

Entstehung des Lebens, Faktoren der Evolution — und Gott?

Fakten und Probleme der Molekularbiologie und Genetik

Von Friedrich Ehrendorfer

Institut für Botanik der Universität Wien

(Vortrag, gehalten am 16. April 1980)

Inhalt

| | |
|---|----|
| Vortrag | 25 |
| Literatur | 60 |
| Statement des Theologen Univ.-Prof. Dr. R. Schulte zum Vortrag | 60 |
| Diskussionsbeiträge | 73 |

Die Fülle der heutigen Lebewesen ist kaum überschaubar: Wir müssen mit einer halben Million Pflanzen und an die zwei Millionen Tierarten rechnen, und dabei zuletzt nicht auf den Menschen vergessen. Die Entstehung und erdgeschichtliche Entfaltung dieser Mannigfaltigkeit ist seit jeher ein zentrales Problem der Biologie gewesen. Freilich ist uns allen klar, daß es sich hier um einen überaus

vielschichtigen Problemerkis handelt. In meinem kurzen Einleitungsreferat kann ich dazu im wesentlichen nur Andeutungen machen und eine knappe Auswahl von Beispielen bringen. Dabei möchte ich versuchen, zuerst die Größendimensionen und Komplexitätsstufen zwischen Unbelebtem und Belebtem abzustecken. Dann wollen wir anhand des Wechselspiels von Nukleinsäuren und Proteinen die heutige Überzeugung diskutieren, daß alles Leben und sogar noch die Viren eine stoffliche und entwicklungsgeschichtliche Einheit bilden. Weiter möchte ich Ihnen eine ganz knappe Skizze des historischen Werdegangs der Lebewesen geben. Daran können wir anknüpfen die Fragen nach Sippenbildung, Mikro- und Makro-Evolution sowie „Stammbaum-Rekonstruktion“ und überlegen, ob wir dabei mit Mutation und Rekombination, Selektion und Isolation als den wichtigsten Evolutionsfaktoren das Auslangen finden. Erst zum Schluß möchte ich dann zu dem wohl schwierigsten Thema zurückkehren, das ja eigentlich am Anfang meines Vortragstitels steht, nämlich zur Frage der Entstehung des Lebens. Das also wären die Themenkreise, die ich heute berühren und durch einige Bilder knapp illustrieren will.

Unsere erste Frage betrifft die **Größendimensionen und Stufen der Komplexität an der Grenze von Belebtem und Unbelebtem**. Dabei finden wir von unbelebten Molekülen (z. B. Aminosäuren mit etwa 1 nm [= 0,000 001 mm] und daraus ketten-

förmig aufgebauten Proteinen bis etwa 10 nm) über kleinere und größere Viren (etwa 10—500 nm) und den kleinsten, eindeutig belebten Bakterien (etwa 500 nm) ein Größenkontinuum. Auch große Biomoleküle können sich aber im allgemeinen nicht selbst (identisch) replizieren, und bei Viren ist dies nur mit Hilfe des Stoffwechselapparats lebender Zellen möglich. Dagegen sind selbst kleinste Bakterienzellen in der Lage, sich in identische Tochterzellen zu teilen, so wie dies auch bei den Zellen aller Höheren Lebewesen, bis hinauf zum Menschen der Fall ist.

An welche **stofflichen Grundbausteine des Lebens** ist nun diese Fähigkeit zur identischen Replikation gebunden, die wir bei Viren und allen Organismen finden? Zuerst einmal an Eiweiße, **Proteine**: Sind sie gleichsam die Exekutive des Lebens. Wir finden sie als Enzyme und verschiedenste andere Wirkstoffe in allen zellulär gebauten Organismen, aber auch bei allen Viren. Als zweite unerlässliche Komponente stoßen wir auf die **Nukleinsäuren**. Wir können sie als die Legislative des Zellgeschehens betrachten; sie tragen alle Lebensinformationen und geben sie als Erbgut von Zelle zu Zelle, von Generation zu Generation weiter. Auch die Nukleinsäuren bestehen als Biomoleküle aus hochpolymeren Ketten; ihre Bausteine sind sog. Nukleotide, die sich ihrerseits aus einem Zucker-(Pentose-)Molekül, einem Phosphorsäurerest sowie einer organischen Base aufbauen. Im we-

sentlichen sind dabei vier Basen beteiligt, nämlich die Purine Adenin (A) und Guanin (G) sowie die Pyrimidine Thymin (T, bzw. das ähnliche Uracil : U) und Cytosin (C). Über sogenannte Wasserstoffbrücken (lockere Wechselwirkungen zwischen Atomen von Wasserstoff einerseits und Stickstoff bzw. Sauerstoff andererseits) können jeweils zwei dieser Basen, nämlich $A = T$ (bzw. $A = U$) und $G = C$ eine Paarung miteinander eingehen. Die heute wichtigste erbtragende Nukleinsäure, die Desoxyribonukleinsäure (DNS oder DNA), besteht aus Tausenden von derartigen Basenpaaren, die durch Zucker- und Phosphorsäuremoleküle strickleiterartig miteinander verkettet sind (Abb. 1). Diese Doppelketten sind zu einer Schraube (Helix) verdrillt und bilden das Grundelement der sog. Genophore (bei den prokaryotischen Bakterien und Blaualgen) bzw. der Chromosomen (im Zellkern aller eukaryotischen Höheren Lebewesen). Die DNS-Doppelhelix hat nun die Fähigkeit zur **identischen Replikation**, wie dies Abb. 1 veranschaulicht. Mit Hilfe von Enzymen wird sie dabei zuerst zu DNS-Einzelsträngen aufgespreitet. Ihre Wasserstoff-Bindungskräfte an den Basen der Nukleotide liegen nun frei. Damit ziehen sie jetzt aus der umgebenden Lösung jeweils dazupassende neue Einzelnukleotide an (also A zu G und C zu T bzw. umgekehrt). Enzyme verbinden sie und lassen so **zwei** neue Doppelstränge entstehen, die dem ursprünglich **einen**

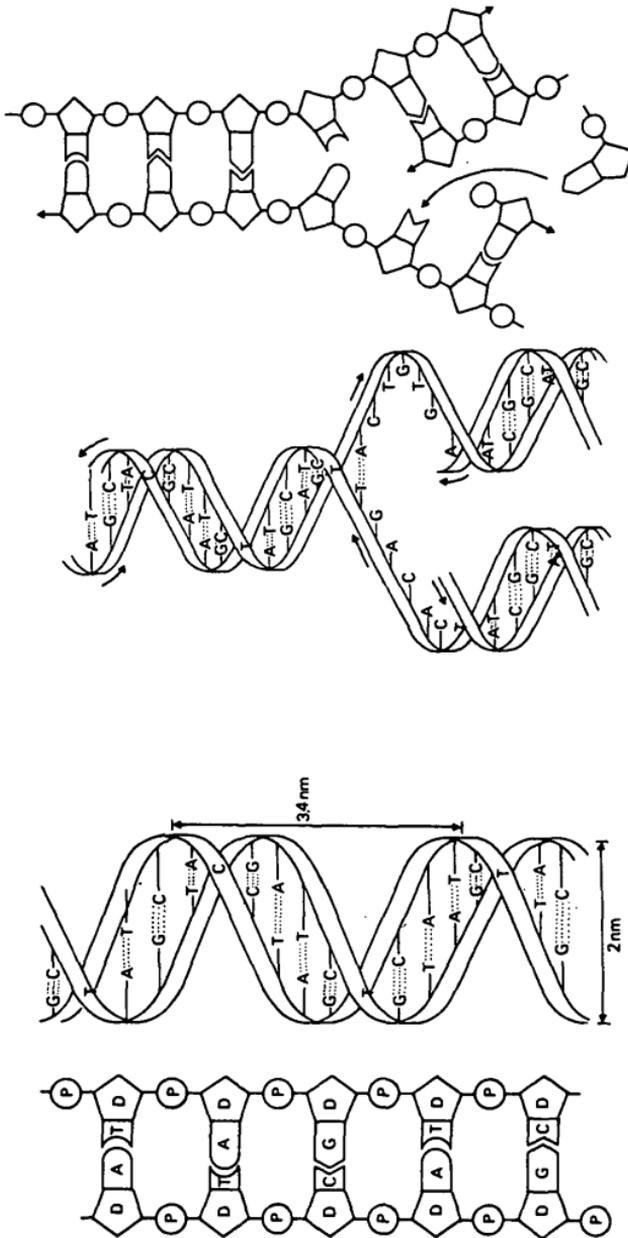


Abb. 1: Schemata für den Bau (links) und die identische Replikation (rechts) der DNS-Doppelhelix nach Aufspaltung in Einzelstränge und Ergänzung des jeweils neugebildeten Stranges aufgrund der Basenpaarung (A = T, G = C), P = Phosphorsäurereste, D = Zucker: Desoxyribose. (Aus KOLLMANN)

Doppelstrang bis aufs letzte Atom genau entsprechen. Damit ist die exakte Weitergabe des Erbguts von einer Kern- und Zellteilung zur anderen und von einer Generation zur anderen gewährleistet. Warum ist diese exakte Weitergabe wichtig? Weil in der Abfolge der vier Nukleotidtypen (A, G, C und T), ähnlich wie in einem Morsealphabet, das Geheimnis des Lebens und die besonderen Eigenschaften aller Lebewesen und Viren verschlüsselt sind.

Um das zu verstehen müssen wir noch eine weitere wesentliche Fähigkeit der DNS besprechen, die ich im vorigen schon durch die Verwendung der Begriffe Legislative und Exekutive angedeutet habe: Die Legislative der DNS schafft sich nämlich immer wieder von neuem ihre Exekutive, also die ungeheure Fülle der für das Leben notwendigen Proteine. Dabei wird — wieder mit Hilfe mehrerer Enzyme — einer der beiden DNS-Stränge der Doppelhelix teilweise entblößt. Von diesem Strang kann nun — wieder aufgrund der Wasserstoffbrücken — aus etwas andersartigen Nukleotidbausteinen eine exakt komplementäre Ribonukleinsäure (RNS oder RNA), die sogenannte Boten-RNS (mRNS) „abgelesen“ werden; diesen Bildungsvorgang nennt man **Transkription**. Von dieser mRNS werden nun an besonderen Zellorganellen, den Ribosomen, im Plasma durch die Vermittlung einer weiteren RNS-Sorte, der Träger-RNS (tRNS), die Proteine gebildet (Abb. 2).

