

wort schuldig geblieben“ (737). Nach den Antworten dieser Umfrage scheint es, als wäre der Klerus falsch informiert, wenn er meint, die Laien wollten sich nichts sagen lassen. Die Bereitschaft der an dieser Umfrage beteiligten Personen, sich etwas sagen zu lassen, ist spürbar. Aber es ist ebenso spürbar, daß sie nicht mit einer Form der Glaubensverkündigung zufrieden sind, die sich

nicht wirklich den Problemen des Menschen unserer Tage stellt.

Es ist aber dennoch der nachhaltigste Eindruck, den man von den Antworten auf diese Enquete empfängt, daß die Laien sich der Hierarchie und dem Klerus sehr innig verbunden fühlen und nichts weiter wünschen, als daß man ihnen mit demselben Vertrauen begegne.

## Aus Forschung und Technik

### Die Wissenschaft greift in das Leben selber ein

Über einige neuere Ergebnisse der Biochemie und der experimentellen Biologie und ihre Perspektiven

In die Biologie und in die zahlreichen Zweige der angewandten Biologie, unter denen die Medizin eine hervorragende Stelle einnimmt, dringen in immer stärkerem Maße chemisches Denken und chemische Experimentierkunst ein. Wenn auch kein Zweifel darüber besteht, daß die Chemie des Lebens die philosophische Frage nach dem Wesen des Lebens ebensowenig beantworten kann wie die Atomphysik die philosophische Frage nach dem Wesen der Materie, so kann man sich doch der weltanschaulichen Relevanz und der großen praktischen Bedeutung der Fortschritte dieser aktuellen naturwissenschaftlichen Disziplinen nicht verschließen. Während freilich die angewandte Atomphysik mit den Silhouetten schnell emporwachsender Atomkraftwerke und mit den Rauch- und Staubbildungen der Atombombenexplosionen ihre revolutionierende Bedeutung bereits symbolhaft einprägsam an den Himmel geschrieben hat, ist die schnelle Entwicklung der Biochemie noch kaum in das Bewußtsein der Menschen getreten, obgleich auch sie das Antlitz der Erde und die Lebensumstände des Menschen tiefgreifend — zum Guten und zum Bösen — zu verändern verspricht. Wir halten es deshalb nicht für abwegig, im Dienste einer rechtzeitigen Bewußtseins- und Verantwortungsbildung unsere Leser an Hand einiger ausgewählter neuerer Ergebnisse der Biochemie und der angewandten Biologie über mögliche Folgerungen dieser Entwicklung zu orientieren, auch wenn sie dabei einige fachwissenschaftliche Darlegungen, die zu deren Verständnis notwendig sind, in Kauf nehmen müssen.

Da allen Lebensphänomenen chemische Prozesse zugrunde liegen (die nur darum weitgehend unaufgedeckt bleiben konnten, weil sie sehr komplexer Natur sind), so schafft deren zunehmende Kenntnis und Beherrschung die Möglichkeit, ihren Ablauf mehr und mehr nach Willkür zu beeinflussen. Der gegenwärtig noch ziemlich ausgedehnte Bereich, in dem sich das Leben dem planenden, fordernden und forschenden Zugriff des Menschen — notfalls durch Tod — entzieht, wird immer enger, und immer vielfältiger werden die Möglichkeiten einer systematischen Steuerung des pflanzlichen, tierischen und menschlichen Lebens; und da auch der Geist des Menschen zeit seines Lebens ohne einen koordinierten Ablauf chemischer Prozesse nicht unverzerrt zum Ausdruck kommen kann und von ihnen abhängig ist, könnte durch die

biochemische Lenkung der Lebensvorgänge die gesamte leiblich-geistige Einheit des Menschen erfaßt und beeinflusst werden. Man braucht das Eindringen des forschenden menschlichen Geistes auch in den inneren Bereich des Lebens durchaus nicht als Hybris zu betrachten; aber auch wenn man es als legitimen wissenschaftlichen Fortschritt begrüßt und seine möglichen und wahrscheinlichen wohltätigen Wirkungen hervorhebt (die unser Bericht keineswegs unterschlägt, vgl. S. 254), kann man doch nicht übersehen, daß hier eine neue Form von Macht über das Menschliche selber entsteht, deren Mißbrauch zu befürchten aller Anlaß vorliegt. Der Glaube an die „Machbarkeit der Welt“, der auch den an die Herstellung eines „neuen Menschen“ einschließt, ist nicht nur auf östliche totalitäre Machthaber beschränkt, sondern er ist auch die Triebkraft des „technischen Geistes“ unserer Zivilisation, der ohnehin weitgehend davon überzeugt ist, daß der Mensch eine Fehlkonstruktion ist, und der ebensowenig wie vor seiner psychologischen und sozialen Manipulierung vor seiner biologischen zurückschrecken würde. Die Bändigung ihres Machtzuwachses ist die Aufgabe der Menschheit von heute; sie ist um so schwieriger, je mehr die Verantwortlichen von geschaffenen Tatsachen über rascht werden — wir müssen also die Mühe auf uns nehmen, ihn in all seinen Werdestadien von Anfang an kennenzulernen.

#### *Das Elektronenmikroskop erweitert den Forschungsbereich*

Chemie und Biologie können einander heute um so leichter begegnen, als Schranken im Fallen sind, die früher durch Unterschiede in den Dimensionen der von ihnen untersuchten Objekte aufgerichtet waren. Die Biologie ist nämlich nicht mehr darauf beschränkt, sich mit jenen Strukturen und Gestalten und mit jenen gröberen morphologischen Veränderungen zu befassen, die an den Lebewesen mit freiem Auge oder mit Hilfe des Mikroskops beobachtbar sind. Durch die Entwicklung und Vervollkommnung des Elektronenmikroskops und die großen Fortschritte in der Herstellung ultradünn geschnittener biologischer Präparate, die allein für elektronenoptische Beobachtung geeignet sind, ist es der Biologie und der Medizin möglich geworden, von der makroskopischen und mikroskopischen zu einer submikroskopischen Anatomie herabzusteigen. Im Elektronenmikroskop gelingt eine Auflösung auch der feinsten Strukturdetails der lebenden Zellen und Gewebe. In den Zellen vorhandene, mit dem Lichtmikroskop nur in groben Umrissen erkennbare Organellen (wie z. B. die Mitochondrien oder der Golgi-Apparat oder auch die feinsten Fibrillen der Mus-

kelfasern) enthüllen im Elektronenmikroskop eine höchst verwickelte und sinnreiche Feinstruktur. Das Auflösungsvermögen des Elektronenmikroskops ist so hoch, daß einzelne besonders große Moleküle und Molekül-Komplexe (beispielsweise große Eiweißmoleküle oder Virus-Teilchen) unmittelbar als Einzelteilchen beobachtbar geworden sind. Bisweilen lassen sich sogar innerhalb großer Moleküle noch Untereinheiten erkennen, so im Myosin des Muskels oder im pflanzlichen Protein Edestin. Die submikroskopische Anatomie dringt somit in den molekularen Bereich, in das genuine Arbeitsfeld der Chemie, ein.

