen inzwischen wesentlich genauere Angaben für drei der vier kleinsten Chromosomen des Menschen vor. Der größere Rest von 98,5 Prozent der menschlichen DNS-Basen besteht aus so genannter repetitiver DNS. Es sind verschlissene Viren- und Bakteriengenome, scheinbar funktionslose Genreste und zigtausendfach (bis zu 300 000 mal) wiederholte DNS-Fragmente. Ihre Charakteristik als »Informationsmüll« und »Schrott im Erbgut« könnte Ausdruck der Unwissenheit darüber sein, warum und wozu dieser Rest da ist. All das wird von Zelle zu Zelle und von Generation zu Generation weitergegeben. Die Entzifferung des Humangenoms steckt voller Probleme, und seine ausgiebig gefeierte Roh-Sequenzierung war ein erster Schritt auf dem langen Wege, es zu begreifen.

»Aus der Veröffentlichung der bloßen Buchstabenfolge der Erbsubstanz auf baldige medizinische Anwendungen zu spekulieren, bleibt Sciencefiction. Denn der Bauplan des Lebens ist ungleich komplizierter als nur die simple DNA-Sequenz. Nicht Gene allein, sondern eine ebenso geniale wie komplexe biochemische Zellmaschinerie steuert

²⁴ Volkmar Gieselmann: Gentherapie. In: Naturwissenschaftliche Rundschau. 54 (2001) 10. S. 518.

die Entwicklung eines Lebewesens«, vermerkt der Biologe Matthias Glaubrecht.²⁵ »Deshalb kennen wir selbst mit der vollständigen und fehlerfreien Entschlüsselung des gesamten Genoms eines Menschen bestenfalls die Bauanleitung der Instrumente des Orchesters, aber keineswegs die Partitur der Symphonie des Lebens.«

Andere Autoren hingegen stellen die Genomforschung als Heilsbringer vor. Ihre euphorischen Verheißungen für eine Zukunft, in der die Humangenetik zur Leitwissenschaft der Medizin geworden ist, scheinen eher die Finanzierungswünsche von Forschern und Firmen auszudrücken als die Wahrscheinlichkeit des Gelingens. So lässt der dem biomedizinisch-industriellen Komplex nahestehende Wissenschaftspublizist Nicholas Wade mit der Sequenzierung des Humangenoms ein neues Zeitalter der Medizin beginnen, das der genetischen Medizin. Da das Genom, wie er meint, die Betriebsanleitung des Menschen sei, werde man sich folglich mit dessen Kontrolle der Lebensvorgänge des Menschen bemächtigen. »Von nun an ist es möglich, den menschlichen Körper fast so vollständig zu verstehen, wie ein Ingenieur eine Maschine begreift. Mediziner können neue Methoden zur Reparatur der menschlichen Maschine entwickeln und werden in absehbarer Zeit fähig sein, die meisten, wenn nicht alle Mängel dieser Maschine zu beheben«, versichert er.²⁶

Ob solche genetische Medizin halt machen werde, wenn sie ihr Ziel vollkommener Gesundheit erreicht hat, hält Wade für fraglich. Denn auch an die Verbesserung anderer Eigenschaften sei zu denken und an die gentechnische Manipulation der Keimzellen (Keimbahntherapie), um Verbesserungen erblich zu fixieren, also an Eugenik. Damit erweist sich dieses Konzept der genetischen Medizin in der Konsequenz als neue Version der unheilvollen biologistischen Utopie von der Schaffung eines neuen, perfekten Menschen. Dass sie von wissenschaftlich nicht haltbaren Voraussetzungen ausgeht, hat sie mit ihren Vorgängern gemeinsam. Wie die historische Erfahrung lehrt, wird sie dadurch nicht ungefährlich. Konstitutiv für sie sind zwei Mythen: der Mythos von der bestimmenden Macht der Gene (»genetischer Determinismus«) und der Mythos, dass man das Leben im Griff habe, wenn man die Gene kontrollieren könne. Den Schutzumschlag von Wades Buch ziert der Spruch von Nobelpreisträger James D.

²⁵ Matthias Glaubrecht: Die ganze Welt ist eine Insel. Beobachtungen eines Evolutionsbiologen. Stuttgart, Leipzig. 2002, S. 13 f. Ludger Honnefelder, Peter Propping (Hrsg.): Was wissen wir, wenn wir das menschliche Genom kennen? Köln. 2001.

²⁶ Nicholas Wade: Das Genom-Projekt und die Neue Medizin. Berlin. 2001, S. 7.

Watson: »Früher haben wir gedacht, unser Schicksal stünde in den Sternen. Heute wissen wir, es liegt in den Genen.«

Während sich die alte Eugenik auf den Menschen nach der Geburt richtete, sich an der traditionellen Methode der Haustierzüchtung, der künstlichen Selektion, orientierte und sich vielfach staatlicher Zwangsmaßnahmen bediente, richtet sich die neue Eugenik - »Eugenik von unten«(Peter Propping), »liberale Eugenik« (Jürgen Habermas) – auf die Ungeborenen, setzt auf Genomik und Gentechnik und mit dem Angebot perfekten Nachwuchses auf die subtileren Zwänge des Marktes und der öffentlichen Meinung einer »Leistungsgesellschaft«, die Menschen mit Krankheit und physischer und/oder psychischer Beeinträchtigung diskriminiert. Der Angriff auf die Menschenwürde, die nicht abstufbar oder an bestimmte Eigenschaften des menschlichen Lebens gebunden ist, ist dieser von der Genmythologie inspirierten Vorstellungswelt immanent.