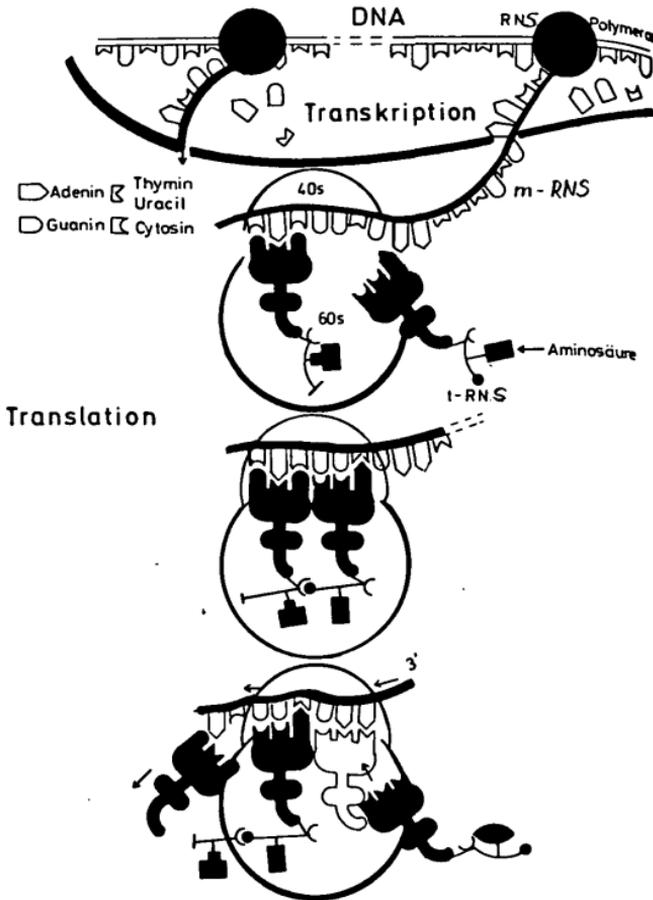


Abb. 2: Schema der Proteinsynthese: Transkription der mRNS vom codierenden Strang der DNS im Zellkern mit Hilfe des Enzyms RNS-Polymerase, Anlage der m-RNS an die 40s + 60s-Ribosomen im Plasma, Heranbringen der Aminosäuren (z. B. Methionin, Phenylalanin, Leucin, Glycin) durch spezifische tRNS, komplementäre Triplettbinding zwischen mRNS und tRNS sowie Translation der Nucleinsäuresequenz in die Aminosäuresequenz der sich ablösenden Proteine; je ein Nucleotid-Triplett (z. B. AUG bzw. TAC) entspricht einer Aminosäure (z. B. Methionin). Weitere Erklärungen im Text. (Aus BUSELMAIR)

Auch für diese sogenannte *T r a n s l a t i o n* sind wieder andere spezifische Enzyme und Energiezufuhr (ATP) nötig. Bei der Translation entsprechen jeweils Dreiergruppen von Nukleotiden der DNS bzw. RNS als sog. Tripletts jeweils einer der etwa 20 für den Proteinaufbau benötigten Aminosäuren. So kommt es gleichsam zu einer „Übersetzung“ aus der 4-teiligen „Sprache“ der Nukleinsäuren in die etwa 20-teilige „Sprache“ der Proteine. Diese „Übersetzung“ folgt dem sog. Genetischen Code (Abb. 3). Dabei wird jede Aminosäure jeweils durch ein oder mehrere der 64 möglichen Tripletts bestimmt. Einige Tripletts signalisieren darüber hinaus Anfang bzw. Ende des „Ablesevorgangs“ für ein bestimmtes Protein. Das Unglaubliche ist nun, daß dieser Genetische Code, dieses gesetzmäßige Korrespondieren von Nukleotiden und Aminosäuren sowie der dazugehörige komplizierte Enzymapparat allen Lebewesen (und auch den Viren) *g e m e i n s a m* ist. Daraus (und aus vielen anderen grundsätzlichen Übereinstimmungen) ergibt sich heute die zwingende Schlußfolgerung, daß alle Lebewesen (und die Viren) im Ablauf der Stammesgeschichte auf unserer Erde aus einer gemeinsamen Wurzel entstanden sind. Sie alle erscheinen also durch das körperlich-stoffliche Band der „Keimbahn“ über Millionen von Generationen hinweg miteinander verbunden,

sind also im wahrsten Sinn des Wortes alle miteinander mehr/minder nahe verwandt.

Nun aber zu unserer dritten Frage, nach den zeitlichen Dimensionen der Entwicklung und Stam-

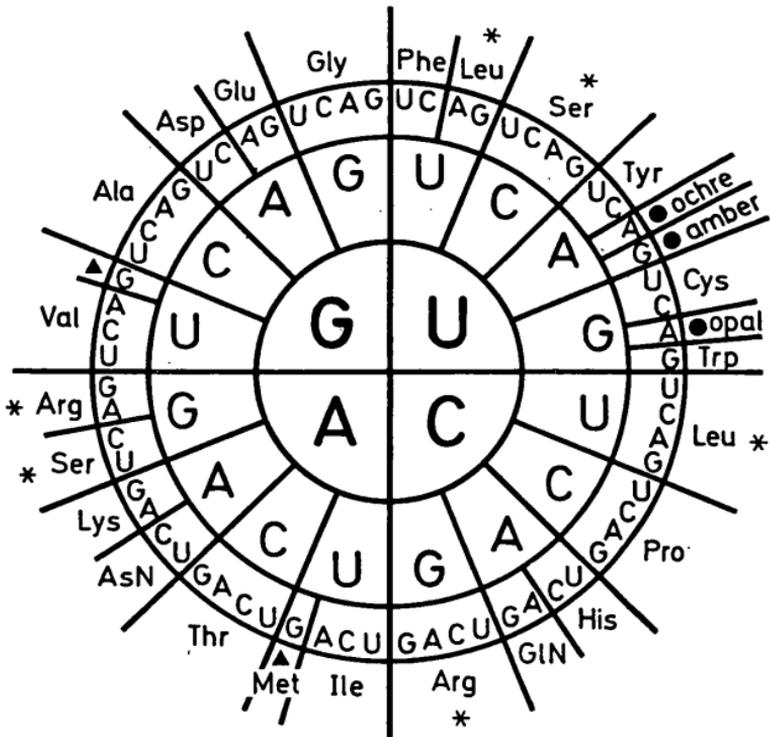


Abb. 3: Darstellung des Genetischen Code in Form einer „Sonne“. Von innen nach außen sind die erste, zweite und dritte Position des mRNA-Tripletts und die dadurch bestimmte Aminosäure angegeben. Die Aminosäure Valin (Val) wird z. B. durch die Tripletts GUU, GUC oder GUA bestimmt. Die mit ▲ bzw. ● markierten Tripletts markieren als „Starter“ bzw. „Terminator“ Anfang bzw. Ende eines Transkriptions- bzw. Translationsvorganges; * zweimal auftretende Aminosäuren. (Aus BRESCH & HAUSMANN)

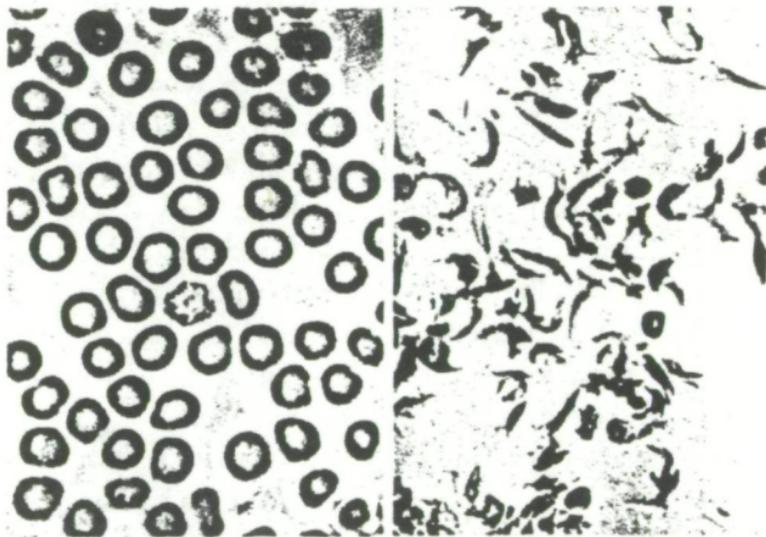
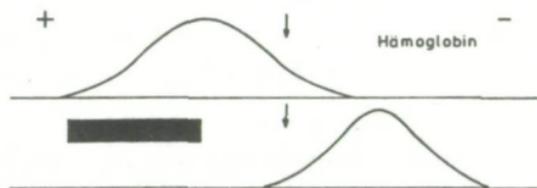
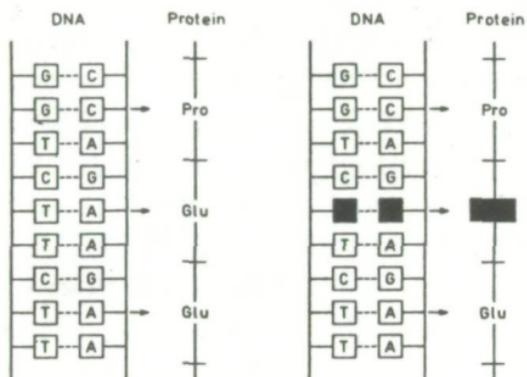
mesgeschichte des Lebens auf unserem Planeten. Die ungeheuren Zeiträume um die es dabei geht, lassen sich am besten veranschaulichen, wenn man sie mit dem Ablauf eines 24-Stunden-Tages vergleicht. Wenn man dabei die Bildung der Erde mit 4.500 Mill. Jahren veranschlagt (teilweise wird sogar mit einem noch höheren Alter gerechnet), dann treten die ersten Lebensspuren in Sedimentgesteinen etwa vor 3.500 Mill. Jahren in Erscheinung (nach unserem Tagesvergleich also etwa um 5.30 Uhr). Die Atmosphäre unserer Erde war damals praktisch noch Sauerstoff-frei, enthielt aber viele energiereiche Kohlenstoffverbindungen. Davon und „anaerob“ (ohne freien Sauerstoff) müssen die damaligen Bakterien-ähnlichen Urlebewesen existiert haben. Die erste Nutzung der Sonnenenergie durch anaerobe Photosynthese (z. B. unter Verwendung von H_2S), ist wohl schon 500 Mill. Jahre später (also „um 8 Uhr“) zu vermuten. Aber erst vor etwa 2.300 Mill. Jahren („nach 12 Uhr mittags“) wurde von blualgenähnlichen Gewächsen die aerobe Photosynthese entwickelt, wie sie auch heute noch alle Chlorophyll-führenden Pflanzen aufweisen. Sie beruht auf der Spaltung von H_2O , führte zur allmählichen Anreicherung unserer Atmosphäre mit Sauerstoff und ermöglichte damit auch die Herausbildung der heute so grundlegenden Atmungsvorgänge bei den allermeisten Lebewesen. Die Entstehung von eukaryotischen Einzellern mit echten Zellkernen und Chromoso-

men sowie ihre beginnende Auffächerung zu vielzelligen Algen, Pilzen und Tieren können wir etwa mit 1.300 Mill. Jahren („19 Uhr abends“) ansetzen. „Erst“ vor 400 Mill. Jahren („vor 22 Uhr“) erfolgte die allmähliche Eroberung des Festlandes durch amphibische Pflanzen und Tiere. Die ältesten Säugetiere sind etwa 200 Mill. Jahre alt („23 Uhr“) und die ersten menschenähnlichen Lebewesen im Übergangsfeld Tier-Mensch, die Australopithecinen erscheinen gar erst vor ca. 3 Mill. Jahren (also „nur eine Minute“ vor unserer Gegenwart, „24 Uhr Mitternacht“).