Andererseits schreitet die Chemie von der Untersuchung einfach gebauter niedermolekularer Substanzen und einfacher chemischer Reaktionen voran zur Aufklärung chemischer Gebilde immer komplexeren Baues und zu immer verwickelteren Systemen miteinander gekoppelter, bald parallel zueinander und bald in Aufeinanderfolge ablaufender Reaktionen, wie sie für biochemische Systeme charakteristisch sind.

#### *Aufklärung der Struktur von Eiweißkörpern*

Vor kurzem ist es erstmals gelungen, den komplizierten molekularen Bau eines Eiweißkörpers, des Insulins, eines gegen die Zuckerkrankheit wirksamen Hormons der Bauchspeicheldrüse, aufzuklären. Durch die Verleihung des Nobelpreises für Chemie an den Engländer F. Sanger hat diese Errungenschaft eine besondere öffentliche Würdigung erfahren. Die vollständige Konstitutionsermittlung eines zweiten Eiweißkörpers, des Fermentes Ribonuklease, steht knapp bevor, und zahlreiche andere Proteine werden bald folgen.

Diese Strukturaufklärungen sind darum besonders bemerkenswert, weil die Eiweißkörper mit Recht zu den charakteristischsten und wichtigsten Bestandteilen aller Lebewesen gezählt werden. In jedem Organismus, in jeder einzelnen Zelle, kommen deren Hunderte wenn nicht Tausende verschiedene vor. Die meisten von ihnen sind mit spezifischen katalytischen Fähigkeiten ausgestattet und werden als Fermente oder Enzyme bezeichnet. In der Anwesenheit eines bestimmten Fermentes ist jeweils eine bestimmte chemische Reaktion möglich, die sonst nicht oder mit viel zu geringerer Geschwindigkeit ablaufen würde. Der für Lebewesen charakteristische, mit Hunderten verschiedener chemischer Reaktionen verknüpfte Stoffwechsel, von dem auch alle übrigen Lebensfunktionen (Wachstum, Vermehrung, Bewegung, Reizbarkeit) abhängen, erfordert die Anwesenheit etwa ebenso vieler verschiedener Fermente. Aus diesem Grunde begegnet man, wenigstens derzeit, unter den gegenwärtig auf der Erde herrschenden Bedingungen, keinem Leben ohne Eiweiß. (Bisweilen allerdings wird die sehr hypothetische, aber erwägenswerte Frage diskutiert, ob dem gegenwärtig auf der Erde allein anzutreffenden „Eiweiß-Leben“ eine auf anderer chemischer Grundlage stehende Vorstufe des Lebens vorangegangen sein könnte.) Die Verbindung zwischen Leben und Eiweiß ist eine so enge, daß manche Autoren die Eiweißmoleküle als „lebende Moleküle“ bezeichnet oder Leben mit Eiweiß überhaupt gleichgesetzt haben. Wenngleich solche Ansichten größtenteils Vereinfachungen darstellen, so bietet eine Betrachtung der Eiweißstruktur doch wichtige Anhaltspunkte für ein Verständnis biologischer Phänomene.

#### *Die „Sprache des Lebens“ wird entziffert*

Das Molekulargewicht der Eiweißkörper liegt zwischen mehreren Tausend und einigen Millionen; d. h. Proteine sind mehrtausend- bis mehrmillionenfach schwerer als ein Wasserstoffatom. Jedes Eiweißmolekül ist aus einer großen Zahl kleinerer Bauelemente,  $\alpha$ -Aminosäuren, zusammengesetzt, die aus den Eiweißkörpern bei Säurebehandlung in Freiheit gesetzt werden und deren es etwa zwanzig verschiedene gibt. Das Mengenverhältnis, in dem die einzelnen Aminosäuren sich am Aufbau eines Proteinmoleküls beteiligen, ist von einem Eiweißkörper zum anderen verschieden, aber für jedes einzelne Protein charakteristisch. Die Anordnung der Aminosäuren in den Proteinen ist im wesentlichen eine lineare. Die Aneinanderreihung der Bausteine führt zur Ausbildung von langen „Polypeptid-Ketten“ (die allerdings sekundär eine spirale Eindrehung oder Faltung erfahren, wodurch die Proteinmoleküle zu kompakten, dreidimensionalen Gebilden werden können). Die Reihenfolge der Aminosäuren in den Polypeptidketten der Proteine ist, wie wir heute wissen, nicht durch eine nur statistische Gesetzmäßigkeit bestimmt, sondern streng determiniert. Jeder Eiweißkörper besitzt ein charakteristisches und spezifisches Baustein-Muster, in dem jede Aminosäure ihren festgesetzten, unvertauschbaren Platz hat.

Die chemische Struktur eines Proteins mit ihrer geordneten Baustein-Folge ist auf eine faszinierende und keineswegs nur oberflächliche Weise einer Schrift oder einer verschlüsselten Nachricht analog. So wie die 26 Buchstaben des Alphabets sich zu Worten und Sätzen und längeren Schriftstücken aneinanderreihen lassen, welche spezifische Bedeutungen besitzen können, so die 20 Aminosäuren zu den Polypeptidketten der mit spezifischen Potenzen ausgestatteten Proteine. So wie ein geschriebener Satz dank seines sinnvollen Buchstaben-Musters eine bestimmte Information enthält, so auch ein komplexes chemisches Molekül durch sein spezifisches Baustein-Muster. Man darf in den Proteinen Träger einer *biologischen Information* sehen, ebenso wie man Sprache und Schrift als objektivierten Geist zu betrachten pflegt. Die Eiweißstrukturen repräsentieren eine Art „Sprache des Lebens“, deren Orthographie, Grammatik, Syntax und vor allem deren Sinn zu ermitteln die Biochemie auf dem besten Wege ist.