Nun möchte ich mich dem vierten der einleitend besprochenen Themenkreise zuwenden, nämlich den **Evolutionsvorgängen** selbst. Diese seit Jahrmilliarden andauernden Prozesse der Veränderung, Anpassung und Verbesserung des Lebens auf unserer Erde sind ja keineswegs zu Ende, sondern laufen unentwegt weiter. Damit haben wir die Möglichkeit, die Vorgänge der Rassendifferenzierung und Sippenbildung direkt zu beobachten, an nächst Verwandten auch experimentell zu analysieren und unter günstigen Voraussetzungen gelegentlich sogar zu wiederholen. Grundlegender Faktor für alle Evolutionsprozesse ist das Auftreten spontaner **M u t a t i o n e n**, Veränderungen am Erbgut (also an der informationstragenden DNS). Bei allen Höheren Organismen betreffen solche Mutationen besonders die Chromosomen (Erb-schleifen), ihren molekularen Aufbau (Gen-Muta-

tionen), ihre Struktur (Chromosomen-Mutationen) bzw. ihre Zahl (Genom-Mutation). Ein typisches Beispiel für eine Gen-Mutation beim Menschen ist die bekannte Sichelzellenanämie (Abb. 4). Es handelt sich um eine Gen-Mutation, die offenbar nur ein einziges Nukleotidpaar an der DNS-Sequenz für den Blutfarbstoff Hämoglobin betrifft und in diesem Protein an einem ganz bestimmten Punkt die Aminosäuren Glutamin und Valin vertauscht. Dadurch werden die chemo-physikalischen Eigenschaften des Hämoglobins modifiziert und das mikroskopische Aussehen der roten Blutkörperchen dramatisch verändert: statt rund sind sie nunmehr bei geringerem Sauerstoffdruck sichelförmig. Individuen, bei denen diese Erbänderung in beiden Chromosomensätzen auftritt, sterben an Anämie. Warum hat sich die Mutation nun aber trotz dieser nachteiligen Auswirkung in weiten Gebieten Nordafrikas, im Orient und im tropischen Afrika nicht nur erhalten sondern sogar ausgebreitet? Die Antwort auf diese Frage ist, daß Individuen mit

Abb. 4: Die Sichelzellenanämie als Beispiel für eine Gen-Mutation beim Menschen. In der DNA-Sequenz für das Hämoglobin (oben) wurde ein Nukleotidpaar verändert, Transkription und Translation führen daher zum Einbau der Aminosäure Valin anstelle von Glutamin. Dadurch ändern sich die chemo-physikalischen Eigenschaften des Hämoglobins (z. B. Wanderung im elektrischen Feld: Mitte) und das Aussehen der roten Blutkörperchen (unten: links normal bei Sauerstoffsättigung, rechts sichelförmig bei geringem Sauerstoffdruck). (Nach ALLISON aus RENSING *et al.*)



einem normalen Hämoglobin-Gen in einem, und der Sichelzellen-Mutation in ihrem anderen Chromosomensatz eine wesentlich erhöhte Resistenz gegen Malaria aufweisen als genetisch völlig normale Individuen. So bringt diese an und für sich nachteilige Gen-Mutation einen unerwarteten Vorteil und hat sich in Malaria-verseuchten Gebieten stark ausbreiten können. Wir sehen aus diesem Beispiel, daß man mit der Beurteilung des positiven oder negativen Selektions-Werts einer Mutation vorsichtig sein muß, weil es sich dabei um eine durchaus relative Größe handelt, die sich in Abhängigkeit von den anderen Erbanlagen und den jeweiligen Umweltbedingungen verändert.

Positive Auswirkungen von Gen-Mutationen an Pflanzen möchte ich durch 2 Beispiele aus der bekannten Kulturgrasgattung Mais (*Zea mays*) illustrieren. In einem Fall wird dadurch Resistenz gegen einen gefährlichen Pilzparasiten (*Helminthosporium*) bewirkt, im anderen Fall ein verstärktes Wurzelwachstum. Es ist ganz klar, daß derartige Gen-Mutationen bei entsprechendem Pilzbefall oder bei mangelhafter Wasserversorgung einen großen Vorteil bedeuten werden und zu einer Ausbreitung derartig mutierter Erbanlagen in den betroffenen Populationen führen werden.

Als zweiten wichtigen Evolutionsfaktor habe ich schon einleitend die **R e k o m b i n a t i o n** genannt. Während Mutationen laufend das Rohmaterial für die Evolution schaffen, verursachen vor

allem Sexualvorgänge und Meiose eine fortwährende Neuordnung dieses genetischen Rohmaterials in den Individuen der Fortpflanzungsgemeinschaften. Diese Neuordnung bzw. Rekombination der Erbanlagen folgt bekanntlich bei allen Höheren Pflanzen und Tieren (und natürlich auch beim Menschen) den von Gregor MENDEL entdeckten Vererbungsregeln. Dadurch ist gewährleistet, daß selbst seltene und zuerst nur ganz lokal auftretende vorteilhafte Mutationen miteinander kombiniert und in vermehrter Zahl über weite Gebiete hin an die Nachkommen weitergegeben werden. Ein gutes Beispiel dafür ist die vorhin besprochene Sichelzellenanämie.

Wichtig für die Evolution ist es, daß sich die durch Anreicherung und Kombination vorteilhafter Erbanlagen an ihre Umwelt gut angepaßten Sippen durch Hybridisierung nicht wieder unbegrenzt vermischen und dabei ihre Selektionsvorteile verlieren. Dafür sind verschiedene Faktoren der *I s o l a t i o n* verantwortlich, etwa räumliche Isolation (z. B. auf Inseln), zeitliche Isolation (z. B. infolge verschiedener Fortpflanzungszeiten) und besonders reproduktive Isolation (z. B. durch Sterilität und reduzierte Lebensfähigkeit von Hybriden und Hybridnachkommen, etwa infolge von Chromosomen-Mutationen). Schon vor etwa 150 Jahren hat Ch. DARWIN auf seiner berühmten Weltreise mit der Beagle das Auftreten nahe verwandter Sippen von Vögeln und Schildkröten

(Abb. 5) auf verschiedenen Inseln der Galapagos beobachtet und ganz richtig als Ergebnis der Isolation von Nachkommen einer Stammsippe gedeutet.

Zuletzt muß noch auf den besonders wichtigen Evolutionsfaktor der natürlichen Auslese, auf die Selektion, hingewiesen werden. Dadurch wird gewährleistet, daß aus einer erblich (genetisch) variablen Population bevorzugt solche Individuen zur Fortpflanzung und Weitergabe ihrer Erbanlagen kommen, die den jeweiligen Umweltbedingungen besser entsprechen. Als Beispiel sei auf Abb. 6 verwiesen: Entlang eines Höhentransekts durch die Sierra Nevada Kaliforniens wurden Schafgarbenpopulationen von 1.400 bis 3.350 m Seehöhe aufgesammelt und unter gleichartigen Bedingungen im Experimentalfeld kultiviert. Dabei zeigt sich, daß die stark unterschiedlichen Merkmale der Stengelhöhe, Verzweigung, Blattgröße, Entwicklungsgeschwindigkeit, Frostresistenz etc. als Anpassungsmerkmale eng mit der Seehöhe korreliert und weitgehend erblich fixiert sind. So nimmt im Durchschnitt die Stengelhöhe und Blattgröße zur Waldgrenze hin ab, die Entwicklungsgeschwindigkeit und Frostresistenz hingegen zu. Die starke genetische Variationsbreite aller dieser Merkmale in den Populationen hat eine Auswahl der geeignetsten Genotypen in den verschiedenen Höhenstufen durch die Selektion und damit eine optimale Anpassung an die jeweiligen Umweltbedingungen ermöglicht.



Abingdon



Duncan



Albemarle

Abb. 5: Drei nahe verwandte Arten der landbewohnenden Riesenschildkrötengattung *Testudo*, die jeweils auf eine der Inseln der Galapagos-Gruppe beschränkt sind. Ihre Entstehung ist offenkundig durch räumliche Isolation gefördert worden. (Aus STEBBINS)

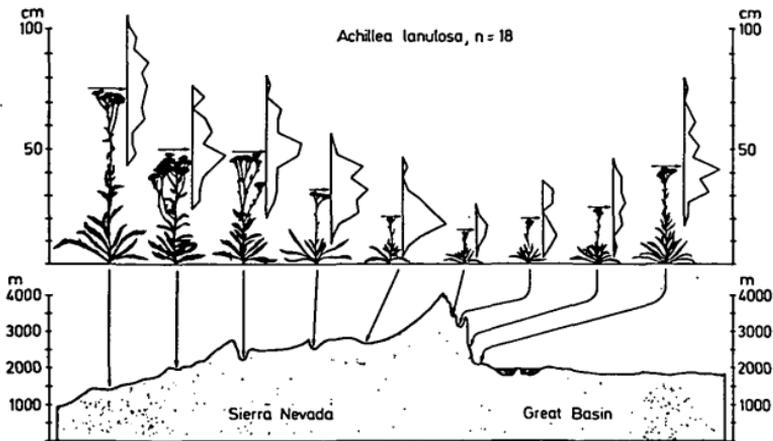


Abb. 6: Ökologische Rassen einer Scharfgarbe (*Achillea lanulosa*) entlang eines Transektes durch die Sierra Nevada Kaliforniens aus verschiedenen Seehöhen (1400 — 3350 — 2100 m). Aus jeder der 9 Populationen wurden etwa 60 Individuen aus Samen in einem Experimentalgarten bei 30 m Seehöhe herangezogen. Die eingefügten Diagramme zeigen die dabei erkennbare erbliche Variation der Stängelhöhe, den Mittelwert (Pfeil) und ein typisches Individuum aus jeder Population. (Nach CLAUSEN, KECK & HIESEY aus STRASBURGER 31. Aufl.)

Ein ganz entsprechendes Beispiel aus dem Tierreich ist der bekannte Fall des auf Birken lebenden Spanners *Biston betularia*. Er tritt in einer hellgefleckten und in einer einheitlich dunklen genetischen Form auf. Während die erstere in eher landwirtschaftlich genutzten Gebieten überwiegt und im vorigen Jahrhundert noch sehr viel weiter verbreitet war, ist die dunkle Form in den letzten Jahrzehnten in den stark industrialisierten Gebie-

ten immer häufiger geworden. Als Grund für diese Verschiebung konnte auf experimentellem Wege der unterschiedliche Selektionswert der beiden Farb-Mutanten nachgewiesen werden. Die Hauptfeinde des Birken-Spanners sind nämlich Vögel, welche die Schmetterlinge auf der Baumrinde optisch orten und fressen. In den stark verrußten Industriegebieten hat nun die dunkle Form wesentlich bessere Überlebenschancen als die hellgefleckte.

Die kombinierte Wirkung von Mutation, Rekombination, Isolation und Selektion kann durch das schöne Beispiel der in mehrere Gattungen und zahlreiche Arten aufgespaltenen Darwin-Finken auf den Galapagos-Inseln illustriert werden (Abb. 7). Da diese Inselgruppe erst wenige Millionen Jahre alt ist, muß sich dieser Verwandtschaftskreis in relativ kurzer Zeit aus einer einzigen dorthin verschlagenen Stammform entwickelt haben. Während dieser Zeit ist es zu wesentlichen Veränderungen in den Schnabelformen, in der Verhaltensweise und in der Ernährung dieser Gattungen und Arten gekommen. Ihre Anpassung an die verschiedensten Nahrungsquellen hat zu einer beachtlichen ökologischen Auffächerung und Spezialisierung geführt. Diese Eroberung immer neuer Lebensmöglichkeiten bzw. Lebensräume durch die Entwicklung und Differenzierung von Organen und Fähigkeiten ist ein Grundzug aller Evolutionsprozesse auf unserem Planeten. Weitere Beispiele dafür sind z. B. die mehrfach parallel entstandenen Anpassungen der

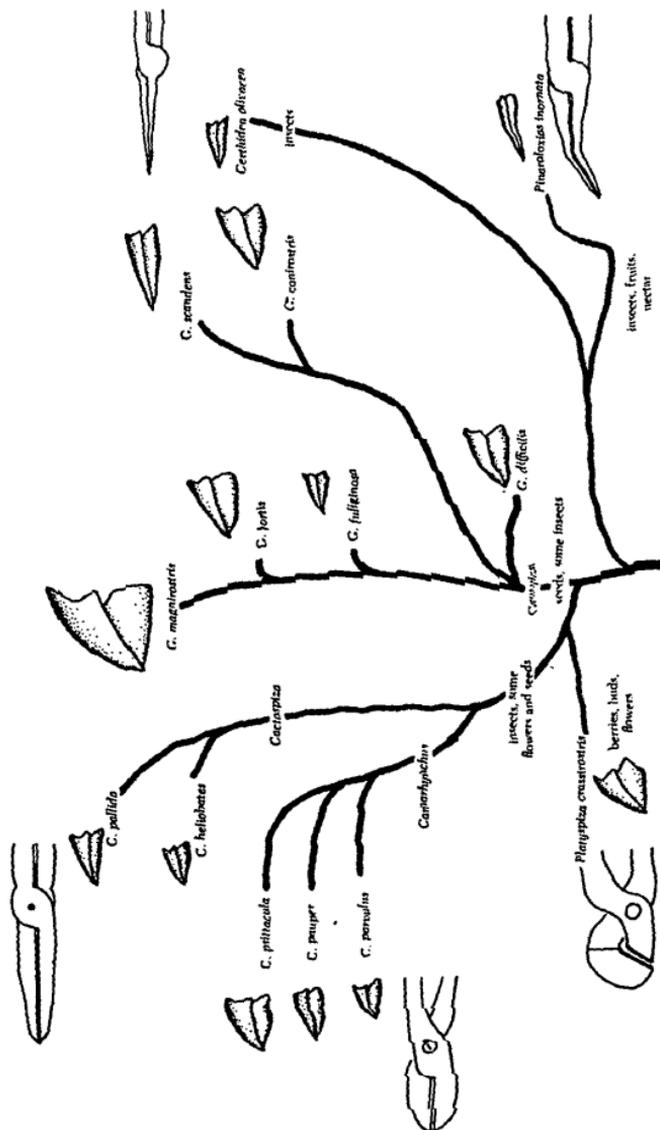


Abb. 7: Adaptive Auffächerung der Darwin-Finken am Beispiel ihrer Schnabelformen und hauptsächlichlichen Nahrungsquellen. Die Schnabelformen lassen sich mit verschiedenen Zahnformen vergleichen, sie stellen „Werkzeuge“ für die Verarbeitung von Nahrungspartikeln verschiedener Größe und Konsistenz dar. (Aus CARLQUIST)

„Blumenstile“ an die Pollenübertragung und Bestäubung durch Bienen, Schmetterlinge, Vögel oder durch den Wind bei den Blütenpflanzen. Auffällig sind auch die konvergenten Veränderungen bei der „Rückkehr“ bereits ans Landleben angepasste Wirbeltiergruppen in den wässrigen Lebensraum, wobei gewisse Reptilien (z. B. Ichthyosaurier), Vögel (z. B. Pinguine) und Säugetiere (z. B. Wale, Delphine, Seekühe usw.) wieder fischartige Merkmale ausbilden. In entsprechender Weise finden wir ähnliche Anpassungsmerkmale für das Fliegen nicht nur bei den Vögeln, sondern auch bei Reptilien (z. B. Pterosauriern) und bei Säugetieren (z. B. Fledermäusen), welche den Luftraum erobert haben. Nichts spricht dafür, daß bei diesen Prozessen der **Makro-Evolution** (auf der Ebene der Gattungen, Familien, Ordnungen und Stämme) grundsätzlich anderen Faktoren wirksam wären, als bei der **Mikro-Evolution** (im Bereich der Rassen- und Artbildung).

Lassen sich **Verwandtschaftszusammenhänge** erkennen und **Stammbäume** rekonstruieren, auch wenn keine oder nur ungenügende Fossilfunde vorhanden sind? Auch in solchen Fällen hat die experimentelle Evolutionsforschung in den letzten Jahrzehnten Fortschritte erzielen können. Als erstes Beispiel dazu sei auf den Entwicklungsweg der wichtigsten Nahrungspflanze unserer Erde, des Kultur-Weizens hingewiesen (Abb. 8). Dabei handelt es sich um eine hexaploide Sippe mit 6 Chro-

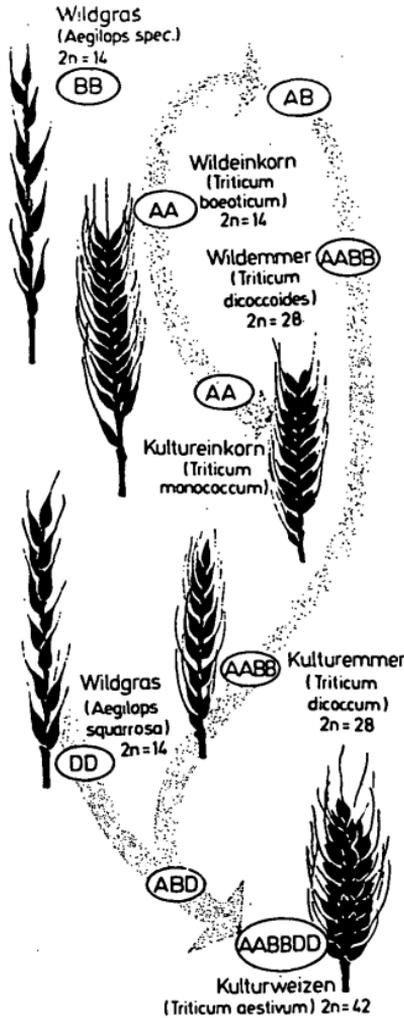


Abb. 8: Verwandtschaftszusammenhänge zwischen den wichtigsten Wild- und Kultursippen der Weizen. Die Hexaploiden ($2n = 42$ Chromosomen) und Tetraploiden ($2n = 28$) sind aus verschiedenen Diploiden ($2n = 14$) durch Hybridisierung und Polyploidisierung entstanden. Die Großbuchstaben kennzeichnen genetisch und chromosomenstrukturell verschiedene Chromosomensätze (Genome). (Nach GÜNTHER aus CZIHAK *et al.*)

mosomensätzen zu je 7 Einzelchromosomen; nach Struktur und Erbgut können diese 6 Chromosomensätze durch die Genomformel AA BB DD charakterisiert werden. Die unmittelbaren Vorläufer dieses heute dominierenden Getreides sind altertümliche tetraploide Weizenrassen, die man als Emmer zusammenfaßt und mit der Genomformel AA BB kennzeichnet. Durch Hybridisierung mit einem Wild- bzw. Unkrautgras der Genomformel DD ist daraus zuerst eine triploide Hybride ABD und nach Chromosomenverdoppelung (eine Genom-Mutation: Polyploidie) der Kultur-Weizen entstanden. Dieser besonders im Pflanzenreich überaus bedeutungsvolle Vorgang der Sippenkreuzung und darauffolgenden Chromosomenverdoppelung wird als Allopolyploidie bezeichnet und hat sich schon vorher bei der Entstehung des Kultur-Emmers in analoger Form abgespielt. Durch Kreuzungsexperimente und künstliche Chromosomenverdoppelungen ist es gelungen, diesen ganzen komplizierten Entwicklungsgang im Experiment zu wiederholen, also $AA \times BB \rightarrow AB \rightarrow AA BB$, $AA BB \times DD \rightarrow ABD \rightarrow AA BB DD$. Dieser so aus den diploiden Stammformen hergestellte synthetische Kultur-Weizen entspricht dem natürlichen Kultur-Weizen nicht nur im Aussehen, sondern läßt sich auch ohne weiters mit ihm rückkreuzen, so daß der Nachweis der gelungenen experimentellen Synthese vollkommen ist.

Der Vergleich des Erbgutes verschiedener Sippen ist heute selbst dort möglich, wo infolge der im Lauf der Stammesgeschichte herausgebildeten Kreuzungsbarrieren keine Hybridisierung mehr möglich ist. Dazu bedient man sich der N u k l e i n s ä u r e n - A n a l y s e. Man löst z. B. die DNS aus den Zellkernen bzw. Chromosomen eines beliebigen Organismus (A) heraus, trennt ihre beiden durch Wasserstoffbrücken verbundenen Stränge und fixiert sie in dieser Form auf einem Filter. In entsprechender Weise geht man bei der DNS eines anderen Organismus (B) vor, dessen einsträngige DNS-Lösung man radioaktiv markiert. Wenn man nun die filtergebundenen und die gelösten radioaktiv markierten Einzelstränge in Kontakt bringt, dann verbinden sie sich aufgrund ihrer Wasserstoffbrückenaffinität so weit, als dies ihre homologen, also der Nukleotidsequenz nach übereinstimmenden Abschnitte zulassen. Dann kann man in einem dritten Arbeitsgang die einsträngigen, also ungepaart gebliebenen DNS-Abschnitte herauslösen, so daß nur die zur Hälfte radioaktiv markierten Hybriddoppelstänge überbleiben. Durch Messung ihrer Radioaktivität kann nun die DNS-Paarung von A und B quantitativ analysiert werden, und daraus läßt sich wiederum das Ausmaß der genetischen Übereinstimmung der Organismen A und B ableiten. Mit dieser Methode ist es gelungen, im Pflanzen- und besonders im Tierreich verschiedene Verwandtschaftszusammenhänge zu

klären. Darüber hinaus kann man die DNS-Strukturen von weit auseinanderliegenden Organismen wie gewissen Bakterien, Vögeln, Nagetieren, Affen und auch vom Menschen direkt miteinander vergleichen, wobei sich eine der bisherigen Gruppierung durchaus entsprechende, also verwandtschaftsbezogene abgestufte Ähnlichkeit abzeichnet. Bemerkenswert an diesen Vergleichen ist, daß man in Relation zum Rhesusaffen zwischen der DNS des Menschen und Schimpansen überhaupt nicht mehr unterscheiden kann: Ihre DNS ist so ähnlich, daß sie sich mit dieser Methode nicht mehr auftrennen läßt.