Der Informationsgehalt, der in einer schriftlichen Mitteilung bestimmter Länge, in einer verschlüsselten Nachricht oder auch in einer chemischen Struktur liegen kann, ist abhängig von der Zahl der zur Verfügung stehenden Symbole bzw. Strukturelemente. Zur Weitergabe einer Information ist eine um so längere Mitteilung bzw. eine um so längere Struktur nötig, je weniger Symbole zur Verfügung stehen. Die Proteinstruktur mit etwa 20 Strukturelementen steht in dieser Hinsicht dem Alphabet mit seinen 26 Buchstaben ein wenig, aber nicht bedeutend nach. Die Menge an Information ist weiterhin davon abhängig, ob der Zusammensetzung oder der Wiederkehr der Symbole Beschränkungen auferlegt sind, ob Kopplungen und Periodizitäten vorkommen oder gewisse Kombinationen nicht erlaubt sind. Solche Beschränkungen gibt es in der Sprache: So kommen z. B. die Konsonanten B und W niemals nacheinander im selben Wort vor. In Proteinen hingegen scheinen weder Periodizitäten

noch Kopplungen von Bausteinen zu existieren, noch auch bestimmte Bausteinkombinationen verboten zu sein; die Aminosäure-„Sprache“ ist in dieser Hinsicht anscheinend weniger Beschränkungen unterworfen als die menschliche Sprache.

Allgemein läßt sich formulieren: Der mögliche Informationsgehalt einer Mitteilung (oder einer Struktur) bestimmten Umfanges ist um so größer, je mehr Kombinationen und Permutationen an und für sich in Frage kommen und aus je mehr verschiedenen Anordnungsmöglichkeiten eine bestimmte Möglichkeit ausgesondert wird. Mit anderen Worten: Der Informationsgehalt ist um so größer, je größer die mögliche Unordnung ist, aus der eine bestimmte Ordnung, eine bestimmte spezifische Anordnung oder Struktur, ausgewählt wird, d. h., je unwahrscheinlicher die Ausbildung dieser spezifischen Anordnung ist. So ist es verständlich, daß in der Informationstheorie als Maß für die Informationsmenge eine mathematische Formulierung gewählt wird, die der Wahrscheinlichkeitsrechnung entlehnt ist und etwa der Formulierung einer negativen Entropie, sozusagen einer „Unwahrscheinlichkeit“, entspricht.

#### *Das Leben als „Anti-Zufall“*

In einem Eiweißkörper mit hohem Molekulargewicht (entsprechend einer „langen“ Mitteilung) und mit großer Zahl verschiedener Bauelemente (entsprechend zahlreichen Schriftsymbolen), deren Anordnung keinen prinzipiellen Beschränkungen unterworfen ist, liegt eine besonders große „Informationsmenge“. Ein Eiweißkörper ist, vom entropischen Standpunkt betrachtet, eine Ballung von Unwahrscheinlichkeit. So wie es höchst unwahrscheinlich und praktisch unmöglich ist, daß bei wahllosem Durcheinanderschütteln einiger Hundert Buchstaben diese — rein durch Zufall — sich zu sinnvollen Sätzen anordnen werden, so ist auch eine zufällige Entstehung der Proteine aus den Aminosäuren in höchstem Grade unwahrscheinlich. Man kann daher allen allzu primitiven Vorstellungen einer spontanen Entstehung der Proteine (und des Lebens) skeptisch gegenüberstehen.

Wenn auch die Proteine nur ein (wenn auch typisches) Beispiel für das Auftreten überaus verwickelter, spezifischer molekularer Strukturen in Lebewesen sind, so offenbart die neuerdings erworbene Kenntnis ihres Aufbaus doch in überzeugender Weise, wie sinnvoll es war, daß Autoren das Leben als *Anti-Zufall* bezeichnet haben. Auch sei darauf hingewiesen, daß zwischen dem mathematisch-naturwissenschaftlichen Begriff Information und dem Form-Begriff der scholastischen Philosophie eine enge Beziehung besteht, die zu fruchtbaren Überlegungen Anlaß geben könnte.

Von der submikroskopischen Morphologie hochmolekularer Substanzen von der Art der Eiweißkörper kann man (wenigstens in Gedanken, ohne einen allzu kühnen Sprung tun zu müssen) zu den höheren Ebenen der mikroskopischen und makroskopischen Anatomie aufsteigen. Was über die „Information“ gesagt worden ist, die in der Anordnung der Bausteine in den Proteinen liegt, gilt mit entsprechenden Veränderungen ebenfalls für die (gegenwärtig immer mehr auch von Chemikern bearbeitete) Ausbildung von größeren Komplexen und Aggregaten von Molekülen gleicher und verschiedener chemischer Natur und schließlich für die Ausbildung der immer

höher organisierten biologischen Gestalten. Mag auch die Analogie zur Sprache dann nicht mehr so einleuchtend sein, wenn man statt mit eindimensionalen Strukturen mit dreidimensionalen und wenn man es außer mit Raumgestalten auch mit Zeitgestalten zu tun hat, so ist sie doch im wesentlichen auch dann noch gültig.

#### *Ergebnisse der biochemischen Genetik*

Eine überaus ertragreiche Symbiose sind Chemie und Biologie in den letzten Jahren durch die Entwicklung des Forschungszweiges der biochemischen Genetik eingegangen. Drei hervorragende Vertreter dieser neuen Arbeitsrichtung, Beadle, Tatum und Lederberg, sind kürzlich durch die Verleihung des Nobelpreises für Medizin ausgezeichnet worden. Ihre Untersuchungen haben wesentlich dazu beigetragen, die chemischen Zusammenhänge aufzuklären, die zwischen den Genen (den in den Zellkernen auf den Chromosomen lokalisierten Erbfaktoren, die bei Zellteilungen verdoppelt und den Tochterzellen mitgegeben und bei der geschlechtlichen Vermehrung nach den Mendelschen Gesetzen von einer Generation auf die andere übertragen werden) und den von ihnen bewirkten erblichen Eigenschaften bestehen, die sich im Erscheinungsbild der Organismen äußern. Durch die biochemische Genetik hat sowohl die Vererbungsforschung als auch die Physiologie kräftige neue Impulse erhalten.

Eine wichtige Verfahrensweise der biochemischen Genetik besteht darin, daß Mikroorganismen (bestimmte Schimmelpilze, Hefen oder Bakterien), die sich schnell und in großen Mengen kultivieren lassen und deren Nährstoffbedürfnisse genau bekannt sind, mit kräftiger ionisierender Strahlung behandelt werden. Durch die Bestrahlung werden in einzelnen Zellen Gen-Mutationen bewirkt, d. h. einzelne Gene entweder zerstört oder verändert. Die mutierten Zellen und ihre Nachkommen unterscheiden sich von den nichtmutierten Organismen oft dadurch, daß sie nur dann gedeihen und sich vermehren können, wenn ihnen im Nährmedium ein zuvor nichtbenötigter Nährstoff (beispielsweise eine bestimmte zum Aufbau der Proteine erforderliche Aminosäure) geboten wird. Durch die Mutation ist offenbar die Fähigkeit des Organismus, diese für ihn lebensnotwendige Substanz in eigener Regie aus anderen, meist ganz einfachen Produkten aufzubauen, verlorengegangen. Durch eine genetische Analyse, vor allem durch Kreuzungsexperimente, läßt sich in vielen Fällen genau bestimmen, um was für Mutation es sich handelt: an welcher Stelle welchen Chromosoms sich das mutierte Gen befindet. Andererseits läßt sich auf biochemischem Wege die Art des chemischen Defekts eruieren, der zum zusätzlichen Nährstoffbedarf geführt hat.

Es hat sich erwiesen, daß oft verschiedene Mutationen, Veränderungen verschiedener Gene, den gleichen zusätzlichen Nährstoffbedarf bewirken. Das kommt daher, daß der Aufbauweg, der von verfügbaren Ausgangsprodukten zum benötigten Nährstoff führt, über mehrere hintereinandergeschaltete chemische Reaktionsschritte verläuft, deren jeder durch den Ausfall eines anderen Gens blockiert wird. Die Stelle, an der die Kette chemischer Reaktionen unterbrochen ist, ist dadurch feststellbar, daß alle Zwischenprodukte, die in der Reaktionskette hinter dem „Block“ gelegen sind, den benötigten Nährstoff ersetzen können, während alle vor dem Block stehenden

Stoffwechselprodukte wirkungslos sind. Durch eine genaue Untersuchung unzähliger Mutanten ist es gelungen, einen Einblick in den Verlauf vieler verschiedener Wege des Stoffwechsels zu gewinnen.

Von größter Tragweite ist die Erkenntnis, daß die mutationsbedingte Unterbindung einer bestimmten Reaktion in einer Reaktionskette in der Regel die Folge des Ausfalls eines Enzyms ist: jenes Enzyms, das den betreffenden Reaktionsschritt katalysiert. Gene wirken also auf den Stoffwechsel und auf das Erscheinungsbild der Organismen nicht direkt ein, sondern indirekt dadurch, daß sie für die Produktion bestimmter Enzyme (allgemeiner: bestimmter Proteine) verantwortlich sind. Ein Gen läßt sich jeweils einem Enzym (oder auch einem enzymatisch unwirksamen Eiweißkörper) zuordnen. Wenn das Gen durch Mutation völlig ausfällt oder verändert wird, so findet die Synthese des von ihm abhängigen Proteins nicht oder in veränderter Form statt.

Nach neueren Untersuchungen der biologischen Proteinsynthese zu urteilen, erfolgt diese unter der Einwirkung von Nukleinsäuren. In Übereinstimmung damit hat auch eine Erforschung der Gene zum Resultat geführt, daß Nukleinsäuren deren maßgebende Bestandteile sind. Folglich nimmt man heute an, daß die Erbanlagen — Nukleinsäuren — in den Chemismus der Organismen durch Bereitstellung von Proteinen eingreifen, die ihrerseits den Stoffwechsel und mit Hilfe mannigfaltiger Stoffwechselprodukte die übrigen Lebensfunktionen steuern.

#### *Die Rolle der Nukleinsäuren*

Die Nukleinsäuren sind ebenso wie die Proteine hochmolekulare Verbindungen. Die sie aufbauenden Strukturelemente (die Nukleotide) sind ebenfalls linear (zu Polynukleotid-Ketten) aneinandergereiht. Allerdings beträgt die Zahl verschiedener Bausteine bei den Nukleinsäuren nur 4 bis 5. Es ist anzunehmen, wenn auch noch nicht bewiesen, daß es ebenso viele verschiedene Nukleinsäuren wie verschiedene Proteine gibt und daß für jede Nukleinsäure eine jeweils spezifische und streng determinierte Folge der Bausteine längs der Ketten existiert. Die Nukleinsäuren werden somit als die primären Träger biologischer Information angesehen, und wenn sie Proteine synthetisieren, so geht offenbar ein Transfer von Information vorstatten: die Information wird sozusagen von einer chemischen „Sprache“ in die andere, von einem Code in einen anderen übersetzt. Über den genauen Mechanismus der Übersetzung aus der nur 4 oder 5 „Buchstaben“ enthaltenden in die 20buchstabige Sprache hat man noch keine genaue Vorstellung, sondern ist auf Vermutungen angewiesen.