Noch besser lassen sich heute die allmählich aufeinanderfolgenden Schritte der stammesgeschichtlichen Divergenz aus der Analyse von Proteinen und ihrer DNS-kodierten Aminosäuresequenz erkennen. Dabei bestätigt etwa der Vergleich zahlreicher Enzyme bei Menschenaffen und beim Menschen, daß ihre diesbezüglichen Unterschiede nicht größer sind als die, welche wir sonst zwischen ganz nahe verwandten Arten bzw. Unterarten verschiedener Insekten- und Säugetiergruppen antreffen. Wenn man also aufgrund der bekannten morphologischen und psychologischen Unterschiede den Menschen und die Menschenaffen in verschiedene Familien der Säugetiere einreicht, so läßt sich das durch einen Vergleich ihrer DNS bzw. ihrer verschiedenen Proteine nicht rechtfertigen. Diese erstaunliche Ähnlichkeit läßt sich auch durch eine

Analyse des bei der Atmung wichtigen Enzyms Cytochrom c bestätigen. Dieses Protein besteht beim Menschen und beim Schimpansen aus denselben 104, völlig gleichartig aneinandergereihten Aminosäuren. Stärkere Veränderungen ergeben sich erst, wenn man entfernter verwandte Affen-, Säugetier- oder Wirbeltiergruppen zum Vergleich heranzieht (Abb. 9). Aber selbst zwischen Säugtieren und Höheren Pflanzen bestehen noch mehr als 58% Übereinstimmungen in der Aminosäuresequenz, und zwischen allen Zellkern-führenden Pflanzen, Pilzen und Tieren immerhin noch 37%. Dieser Wert wird erst unterschritten, wenn wir auch das Cytochrom c bei den Zellkern-losen Bakterien und Blaualgen in unseren Vergleich miteinbeziehen. Die allmähliche Veränderung des Atmungszyms Cytochrom c von den niedrig- zu den höchstorganisierten Verwandtschaftsgruppen der Lebewesen bestätigt in eindrucksvoller Weise Vermutungen über ihrer stammesgeschichtlichen Zusammenhänge, wie sie aus einem Vergleich der Morphologie und unter Berücksichtigung der Fossilfunde schon viel früher entwickelt wurden.

Ein Rückblick auf die bisher besprochenen Evolutionsabläufe und Evolutionsfaktoren führt uns die zentrale Bedeutung der spontanen Erbänderungen, also der Mutationen an der DNS bzw. an den Chromosomen vor Augen. Vielfach hat man die „Zufälligkeit“ dieser Mutationen herausgestellt. Das stimmt aber nur in dem Sinn, daß sie nicht von

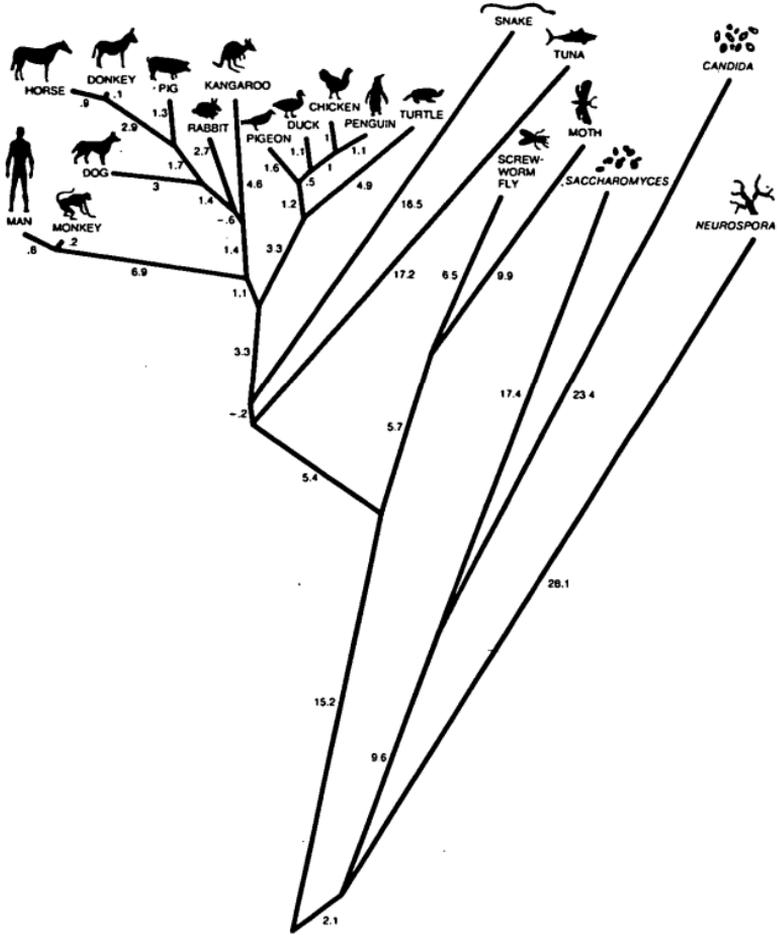


Abb. 9: Verwandtschaftliche Zusammenhänge zwischen dem Menschen, verschiedenen Säugetieren, Vögeln, Reptilien, Insekten sowie Pilzen aufgrund der Aminosäuresequenz ihres Atmungszyms Cytochrom c. Die Ziffern beziehen sich auf die Minimalzahl von Nukleotidveränderungen in der zugrundeliegenden DNS. (Nach FITCH & MARGOLIASH aus AYALA)

vornherein auf ein bestimmtes Ziel hin ausgerichtet sind. Auch durch Experimente läßt sich das Fehlen einer hier verankerten Teleologie beweisen, etwa durch den Nachweis, daß in einer mit dem Antibiotikum Streptomycin versetzten Bakterienkolonie die Mutationen für Streptomycin-Resistenz nicht häufiger auftreten als in einer unbehandelten Kolonie. Zufällig sind Mutationen aber nicht in dem Sinn, als daß alle nur denkbaren Veränderungen an einer Erbanlage realisiert werden könnten. Denn schon im Organismus selbst sind die Mutationsmöglichkeiten durch die Wechselwirkung mit den anderen Erbanlagen und durch die organisatorischen Grundgegebenheiten begrenzt. So werden mutative Veränderungen schon bei ihrem Entstehen „kanalisiert“, und wenn sie diese erste interne Selektion bestanden haben, dann werden sie aufgrund ihrer Auswirkungen am Individuum und in seiner Umwelt neuerlich getestet und geprüft. Diese durch die Innen- und Außenwelt bedingten Prüfungs- und Selektionsvorgänge aller Erbänderungen hat R. RIEDL als „genetisches Lernen“ bezeichnet. So passen sich alle Organismen an und spiegeln dadurch zuletzt in einem erstaunlich hohem Maß ihre Umwelt wider. Der Augenfleck des Einzelllers ist ebenso wie das komplizierte vielzellige Auge des Säugetiers Spiegelbild der optischen Gesetze.

Anpassung und Evolution sind also durchaus spontane aktive Prozesse, die aus einer andauern-

den Wechselwirkung zwischen den Organismen und ihrer Umwelt resultieren. Dagegen müssen wir heute das immer wieder diskutierte (und auch von DARWIN akzeptierte!) Postulat einer „Vererbung erworbener Eigenschaften“ ablehnen. Hier würden die Organismen ja eher passiv von außen geprägt werden, wofür im bisher bekannten Apparat der Informationsübertragung von der DNS zu den Proteinen, Merkmalen und Lebensprozessen alle Voraussetzungen fehlen. Trotz dieser Grundtatsachen dürfen wir nicht übersehen, daß die Lebewesen keineswegs immer nur Optimallösungen im Hinblick auf Umwelt-Anpassung und Kampf ums Dasein darstellen. Daher ist es nicht so, daß nur die am besten angepaßten Organismen überleben. Eher müßte man sagen, daß nur die am schlechtesten angepaßten und weithin Lebensuntüchtigen ausgemerzt werden.

Wir haben gesehen, daß alle Lebewesen historisch geworden sind und daß durch ihre heute vielfach nicht mehr aktuellen Anpassungen an vergangene Umweltbedingungen oft auch belastet sind. Nirgends ist hier eine „Planung auf lange Sicht“ erkennbar, alles folgt dem Diktat des Überlebens. Wir sind Zeugen einer Strategie, die auf den unmittelbaren Erfolg in der Gegenwart ausgerichtet ist und daher einer künftigen Entwicklung zumindest nicht direkt, sondern bestenfalls als „Prädisposition“ Rechnung tragen kann. Trotz dieses improvisierenden Charakters zeigt sich, daß über

längere Zeiträume hinweg aber doch immer effizientere und die Umwelt-Ressourcen immer rationeller ausnützende Organismengruppen entstanden sind. Ist eine solche unbezweifelbare Höherentwicklung ohne einen vorherigen Plan aufgrund von grundsätzlich ungerichteten Mutationen wirklich denkbar? Ist denn nicht schon die Entstehung auch nur eines einzigen Proteinmoleküls mit seiner ganz exakt festgelegten Aminosäuresequenz als Voraussetzung für eine entsprechende Wirksamkeit aufgrund simpler Wahrscheinlichkeitsberechnungen auszuschließen? Derartige Einwände übersehen, daß Biomoleküle ebenso wie ein- und vielzellige Organismen mit ihren vielfach erstaunlich komplexen Organen eben historische Produkte sind und sich im Lauf der Erdgeschichte über zahllose Zwischenformen (die ja auch alle \pm funktionstüchtig gewesen sein müssen) zu dem entwickelt haben, was sie heute sind. Hier liegt eine allmähliche Verbesserung nach dem Prinzip von Versuch und Irrtum vor. Das rein zufällige und plötzliche Entstehen hochkomplizierter Strukturen können wir mit Sicherheit ausschließen. Ein Vergleich mit den technischen Konstruktionen unserer heutigen Zeit drängt sich auf. Kein noch so genialer Autokonstrukteur könnte, ohne auf eine lange Reihe von Vorbildern zurückzugreifen, ad hoc eine der heute üblichen PKW-Typen entwerfen. Eine Jahrtausende lange Entwicklung von Ideen und Anleitungen muß dafür zur Verfügung stehen, von der Entwicklung

des Rades über die Konstruktion des 4-rädrigen Wagens hin zur Entwicklung von Zugmaschinen, letztlich also zum Benzin- und Kolbenmotor und allen anderen notwendigen Details.