Nukleinsäuren spielen ihre Rolle als Erbmaterial und als Träger biologischer Information nicht nur bei den Mikroorganismen, sondern bei allen Lebewesen, von den niedersten bis zu den höchsten. Ebenso ist auch die Übertragung der Information von den Nukleinsäuren auf Proteine, welche ihrerseits den Stoffwechsel steuern, ein allen Lebewesen, auch den höheren pflanzlichen und tierischen Organismen und dem menschlichen Organismus gemeinsames Phänomen. Butenandt und Kühn haben schon seit vielen Jahren biochemisch-genetische Untersuchungen an Insekten angestellt, die zu sehr ähnlichen Resultaten geführt haben wie die neueren und viel aus-

gedehnteren an Mikroorganismen. Auch beim Menschen gelingt es in immer zahlreicheren Fällen von angeborenen, erblichen Krankheiten den Nachweis zu führen, daß der primäre, auf eine Gen-Mutation zurückführbare Defekt das Fehlen oder die veränderte Struktur eines Eiweißkörpers ist. So weiß man seit kurzem, daß bei der angeborenen Galaktosämie, einer seltenen Krankheit von Kleinkindern, in deren Blut und Geweben das Ferment Galaktosephosphat-Uridyl-Transferase fehlt, das bei der chemischen Umwandlung der Galaktose, eines Bestandteils des Milchzuckers, in Traubenzucker entscheidend beteiligt ist; galaktosämische Kinder können darum den Milchzucker der mütterlichen Milch nicht verwerten. Bei der Phenylketonurie, einer Form angeborenen Schwachsinn, bei der die Patienten im Harn große Mengen Phenylbrenztraubensäure ausscheiden, liegt der genbedingte Defekt ebenfalls am mangelnden Funktionieren eines Ferments; das Beispiel der Phenylketonurie zeigt, wie abhängig auch geistige Funktionen des Menschen vom Chemismus des Stoffwechsels sind.

Erst vor kurzem und erst in einem einzigen Falle, dem des menschlichen Blutfarbstoffs Hämoglobin, ist der Einfluß der mutativen Veränderung eines Gens auf die Struktur des ihm zugeordneten Proteins genau untersucht worden. Ingram konnte nachweisen, daß sich das Sichelzellhämoglobin, der rote Blutfarbstoff erbkranker Patienten, die an Sichelzell-Anämie leiden, von normalen Hämoglobin nur dadurch unterscheidet, daß unter 300 Aminosäuren im Molekül eine einzige gegen eine andere vertauscht ist. Die Mutation des für das Hämoglobin verantwortlichen Erbfaktors hat anscheinend den Ersatz eines einzigen Bausteins im Bausteinmuster des Eiweißmoleküls zur Folge, einen winzigen strukturellen Defekt, der aber in weiterer Folge eine schwere anämische Erkrankung des betroffenen Menschen bewirkt.

#### *Die Möglichkeiten einer planmäßigen Änderung des Erbmaterials*

Die Erkenntnis des Zusammenhangs zwischen den Erbfaktoren, den Eiweißkörpern und den Stoffwechsellvorgängen ist ein geeigneter Ausgangspunkt für eine chemische Beeinflussung der Lebensvorgänge, sei es zur Heilung (zur Regelung anomaler Prozesse) oder zur willkürlichen Veränderung. Am leichtesten läßt sich ein Eingriff in den Chemismus der Organismen entweder auf der Ebene der Stoffwechselprodukte oder auf der der Proteine vornehmen; ein großer Teil der in der Medizin verwendeten pharmazeutischen Präparate wirkt durch eine Aktivierung oder eine Hemmung von Fermenten. Die radikalste Methode einer Änderung der Lebensvorgänge in Organismen, wenn nicht sogar der Lebewesen selbst, bestünde jedoch in einer planmäßigen Änderung des *Erbmaterials*, einer systematischen Modifizierung oder Neueinführung von Nukleinsäuren.

Eine Neuverteilung von Genen tritt stets bei der geschlechtlichen Fortpflanzung ein. Durch systematische Kreuzungen lassen sich bei Pflanzen und Tieren in deren Erbmasse bestimmte Erbfaktoren einführen und dadurch erwünschte Züchtungsergebnisse erzielen. Die Verteilung des Erbmaterials ist hier mit dem Zeitpunkt der Befruchtung, der Vereinigung der Geschlechtszellen, abgeschlossen; eine nachträgliche Veränderung ist nicht durchführbar. Grundlegende Abwandlungen des Erbmaterials können

hingegen durch Mutationen eintreten. Mutationen sind sprunghafte Veränderungen, die sich an den Erbfaktoren spontan verhältnismäßig selten, häufiger hingegen unter der Einwirkung ionisierender Strahlen oder chemischer „Mutagene“ ereignen. Vor allem die Mutationsauslösung durch Strahlung ist in den letzten Jahren eingehend untersucht worden, nicht zuletzt deshalb, weil die Menschheit infolge medizinisch-diagnostischer und therapeutischer Maßnahmen (Röntgen-Durchleuchtungen, Röntgen- und Radium-Bestrahlungen), infolge häufigeren Kontakts mit radioaktiven Isotopen in Wissenschaft und Technik und im Zuge der wirtschaftlichen und militärischen Verwendung der Atomenergie vermehrten Strahlungsdosen ausgesetzt ist. Eine systematische Auslösung erwünschter Mutationen hat sich bis jetzt als unmöglich erwiesen. Erstens bedingen fast alle Mutationen eine Zerstörung oder Verschlechterung und nicht eine Verbesserung des Erbmaterials. Zweitens sind bis heute gezielte Mutationen nicht gelungen. Wohl lassen sich mit bestimmten Mutagenen im Vergleiche mit anderen bestimmte Mutationen relativ häufiger herbeiführen; die Spezifität ist jedoch äußerst gering. Aus diesem Grunde widmet man der Verhütung von Mutationen eher mehr Aufmerksamkeit als Versuchen zu ihrer Auslösung, und zwar insofern erfolgreich, als chemische Substanzen (z. B. Cysteamin) gefunden wurden, die, wenn sie vor einer Bestrahlung verabreicht worden sind, die Strahlungsschäden wenigstens zum Teil verhüten.

In Anbetracht der Schwierigkeit, gerichtete Mutationen zu erzielen, erscheinen Versuche aussichtsreicher, die zum Ziel haben, durch „Transplantation“ bestimmter Gene, durch eine Verpflanzung bestimmter Nukleinsäuren, das Erbmaterial von Lebewesen nach Wunsch abzuwandeln. Eine erste solche Modifikation ist schon vor fast zwei Jahrzehnten Avery bei Mikroorganismen geglückt: Durch Wachstum in zellfreien, nukleinsäurehaltigen Extrakten, die aus Pneumokokken eines Typus gewonnen waren, konnten Pneumokokken eines anderen Typus „transformiert“ werden; sie nahmen Eigenschaften des nukleinsäure-spendenden Typus an. Die erzielten Transformationen waren erblich; die umgestimmten Zellen brachten bei ihrer Vermehrung immer wieder ihresgleichen, also transformierte Zellen, hervor. Man muß annehmen, daß die Nukleinsäuren in den Pneumokokken-Extrakten von den Zellen des transformierten Pneumokokken-Typus aufgenommen und in deren Genverband eingebaut wurden. Seit damals sind noch einige andere Beispiele für Transformationen bei Bakterien aufgefunden worden.

Ein erst vor wenigen Jahren von Zinder und Lederberg entdecktes, der Transformation verwandtes Phänomen ist das der „Transduktion“. Bakteriophagen (Viren, die Bakterien befallen) können bisweilen genetisches Material von einem Bakterienstamm auf einen anderen übertragen. So wie Insekten gegenüber Säugetieren und Pflanzen als Überträger infektiöser Mikroorganismen oder Viren fungieren können, so gewisse Bakteriophagen gegenüber bestimmten Bakterien als Transporteure von Genen.

Auch bei höheren Organismen ist eine Übertragung von Genen versucht worden. Großes Aufsehen erregte ein Experiment, das eine Gruppe französischer Wissenschaftler (Benoit, Leroy und Vendrely) an Enten ausführte. Sie extrahierten Nukleinsäuren aus den Kernen der Keim-

zellen von Tieren der Khaki-Rassen und injizierten sie in die Bauchhöhle von Entenküken einer anderen, der Peking-Rasse. Die Einspritzungen begannen eine Woche nach dem Ausschlüpfen der Tiere und wurden im Abstand von je einer Woche mehrfach wiederholt. Ein Teil der so behandelten Peking-Enten bildete beim Heranwachsen Merkmale aus, die für Khaki-Enten charakteristisch sind, so z. B. eine schwarz-grüne Färbung des Schnabels. Diese erstaunliche Änderung der Schnabelfarbe der Peking-Enten wurde auch auf einen beträchtlichen Teil der Nachkommenschaft vererbt. Die Veränderung im Erscheinungsbild sowohl der behandelten Tiere selbst als auch ihrer Nachkommen spricht dafür, daß sowohl Körperzellen als auch Geschlechtszellen durch die injizierten Nukleinsäuren verändert worden sind. Ein großer Teil der Biologen steht diesen Ergebnissen allerdings mit Skepsis gegenüber; auch wurden sie von unabhängiger Seite noch nicht als richtig bestätigt. Sollten sich die Berichte jedoch als zutreffend erweisen, so lassen sich schwerwiegende Konsequenzen, vielleicht auch für den Menschen, voraussagen, die zu größten Hoffnungen und ernstesten Bedenken Anlaß geben müssen.

#### *Die Bedeutung der Forschung an niederen Organismen für die Biologie des Menschen*

Immer wieder erweist es sich, daß alle Lebewesen, trotz ihrer Vielfalt, trotz ihres Auftretens in Millionen verschiedener Arten, niedriger und höher organisierter, eine große Einheit bilden. Nicht nur offenbart die Untersuchung des Chemismus des Lebens, der chemischen Verbindungen und Reaktionen, die den Lebensphänomenen zugrunde liegen, sondern auch die Erforschung der lebenden Zellen als der grundlegenden Einheiten lebender Organismen, eine erstaunliche Einheitlichkeit. Die Ähnlichkeit sowohl des Biochemismus der verschiedenartigsten Lebewesen als auch vieler Verhaltensweisen der lebenden Zellen hat zur Folge, daß Forschungsergebnisse, die an irgendwelchen lebenden Objekten erzielt worden sind, und seien es auch morphologisch scheinbar so niedrigstehende wie Bakterien und Protozoen, eine allgemeinere Bedeutung besitzen und unter Umständen sogar für die Biologie des Menschen und für eine Anwendung und Auswertung in der Medizin relevant sein können.

Seit kurzem ist eine Schranke gefallen, die die Zellen hochorganisierter Vielzeller (auch des Menschen) von denen der niedrigsten Organismen geschieden hatte. Wohl wußte man schon seit langem Gewebe höherer Organismen *in vitro* zu züchten, unter Umständen durch Jahre und Jahrzehnte, auch über den Tod des Lebewesens hinaus, von dem das Gewebe ursprünglich genommen worden war. Erst jetzt ist es jedoch möglich geworden, aus *einzelnen* Zellen, die von Säugetier-Geweben oder von Organen des Menschen stammen, in rein synthetischen Nährmedien Kolonien zu züchten, Klone, so wie man aus einzelnen Bakterien- oder Hefezellen Ein-Zell-Kulturen anlegen kann. Zweierlei Voraussetzungen mußten dafür erfüllt werden. Erstens war eine milde Methode erforderlich, die (mittels Fermenten, welche den Kitt auflösen, der die Zellen oberflächlich miteinander verbindet) Gewebe in eine Suspension einzelner freier Zellen aufzuspalten erlaubt. Weiter mußte in mühsamer, jahrelanger Arbeit der Nährstoffbedarf so hoch differenzierter Zellen,

wie es die in den Organen des Menschen vorkommenden sind, ermittelt werden. Heute jedoch ist es möglich, in einer etwa 60 verschiedene, wohldefinierte Substanzen (Bausteine für die Synthese von Proteinen und Nukleinsäuren, Vitaminen u. a.) enthaltenden Lösung einzelne menschliche Zellen zur Vermehrung zu bringen. Mit ihnen lassen sich nun erfolgreich Anpassungsreaktionen, mutative Veränderungen, krankhafte Entartungen und die Einwirkung von Giften und Heilmitteln studieren.

Große Fortschritte wurden in den letzten Jahren auch in der Kenntnis der Physiologie der tierischen und menschlichen Keimzellen erzielt. Die Auffindung geeigneter Methoden für eine längerwährende Konservierung tierischer Samens war für die Tierzucht, in der die künstliche Besamung eine immer ausgedehntere Rolle spielt, von hervorragender Bedeutung. Die in der Veterinärwissenschaft erworbenen Erfahrungen sind aber natürlich auch für die Physiologie der menschlichen Fortpflanzung, insbesondere für die künstliche Befruchtung beim Menschen, von Bedeutung. Hier wirft die Auswertung der Fortschritte der Biologie schon heute schwere moralische und juristische Probleme auf.