Abschließend wollen wir uns nun noch mit dem bis zum Ende aufgesparten Zentralthema unserer Diskussion beschäftigen, mit der Frage nach der **Entstehung des Lebens** auf unserem Planeten. Gerade hier sind die Lücken unseres Wissens noch übergroß, der Anteil an Spekulation und Hypothese daher übermächtig. Trotzdem zeigen uns schon eine ganze Reihe von Befunden die Richtung an, aus der wir auf eine Antwort hoffen können. Grundlegend ist die heute gesicherte Erkenntnis, daß die Atmosphäre unseres Planeten zum Zeitpunkt der vermutlichen Entstehung des Lebens, also vor etwa 3,5 bis 4 Milliarden Jahren, überwiegend aus Wasserdampf, Wasserstoffgas, Ammoniak, Methan, Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff, aber noch kaum aus den heute dominierenden Gasen Stickstoff und Sauerstoff bestand. Auch die heute so wichtige, vor der Weltraumstrahlung schützende Ozonschicht fehlte der damaligen Uratmosphäre. Vulkanismus und elektrische Entladungen haben offenbar eine große Rolle gespielt. Schon in den 50er Jahren haben St. MILLER & H. UREY einer entstprechenden künstlichen Atmosphäre im Labor elektrische Energie zugeführt. Dabei entstehen eine Fülle von teilweise komplizierten organischen Verbindungen, darun-

ter solche, die als Bausteine des Lebens von entscheidender Bedeutung sind, wie z. B. die Kohlehydrate, Aminosäuren sowie Purin- und Pyrimidinbasen. Die Voraussetzungen für die Entstehung des für das Leben so zentralen Protein-Nukleinsäuren-Systems waren also in der damaligen „Ursuppe“ gegeben. Freilich ist es von diesen experimentell faßbaren Phänomenen bis zum heute perfektionierten System der DNA-Replikation, Transkription und Translation noch ein sehr weiter Weg. Trotzdem, alle diese Vorgänge können heute schon im Reagenzglas durchgeführt werden! Darüber hinaus gibt es eine ganze Reihe von Experimenten mit Viren und künstlich hergestellten Protein- und Nukleinsäuresystemen, die uns vor Augen führen, wie das heute allgemeingültige Informationssystem des Lebens aus einfachen Anfängen entstanden sein könnte. Der Nobelpreisträger M. EIGEN hat im Zusammenwirken mit anderen Fachkollegen, darunter auch dem Österreicher P. SCHUSTER, in letzter Zeit mehrfach über diesen Themenkreis berichtet. Als Anfang der Entwicklung wird dabei ein der Träger-RNS ähnliches Kettenmolekül (Polynukleotid) postuliert, das teilweise gefaltet und in der Lage ist, sich selbst auf Kosten der in der „Ursuppe“ vorhandenen anderen Bausteine zu replizieren und zu vermehren, wenn auch langsam und \pm fehlerhaft. Durch Verknüpfung mit katalysatorisch wirksamen Proteinen konnte der Wirkungsgrad solcher Systeme wesentlich verbessert

werden. Weitere Schritte waren dann offenbar die Verbindung von zwei und mehr solcher RNS-Protein-Systeme zu sogenannten Hyperzyklen, wie man sie heute noch bei Viren beobachten kann (Abb. 10) und bei denen sich die Teilprodukte wechselseitig fördern. Im Experiment läßt sich die schrittweise Beschleunigung der Vermehrungsrate und damit die „Verbesserung“ solcher Systeme aufgrund von Mutationen der RNS beobachten, also

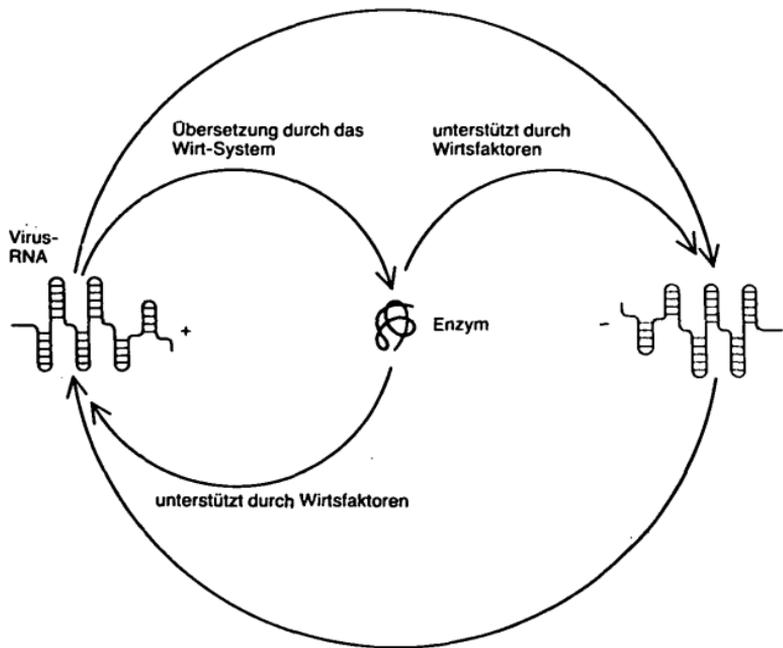


Abb. 10: Schema eines einfachen Hyperzyklus: Die teilweise gefaltete Virus-RNS verursacht die Bildung eines Enzyms (Proteins), welches in der Wirtszelle die bevorzugte Synthese eines negativen RNS-Stranges und daraus wiederum die einer positiven Virus-RNS fördert. (Aus M. EIGEN *et al.*)

Selektion auf molekularer, präbiotischer Ebene! Diese Entwicklung hat allmählich zum Einbau von immer mehr RNS- und Proteinsorten, zur Übertragung der zentralen Informationsspeicherung auf die DNS und zur Entwicklung eines zuerst auf zwei und zuletzt auf drei Nukleotiden pro Aminosäure beruhenden genetischen Code geführt. Parallel dazu ist es offenbar zu einer zellulären Abgliederung und Kompartimentierung derartiger protobiontischer Systeme gekommen, wie sie heute noch höher organisierte Viren kennzeichnet. Die Entstehung tröpfchenartiger, von Elementarmembranen umgebener Strukturen, die in stoffwechselartiger Weise Substanzen aufnehmen bzw. abgeben, läßt sich auch im Experiment demonstrieren. Auf diesem Weg könnten allmählich Gebilde entstanden sein, wie wir sie heute noch unter den ursprünglichsten Bakterien antreffen. Angesichts der immer knapper werdenden energiereichen Verbindungen in der „Ursuppe“ unserer Erde sind daraus dann chemo- und besonders photosynthetisch tätige anaerobe Bakterien und weiter die aeroben Blaualgen entstanden. Sie haben die allmähliche Anreicherung unserer Atmosphäre mit Sauerstoff bedingt und im weiteren die Entstehung echter Atmungsvorgänge ermöglicht. Wahrscheinlich auf dem Wege der Symbiose zwischen verschiedenen prokaryotischen Bakterien und Blaualgen sind dann im Lauf der weiteren Evolution eukaryotische Einzeller und aus ihnen die heute do-

minierenden vielzelligen Pflanzen, Pilze und Tiere entstanden. Sie haben in einer großartigen Entfaltung nicht nur die aquatischen, sondern im weiteren Verlauf ihrer Evolution auch fast alle terrestrischen Lebensräume unserer Erde mit Leben erfüllt.

Am Schluß meiner Ausführungen noch ein ganz persönliches Credo, gleichsam eine Rechtfertigung für den Zusatz im Titel meines Referats „Entstehung des Lebens, Faktoren der Evolution- und Gott?“ Wenn wir als Naturwissenschaftler und Biologen den großartigen und offenbar so geschlossenen Vorgang der Evolution des Lebens vor uns sehen, wie ich ihn heute versucht habe zu skizzieren, dann sind wir uns zwar zahlloser Wissenslücken bewußt, über die wir derzeit nur mit Hypothesen hinwegkommen — aber Bereiche, hinter denen wir grundsätzlich andersartige, nicht naturwissenschaftliche Faktoren vermuten müßten, bei denen wir ein spezifisches phasenhaftes Eingreifen einer transzendentalen Macht zu postulieren hätten, die sehen wir eigentlich nicht: Weder in der so wesentlichen erdgeschichtlichen Phase, wo aus Unbelebtem Belebtes wurde, noch während irgendeines anderen Entwicklungsabschnittes dieser Lebensentfaltung, auch nicht dem so entscheidenden Schritt vom Tier zum Menschen. Am ehesten wird für uns Transzendentes, Göttliches fühlbar, wenn wir den auch für uns unfaßbaren Urgrund bedenken, aus dem alles, was unser Universum ausmacht,

geworden ist und sich entfaltet hat, aus dem Dunkel der Vergangenheit herauf zu unserer heutigen Biosphäre, herauf zu uns selbst.

Weiterführende Literatur zu diesem Themenkreis möge jeweils der letzten Auflage von STRASBURGER, Lehrbuch der Botanik, entnommen werden.

Statement des Theologen zum Referat von Prof. Ehrendorfer

Univ.-Prof. Dr. R. Raphael Schulte

I. Der Theologe ist aufgerufen, zu dem im Referat Gehörten Stellung zu nehmen. Die Frage ist aufs neue berechtigt, was der Theologe, d. h. jener, der wissenschaftlich Theologie betreibt, zu den Ergebnissen einer anderen, von seiner eigenen ziemlich weit entfernten Wissenschaft rechtens zu sagen hat. Wir wollen uns da freilich des Anliegens dieser Veranstaltung erinnern, und in diesem Sinn möchten die folgenden Ausführungen verstanden werden. Um dazu den rechten Standpunkt zu gewinnen, von dem aus der Theologe sinnvoll und berechtigt sich zu Ergebnissen anderer Wissenschaften äußert, seien folgende Bemerkungen vorweggeschickt:

1) Wissenschaft (damit sind jetzt sowohl die Naturwissenschaft(en) als auch die Geisteswissen-

schaften, Philosophie u n d Theologie gemeint) will die Wirklichkeit erfassen und begreifen, um sie dann zu Wort, auf den Begriff, in die Formel zu bringen. Dabei ist bedenkenswert, daß vom ersten Ansatz her jede Wissenschaft materialiter auf das Gesamt der Wirklichkeit (des Universums, des Alls) schaut. Freilich gibt es im Vorgehen der jeweiligen Einzelwissenschaft materielle und formale (methodische) Begrenzungen. Das hindert aber nicht die prinzipielle Aussage und das prinzipielle Anliegen, daß eine jede Wissenschaft zum Verstehen des G a n z e n beitragen möchte. Somit gibt es, von dieser Seite her gesehen, keine prinzipiell unüberschreitbare Grenzen. Von Grenzen der Wissenschaft zu reden hat erst Sinn im Blick auf selbstgewählte oder sonstwie vorgegebene Beschränkungen des konkreten „Materials“, dem man sich wissenschaftlich zuwendet, und der entsprechend selbstgewählten Methode, mit der man ja z u v o r bestimmt, was in den wissenschaftlich-konkreten Blick fallen soll und was nicht. Diese Bemerkungen gelten — und deswegen sind sie hier gemacht — sowohl für die Naturwissenschaften wie für die Philosophie u n d Theologie. Von daher versteht sich auch, daß die Wissenschaften (Plural) in ein Gespräch untereinander eintreten, auf daß der Wissenschaftler a l s M e n s c h zu einem einheitlichen Gesamtbild der Wirklichkeit gelange.

2) Wenngleich so die Naturwissenschaften, die Philosophie und die Theologie (um mit diesen ge-

nannten alle nur denkbaren Wissenschaften zu erfassen) jeweils auf das Verstehen des Ganzen ausgehen, so gilt doch: Eine jede Einzelwissenschaft sagt über das Ganze „nur“ etwas, nur ein i g e s aus, n i c h t aber a l l e s über alles.

3) Von daher gesehen tritt die Notwendigkeit eines interdisziplinären Gesprächs vor den Blick. Eine jede Wissenschaft trägt zum vollen Verstehen des Ganzen ihren Teil bei. Daher kann auch keine Wissenschaft als solche über die Ergebnisse einer anderen kritisch befinden wollen. So kann, was zu sagen heute vielleicht besonders wichtig ist, auch die Theologie nicht kritisch über die rechtens gewonnenen Ergebnisse anderer Wissenschaften befinden. Wenn das alles gilt, dann stellt sich die zu Anfang aufgeworfene Frage aufs neue: Wieso soll denn nun der Theologe als solcher zu dem etwas sagen, was der Biologe vorgetragen hat?

Um in ein redliches Verfahren einzutreten, muß offensichtlich über Folgendes Einigkeit herrschen: Wenn der Biologe (oder ein anderer Wissenschaftler), wie es ja in unserem Fall tatsächlich so ist, gerade aus seiner Wissenschaft heraus den Theologen um Stellungnahme angeht, dann kann der Grund dafür nicht in der Biologie als Biologie gelegen sein. I n n e r h a l b biologischer Forschung hat ein solches Ansuchen keinen sinnvoll angebbaren Platz. Folglich kommt das Ansinnen aus einer anderen Quelle. Damit ist prinzipiell erkannt,

daß es neben und außerhalb von den Wirklichkeitserfahrungen, denen sich der Biologe wissenschaftlich zuwendet, noch andere Erfahrungen der Wirklichkeit gibt, die die Biologen nicht als Biologen, wohl aber als Menschen (als der er „mehr“ und noch anderes als nur Biologe ist) dazu veranlassen, seine eigenen Ergebnisse von einer anderen Seite her angeschaut und beurteilt sehen zu wollen. Was so beispielhaft, aus gegebenem Anlaß des heutigen Referats, für den Biologen gesagt wurde, gilt entsprechend von allen Wissenschaftlern untereinander. Daß es freilich auch ein besonderes Interesse gibt, gerade auch seitens des (christlichen) Theologen zu den Ergebnissen der (anderen) Wissenschaften Äußerungen zu hören, hat seinen Grund darin (was nicht erst ausgebreitet werden muß), daß der betreffende anfragende Wissenschaftler zugleich ein Glaubender mit seinem entsprechenden Glaubenserfahrungen ist. Weil der (christliche) Glaube das für den Menschen persönlich (seine Wissenschaft in ihm als Person eingeschlossen) Umgreifende ist, deswegen bringt er seine wissenschaftlichen und sonstigen Erfahrungen grundsätzlich und stets aufs neue mit seinem gelebten Glauben und dessen Erfahrungsdaten ins Gespräch. — In diesem Sinn sind auch die folgenden Bemerkungen gemeint. Sie sollen aus gegebenem Anlaß seitens des Theologen vorgebracht werden im Blick auf die Evolution und deren Mechanismen.

II. Zur Frage der Evolution und ihrer Mechanismen, besonders auf den Menschen gesehen betrachtet.

1) Zunächst eine zustimmende Aussage zu dem Vorgetragenen. Nicht, weil ich meine, der Theologe hätte ein Recht, sich urteilend zu den Ergebnissen wissenschaftlicher Forschung zu äußern, sei dies gesagt, sondern weil es in der Geschichte immer wieder das entsprechende Mißverständnis gegeben hat und wir auch heute noch damit zu kämpfen haben. Auch theologisch ist zu fordern, nicht (mehr) in jenem vordergründigen Sinn von „Eingriffen“ Gottes in d a s Geschehen zu sprechen, das der Naturwissenschaftler erforscht. (Wir erinnern hier an die Ausführungen von Prof. Sexl.) Irgendwie spezielle Eingriffe Gottes etwa in das naturwissenschaftlich bestätigte Evolutionsgeschehen anzunehmen, nämlich derart, daß Gott dabei eine evolutionswissenschaftlich feststellbare Größe wäre, ist nicht angängig. So gesehen ist auf jeden Fall festzuhalten, daß Gott nicht einfach in die eine Reihe evolutiver Ursachen und Bedingungen hineingestellt werden kann noch darf. Das bedeutet aber keineswegs absolute „Abwesenheit“ Gottes in Bezug auf das Geschehen des Universums, also auch der Evolution. Nur gilt es, seine „Position“ so zu bestimmen, daß sie sowohl naturwissenschaftlich wie theologisch redlich vertreten werden kann.

2) Es wurde von Gott als dem „tragenden Grund“ gesprochen, als dem „Umfassenden“, von

dem letztlich alles herrührt, auf welche Weise immer, ohne daß er naturwissenschaftlich gefordert werden müßte. Diese Formel für Gott, nämlich „tragender Grund“ alles Geschehens zu sein, begegnet heute recht oft, auch in theologischen Abhandlungen. Die Frage ist aber, ob das damit Gemeinte ausreicht, um das hier gestellte Problem zu lösen. Für unseren speziellen Fall ist diese Frage folgendermaßen zu präzisieren: Begegnet der Biologe als solcher, wenn er das Evolutionsgeschehen in der Sicht seiner Wissenschaft betrachtet und beschreibt, der Notwendigkeit, von so etwas wie „tragendem Grund“ dieses ganzen Geschehen zu sprechen? Anders gewendet: Hat der Naturwissenschaftler Grund, nach theologischen Sätzen zu fragen und Ausschau zu halten, eben aus der Notwendigkeit seiner Wissenschaft? Wir erkennen schon jetzt, daß das solange nicht der Fall ist, wie der betreffende Naturwissenschaftler innerhalb seiner Wissenschaft verbleibt. Daß er aber trotz dem nach so etwas wie einem tragenden Grund fragt, rührt daher, daß er um die (selbstgesetzten) Grenzen seines Forschungsobjektes und -gebietes und darum weiß, daß er sich auf Voraussetzungen stützt, die er von anderen Wissenschaften auf ihre Stichhaltigkeit erforscht wissen möchte. Daher rührt die Frage des christlichen Naturwissenschaftlers nach dem, von woher nicht erst seine Wissenschaft, sondern das Universum und sein Geschehen überhaupt Möglichkeit und Tatsächlich-

keit herleiten, worin sie letztlich gründen. Daß die Aussage von Gott als „tragendem Grund“ allen Geschehens in sich gesehen zu Recht besteht, freilich aufs Ganze gesehen noch nicht hinreicht, wenn theologisch Da-sein und Handeln Gottes voll zur Sprache kommen sollen, sei nur eben angemerkt; das Problem der Gegenwart und des Wirkens Gottes in Welt und Geschichte hier auszubreiten und zu lösen, ist keine Zeit.

3) Zur Klärung der Positionen sei auch ein Wort zur Methode der Theologie gesagt, weil auch hier allzu oft Mißverständnisse herrschen. Es ist ja nicht so, als habe die christliche Theologie vom sog. Glaubensgut her ein satzhaft vorgegebenes Wissen, gar ein im Sinne einer Geheimwissenschaft „geoffenbartes Geheimnis“ zur Verfügung, von dem her sie nun alles zu beurteilen und für alles Weisungen zu erteilen hätte. Auch die Theologie sucht e i n z u s e h e n (vgl. Theologie als „*intellectus fidei*“), nämlich die Wirklichkeit. Sie wendet sich freilich d e r Wirklichkeit zu, die ausdrücklich Gott als den glaubend (aber wirklich) Erfahrenen mit einschließt; sie will ja gerade das Glaubensl e b e n , besser noch: die in der einen erlebten Lebensgemeinschaft stehenden Personen — Gott und Mensch — in ihrem (vor allem auch geschichtlich geprägten) Miteinander „einsehen“, zu „begreifen“ trachten. Auch sie richtet sich also auf die Wirklichkeit und betrachtet sie unter ihrem Gesichtspunkt, prinzipiell nicht anders, als es die anderen Wissenschaften tun.

Auch sie vollzieht so etwas wie wissenschaftliche Extrapolation: Ausgehend von erfahrener Wirklichkeit geht sie darauf aus, deren Begründung und „Mechanismen“ zu erfassen. Freilich tritt hier vor den Blick, daß der christliche Theologe kraft seiner „materialen“ und „formalen“ wissenschaftlichen Wahl Momente des realen, erfahrenen Seins des Menschen (und der Welt) in den Blick nimmt und wissenschaftlich zu ergründen trachtet, die in den anderen Wissenschaften ausdrücklich (und dort zu Recht; siehe oben) gerade nicht in den Blick genommen und besprochen werden. Der Theologe vermag daher alles anzuerkennen, was Naturwissenschaftler, Philosophen usw. wie immer vom „Menschen“ zu sagen haben. Er wird freilich immer Wert darauf legen müssen, daß er seinerseits etwas Entscheidendes „hinzuzufügen“ hat, das, würde es nicht mitbedacht, einem Gesamt-Menschenbild fehlen, daher den Menschen selbst in seiner wirklichen Totalität verfehlen würde. Es geht daher im Gespräch zwischen Biologie und Theologie nicht um gegenseitige K o r r e k t u r (wenn gleich auch sie immer notwendig sein mag), sondern um notwendige E r g ä n z u n g. Um das beispielhaft klarer werden zu lassen, folgende Überlegung:

4) Wir sind gewohnt, den „Menschen“ stets dem „Tier“ gegenüberzustellen. Bei näherem Zusehen erweist sich diese „Unterscheidung“ (die ja sogar in den Naturwissenschaften begegnet) meistens als

recht eigentümlich eingeführt, ja letztlich als unberechtigt, weil untragbar unlogisch. Das wird unmittelbar klar, wenn wir auf die betreffende Wissenschaft schauen: Dem Biologen, speziell dem Zoologen begegnen kraft seines wissenschaftlichen Ansatzes vielfältige Arten, und unter ihnen jene, die den Namen „Mensch“ trägt, ähnlich wie jene, die „Pferd“ heißt (die genauen Species-Bezeichnungen möge man mir als Nichtfachmann ersparen). Der Botaniker mag seine Forschungsobjekte insgesamt „Pflanzen“ nennen und sie den „Tieren“ gegenüberstellen. Würde aber der Zoologe dem eigenen Forschungsbereich, nämlich den „Tieren“, auf der einen Seite die „Pflanzen“ gegenüberstellen wollen und im selben Sinn auf der anderen vom „Menschen“ sprechen, so würde dieser als solcher dadurch gerade nicht mehr in sein Fachgebiet hineingehören. Aus unserem tatsächlichen Verhalten heraus reihen wir uns gerade nicht unter die Lebewesen ein, die wir insgesamt „Tiere“ nennen, um uns etwa nur den „Pflanzen“ gegenüber als grundsätzlich andere Wesen anzusehen. Wenn daher der Biologe, der Zoologe auch den „Menschen“ in seine Wissenschaft einreicht, so tut er es, wenn er wirklich wachsam vorgeht, unter einer prinzipiell anderen Voraussetzung, als er es mit den Lebewesen tut, die insgesamt (!) mit dem einen Namen „Tier“ belegt werden, welche gravierenden Unterschiede auch immer vorliegen mögen. Würden wir das nicht beachten, kämen wir zu Schluß-

folgerungen, die zu ziehen wir jedenfalls bis heute nicht wagen. Wäre der Mensch zoologisch und evolutiv gesehen wirklich nichts anderes als ein evolutiv Gewordenes unter anderen (eben „Tieren“), dann wäre von der vorgeführten evolutiven Welt-sicht her gesehen überhaupt nicht einzusehen, wie-so wir dazu kommen, den Menschen als Ziel der Evolution zu betrachten. Wieso wäre denn der Mensch nicht zu einem ähnlichen evolutiven „Schicksal“ verurteilt wie z. B. die Dinosaurier? Wieso wären die Evolution und das Leben am Ende ihrer selbst, wenn es den „Menschen“ nicht mehr geben würde, weil er wie andere ausgestorben ist? Will der Biologe und Zoologe aber den Menschen sowohl weiterhin in seine Wissenschaft hineinge-nommen wissen und ihm trotzdem ein solches prinzipielles Unterscheidungsmerkmal zusprechen, das die Gegenüberstellung „Mensch“ (biologische Species!) — „Tier“ (Sammelbegriff!) weiterhin rechtfertigt, dann müßte doch angegeben werden, was dieses prinzipiell fordert. Was also würde der Biologe als d a s Spezifikum des Menschen angeben wollen?