#### *Züchtung eines menschlichen Keims in vitro*

Noch ernster müssen Berichte über Züchtungen menschlicher Keime in vitro stimmen. Zu dem am weitesten fortgeschrittenen Entwicklungsstadium scheint ein in Amerika ausgeführtes Experiment geführt zu haben. Einem Follikel eines normalen Eierstockes wurde eine Eizelle entnommen, in vitro mit menschlichem Samen befruchtet und weiter kultiviert, worauf sich der Keim innerhalb von 72 Stunden bis zu einer etwa 32 Zellen enthaltenden Morula entwickelte.

#### *Knochenmarkstransplantationen*

Zu den bemerkenswertesten und kühnsten Experimenten der gegenwärtigen Biologie und Medizin gehört der Ersatz eines ganzen zerstörten Organsystems, des blutbildenden Knochenmarks, von Säugetieren oder auch des Menschen, durch Knochenmarkszellen, die einem anderen Organismus entnommen worden sind.

Wenn Versuchstiere, wie etwa Mäuse oder Affen, einer tödlichen Strahlungsdosis ausgesetzt werden, sterben sie nach einigen Tagen an den Folgen einer Zerstörung ihres Knochenmarks: die Blutbildung versagt und zugleich auch das Vermögen einer Produktion von Antikörpern (Abwehrstoffen, die sich gegen körperfremde, dem Organismus einverleibte Stoffe und Zellen richten). Ein großer Teil der Tiere kann jedoch die Strahlungsschäden überleben, wenn ihnen nach der Bestrahlung ein Brei von Knochenmark eines gesunden Tieren oder eine in vitro gezüchtete Kultur von Knochenmarkszellen in die Blutbahn injiziert wird. Dann besiedeln die injizierten Zellen die Knochenmarksräume der bestrahlten Tiere, vermehren sich in diesen und nehmen die Bildung von Blutzellen und Antikörpern auf. Es ist sogar möglich, bestrahlten Tieren das Knochenmark von Spendern nicht gleicher, sondern einer fremden Tierart einzupflanzen, z. B. Mäusen das Knochenmark von Ratten. Die Folge davon sind Chimären, Organismen, die aus Geweben zweier verschiedener Arten zusammengesetzt sind, Mäuse mit den Knochenmarks- und Blutzellen von Ratten.

Die Versuche sind nun bereits über das Stadium der Tierexperimente hinaus gediehen. An einer Reihe menschlicher Patienten mit zerstörtem Knochenmark wurden in letzter Zeit mit ermutigenden Ergebnissen Knochenmarkstransplantationen vorgenommen. Eine Zerstörung des Knochenmarks durch Bestrahlung mit hohen Strahlungsdosen ist eine im Zeitalter der friedlichen und kriegerischen Ausnützung der Atomkraft leider sehr aktuelle Schädigung; außerdem werden Bestrahlungen mit starken Röntgendosen und Behandlungen mit chemischen Mitteln, die ebenfalls das Knochenmark angreifen, bisweilen auch aus therapeutischen Gründen, z. B. bei Leukämie, verordnet. In allen diesen Fällen darf man sich von der Transplantation von Knochenmarkszellen gesunder Spender lebensrettende Erfolge erhoffen.

#### *Die Transplantation von Geweben und Organen*

Eine andere wichtige neue Entdeckung hat die Möglichkeit der Auswechslung von Geweben und Organen hochentwickelter Organismen gegen solche von Spendern noch bedeutend erweitert. In der Regel können Gewebe nur dann mit Aussicht auf Erfolg von einem Organismus auf einen anderen übertragen werden, wenn die Gewebe des Wirtes denen des Spenders erbgleich sind. Am besten gelingt daher ein Austausch von Geweben zwischen Zwillingen oder zwischen Organismen, die einem und demselben durch lange Inzucht erbgleich gewordenen Stamm angehören. Gewebsübertragungen zwischen verschiedenen Stämmen mißlingen, da der Gewebespfänger Antikörper gegen das Gewebe des Spenders entwickelt. (Eine Ausnahme bildet die oben erwähnte Transplantation von Knochenmark, da der Wirt infolge der Zerstörung seines antikörperproduzierenden Systems das transplantierte Zellmaterial nicht abwehren kann.) Medawar fand nun vor zwei Jahren in Tierversuchen, daß man Organismen dadurch gegen fremde Gewebe tolerant machen kann, daß man ihnen unmittelbar nach der Geburt oder noch früher eine kleine Menge von Leber- oder Knochenmarkszellen des Gewebespenders injiziert. Durch Anwendung dieses Verfahrens konnten neuerdings sogar Eierstöcke von Weibchen eines Mäusestammes auf Weibchen eines anderen Stammes verpflanzt werden. Die transplantierten Ovarien heilten in den Wirtsorganismen ein und brachten Eizellen hervor, die für die Wirte der Erbmasse nach fremd, trotzdem aber in ihnen (nach Befruchtung) normal entwicklungsfähig waren. Die von den Wirten geborenen Jungen besaßen, wie zu erwarten war, charakteristische Merkmale jenes Mäusestammes, dem die Eierstock-Spendertiere angehörten. Die durch Transplantationen bewirkte Bildung von Chimären wirft natürlich die interessante Frage auf, welche Grenzen der biologischen Individualität eines lebenden Organismus gesteckt sind. Sehr schwerwiegend wird diese Frage, wenn solche in Tierversuchen erprobten Operationen auch an Menschen vorgenommen werden sollten.

#### *Zeitweiliger Ersatz lebenswichtiger Organe*

In diesem Zusammenhang kann auch darauf hingewiesen werden, daß Organe, die man früher für schlechthin lebenswichtig gehalten hat, sich als wenigstens zeitweise ausschaltbar und künstlich vertretbar erwiesen haben. So kann das Herz, auch das menschliche Herz, während

längerdauernder Herzoperationen durch eine Herz-Lungen-Maschine ersetzt worden. Herzstillstand ist also nicht mehr in zwingender Weise mit Tod verbunden. Die Beantwortung der Frage nach dem genauen Zeitpunkt des biologischen Todes wird angesichts solcher Erfolge wohl noch schwieriger, als sie bisher schon gewesen ist.

#### *Wandlungsfähigkeit und Beeinflussbarkeit des Lebens*

Die im vorliegenden Bericht angeführten Beispiele für aktuelle wissenschaftliche Ergebnisse (die man um noch zahlreiche und hervorragende andere vermehren könnte) zeigen, daß auf chemischem und experimentell-biologischem Wege jeder Organismus, auch der menschliche, in stärkerem Maße modifizierbar ist, als man bisher meist vermutet hat. Gewiß wird auch der Baum der biologischen Wissenschaft nicht in den Himmel wachsen. Vor allem ist es dem Menschen niemals gelungen, und es wird ihm wohl auch niemals gelingen, Belebtes aus Unbelebtem herzustellen. Die Tatsache, daß es noch nicht einmal möglich ist, auch nur einen einzigen Eiweißkörper oder eine einzige Nukleinsäure mit ihrer bio-

logischen Information aus den Bausteinen zusammenzusetzen, geschweige denn eine lebende Zelle zu „synthetisieren“, ist zweifellos Grund zur Bescheidenheit. Andererseits erweist sich jedoch das bereits existierende Leben in der Hand der planmäßig experimentierenden Wissenschaft als wandlungsfähig, und es eröffnen sich von Jahr zu Jahr mehr Möglichkeiten zu einer zielstrebigem Beeinflussung.

Der Fortschritt der biologischen Wissenschaften demonstriert vielleicht noch deutlicher als der anderer Wissenschaften, daß Ergebnisse, die zu kühnen Hoffnungen berechtigen, zugleich auch gefährliche und beängstigende Konsequenzen haben können. Im selben Maße wie die Möglichkeiten zunehmen, wissenschaftliche Erkenntnisse zum Wohle der Menschen auszuwerten, wächst auch die Gefahr, daß diese sich gegen den Menschen selbst, gegen seine Natur und gegen die Würde seiner Person wenden. Es wird daher in der Zukunft großer Anstrengungen bedürfen, das mit dem an und für sich begrüßenswerten Fortschritt der Biologie verbundene Risiko eines Mißbrauches klein zu halten.

## Aus der Ökumene

### Eine Abendmahlslehre der EKD?

Am Schluß des letzten Jahrganges (12, S. 559) meldete die Herder-Korrespondenz die amtliche Veröffentlichung des Ergebnisses des zehnjährigen Abendmahlsgesprächs in der EKD durch die Kirchenkonferenz vom 25. Juli 1958. Die Drucksache „Abendmahlsgespräch der Evangelischen Kirche in Deutschland 1947—1957“ mit dem Bericht der Kommission (im Auftrag des Rates der EKD veröffentlicht von Oberkirchenrat Dr. Niemeier. Verlag des Amtsblatts der EKD 1958. 19 S. Im folgenden Dok. zitiert) ist unterdessen in allen evangelischen Zeitschriften nachgedruckt worden, damit die allgemeine Aussprache über die vorgeschlagene Lösung beginnen und so die Vorbedingungen für einen lehramtlichen Beschluß erfüllt werden können; wobei freilich beachtet werden muß, daß die EKD als „Bund“ von Kirchen verschiedenen Bekenntnisses, also auch ihre Synode, für Lehrfragen nicht zuständig ist.

In der Hoffnung, möglichst viele Stimmen dieser Aussprache zu erfassen, wurde hier mit einem ausführlichen Bericht gewartet. Es erschien aber unseres Wissens nur ein übrigens für die lutherische Seite sehr maßgebender Kommentar von einem Mitglied der Kommission, Professor Peter Brunner, Heidelberg, über „Die dogmatische und kirchliche Bedeutung des Ertrages des Abendmahlsgesprächs“ (in: *Ev.-luth. Kirchenzeitung*, 15. 9. 58), dazu ein hierauf schon Bezug nehmender redaktioneller Kommentar der „Reformierten Kirchenzeitung“ (1. 12. 58): „Ein unerwarteter Ertrag des Abendmahlsgesprächs.“ Beide Stellungnahmen erlauben in Verbindung mit der Dokumentation selbst ein vorläufiges Urteil darüber, ob diese lehrhafte Lösung eines bestimmten Kreises von Theologen der verschiedenen Bekenntnisse Folgerungen für die Herstellung voller Kirchengemeinschaft in der EKD ermöglicht. Es ist jedenfalls erkennbar, daß eine Überwindung der reformatorischen Lehrunterschiede in

der Abendmahlsfrage, wenn sie in kirchenverbindlicher Form erfolgte, gegen die Lehre der römisch-katholischen Kirche fallen würde. Das bemerkenswerteste Ergebnis dieser ersten Verlautbarungen liegt indessen in der Feststellung, daß die gegenwärtigen erschwerenden Lehrunterschiede innerhalb der EKD nicht mehr so sehr in der Abendmahlsfrage, sondern im Sakramentsverständnis überhaupt und vor allem in der politischen Ethik aufgebrochen sind, was schon die Entwicklung der Synoden der EKD seit Jahren erkennen ließ.

#### *Zur Vorgeschichte*

Die Vorgeschichte des 1947 vom Rat der EKD aufgetragenen Gesprächs, das für die Meinungsverschiedenheiten über die Abendmahlsgemeinschaft in der EKD gemäß Grundordnung Artikel 4 „im Hinblick auf die kirchliche Gemeinschaft“ eine Lösung finden sollte, geht bis auf den Kirchenkampf zurück, eigentlich auf die Bedenken der Lutheraner gegen die Barmer Theologische Erklärung von 1934, wonach diese kein Kirche-bildendes Bekenntnis sein könne wie die reformatorischen Bekenntnisse, weil ihr u. a. eine gemeinsame Abendmahlslehre fehlt. Damit die Barmer Erklärung nicht als ein neues Unions-Bekenntnis angewendet werden kann — wie die Kreise um Karl Barth und Niemöller es bis heute versuchen —, stellten die Lutheraner immer wieder bei allen prinzipiellen Entscheidungen des Kirchenkampfes die Bedingung, die Abendmahlsfrage, d. h. die Lehre über die Realpräsenz Christi in den Elementen, zu klären. Dieser Aufgabe versuchte sich die preußische Bekenntnissynode von Halle 1937 zu unterziehen (vgl. zu dieser und den anderen oben angeführten Tatbeständen mit Literatur Herder-Bücherei Nr. 10, S. 41, 69, 161 und 167). Sie stellte u. a. fest, daß die Abendmahlsgemeinschaft „ihren Grund nicht in unserer Erkenntnis des Abendmahls, sondern in der Gnade dessen hat, der der Herr des Abendmahls ist ... Jesus Christus ist selber die Gnadengabe des von ihm einge-