5) Tatsächlich verhalten wir, die Menschen, uns in einer Weise, die uns die Unterscheidung und Aussonderung Mensch — Tier nicht nur berechtigt erscheinen läßt, sondern sie entschieden fordert. Wenn wir uns aber so verhalten und dem ein „existentielles Wissen“ darum zugrundeliegt, das das fordert (es mag wissenschaftlich erforscht und

erklärt sein oder nicht), dann verstehen wir auch, daß wir wissen möchten, worin dieses unser Verhalten als Menschen seinen Grund hat. Daher die Frage: Von woher weiß ich eigentlich, daß ich nicht Tier unter anderen Tieren bin — bei aller offenkundigen Eingliederung in die leblose und lebendige Welt? Wer sagt auf diese Frage von welcher Wissenschaft her die rechte Antwort? Auf jeden Fall wird es nur der tun können, der dieses Eigentümlich-Menschliche als solches auch zu seinem ausdrücklichen Forschungsobjekt erwählt; wer dieses nämlich ausklammert, kann sicher das eine oder andere zu einer vollgültigen Antwort beisteuern, er wird aber nie das Entscheidende sagen können, weil er es ausdrücklich nicht in den Blick nimmt. Bedenken wir daher: Die lebendige Antwort auf diese Frage tragen wir kraft unserer Selbsterfahrung in uns. Sie auch wissenschaftlich zu ergründen ist etwas anderes, Nachrangiges. Und doch: Der Mensch will eben wissen, von woher er eigentlich Mensch ist. Was Mensch-Sein ist, das weiß er aus seiner Eigenerfahrung. Und eben diese läßt ihn nicht so einfach ruhig werden bei der Antwort, er sei aus Evolution (und aus nichts anderem) Mensch geworden. Aus seiner Selbsterfahrung in seinem Menschsein kann er sich nicht denken, daß er ein Zufallsprodukt (auch wenn dieses im besten Sinn verstanden wird) der Evolution sei, der also nur aus evolutiven Gründen zufällig da-sei und daher auch ebenso zufällig einmal nicht mehr da-

sein könnte. Weil der Mensch seine Eigenerfahrung hat, ist ihm darin etwas gegeben, dem er genauso wissenschaftlich nachgehen möchte, ob er nämlich erreichen könne, was ihm auch wissenschaftlich vertretbar sagt, wieso und wozu er da-ist. Darauf kann er sich seitens der Biologie (allein) nicht die entscheidende Antwort geben lassen wollen, weil er weiß, daß diese vom Eigentlich-Menschlichen abstrahiert. Eher schon wendet er sich, ohne jene auszulassen, an die Philosophie. Ist er ein Glaubender (ein Christ), dann hat er die Antwort vor-wissenschaftlich schon zuhanden, wird sie dann freilich auch wissenschaftlich ergründet wissen wollen. Daher treibt er Theologie. Wir stellen dabei wieder die prinzipielle Ähnlichkeit der Wissenschaften fest: Wie der Naturwissenschaftler, so läßt der Mensch auch als (christlicher) Theologe die Erfahrung der Wirklichkeit sprechen. Der Theologe freilich thematisiert etwas, was der Biologe, Physiker usw. nicht thematisiert (weil ein jeder Wissenschaftler materialiter und formaliter ein je anderes der Wirklichkeit auswählt). Der Theologe thematisiert z. B., daß wir Menschen je von uns redend „ich“ sagen, den anderen mit „du“ anreden, und das wohlgerne in einer Weise, die wir nicht in biologisch oder physikalisch etc. angebbaren Gründen begründet wissen. Letztlich thematisiert er die Gesamtwirklichkeit, zumal den Menschen und seine Welt, mit ausdrücklichem Einschluß dessen, der auch am Schluß des biologischen Referats genannt wurde,

eben Gott. Dieser wird — darauf ist mit allem Nachdruck Wert zu legen — thematisiert nicht zuerst und hauptsächlich als eine erschlossene, denkerisch zu fordernde Größe („alles muß seine hinreichende Ursache haben . . .“), sondern als erfahrene Wirklichkeit. Daß er zur Gesamtwirklichkeit (wenn unter ihm alles begriffen wird, was Menschen erfahren) gehört, daran ist ja nicht zu zweifeln. Wie von ihm zu sprechen ist und ob von ihm gegebenenfalls in unvertretbarer Weise gesprochen wird, das zu entscheiden kann nur bei der Wissenschaft liegen, die ihn nicht nur nicht thematisch ausschließt, sondern ihn ausdrücklich thematisiert. Daß er nicht im Molekularverband aufgespürt werden kann, nicht im naturwissenschaftlich definierten (= eingeschränkt betrachteten) Weltbild aufscheinen wird, darüber müßte man heute eigentlich nicht mehr sprechen müssen. Denn dort läßt sich nicht einmal unterbringen oder erklären, daß wir zueinander Du und Ich sagen. Daß aber sowohl der Molekularverband und das, was er auch für uns als leiblich bestimmte Wesen bedeutet, lebensentscheidend (weil Materialgrundlage unsere Seins) ist, wie eben auch der, den wir Gott nennen, auch das ist bei entsprechender Einsichtnahme nicht zu bezweifeln. Es stellt sich nun freilich im Anschluß an das heutige Referat die weiterführende Frage, wie nämlich beides des näheren zusammenhängt. Es ist damit u. a. auch die Frage nach den „Mechanismen“ der Gesamtwirklichkeit gestellt, wenn

eben a u c h Gott selbst mit zur Sprache kommen soll, und zwar so, daß dem, was die einzelnen Wissenschaften zu sagen haben, nicht nur nicht widersprochen, sondern alles in eine hinreichend einheitliche Sicht gebracht wird. Es wäre viel erreicht, wenn wir uns fürs erste darin zusammengefunden hätten, daß eine jede Wissenschaft, in diesem Fall also Biologie und Theologie, den ihr eigentümlichen Beitrag leistet, damit der Mensch sich als Mensch begreife. Es sind je unverzichtbare Beiträge, die sich gegenseitig ergänzen. Die Frage, wie diese Ergänzung glaubwürdig aufgewiesen werden kann, führt freilich in ein Thema, das hier nicht mehr zur Diskussion steht.

Diskussionsbeiträge

Frage: Der in Kreisen der Naturwissenschaften vertretene Determinismus steht natürlich in Widerspruch zur Lehre der Kirche von Gut und Böse. Wie ist Ihre Ansicht zum Problem: ist der Mensch vollkommen determiniert oder gibt es einen Freiraum der menschlichen Entscheidung? Und wenn es ihn gibt, wo ist er nach naturwissenschaftlicher Sicht anzusiedeln?

Ehrendorfer: Ich darf zu dieser Frage als Naturwissenschaftler und Biologe Stellung nehmen, nicht als Psychologe, denn da würde ich ja Ihnen, Herr Kollege Guttmann, vorgreifen: Sie sind wahrscheinlich vertraut mit der berühmten Unschärferelation von HEISENBERG, die etwa besagt, daß

man an kleinen Teilchen nicht gleichzeitig Ort und Energie feststellen kann. Diese Unschärfe im Bereich der kleinsten Teilchen kann in den makroskopischen Bereich hinein weiterwirken, so z. B., daß sich komplexere Kontaktfolgen mehrerer Billardkugeln nicht mehr mit Sicherheit voraussagen lassen. Ebenso unberechenbar ist aber auch ein Quantensprung, der eine Genmutation und damit eine permanente Änderung im Erbgut und letztlich im Phänotyp, im äußeren Erscheinungsbild eines Organismus verursacht. Ob nun diese für Physiker und Biologen faßbaren Unschärfen auch in Verbindung zu bringen sind mit Phänomenen der Psychologie, etwa mit dem sogenannten freien Willen des Menschen, das wage ich hier nicht zu berühren. Was wir aber sicher festhalten sollten: Determinismus und Indeterminismus, absolute Kausalität und „Zufall“, sie lassen sich naturwissenschaftlich nicht eindeutig beweisen, sind sie nicht vielleicht beide im Spiel?

Guttman: Ich danke Ihnen und besonders dafür, daß Sie die besonderen Fragezeichen in den Bereich der Psychologie verlagern, die die Nachlese dieser Probleme durchzuführen hat. Ich sehe in den von Prof. Ehrendorfer vorgetragenen Thesen der Biologie keinen Widerspruch zur Vorstellung einer Vielzahl göttlicher Schöpfungsakte. Wenn der Schöpfer imstande ist, die bekannte Vielfalt an Lebewesen hervorzubringen, wozu sollte er dann jeder Art einen neuen genetischen Code geben?

Ehrendorfer: Mit dem Hinweis auf die vielen Übereinstimmungen aller Lebewesen wollte ich sicherlich keinen Beweis für oder gegen Gott antreten, sondern durchaus auf dem Boden der Naturwissenschaft und der Biologie bleiben. Einerseits sollte durch eine vergleichende Analyse die unerhörte Komplexität dieser Übereinstimmungen aufgezeigt werden, besonders auch beim genetischen Code und bei der Proteinsynthese. Bedeutsam ist dabei, daß die rechnerischen Analysen der verschiedenen Reaktionsgeschwindigkeiten zeigen, daß es rein theoretisch nicht nur diesen einen Code geben müßte, sondern daß durchaus auch andere Codes funktionieren könnten. Der naheliegendste Schluß aus diesen Tatsachen ist, daß alles Leben nur einmal und aus einer gemeinsamen Wurzel entstanden ist. Für den Naturwissenschaftler und Biologen ist das die mit großem Abstand wahrscheinlichste Interpretation, alle anderen möglichen Interpretationen sind sehr viel weniger wahrscheinlich bzw. unwahrscheinlich. Wir müssen uns ja im Klaren sein, daß nichts was die Naturwissenschaften betreiben und schlußfolgern absolut eindeutig und sicher ist, sondern daß wir uns immer nur mit einem mehr oder minder großen Maß an Wahrscheinlichkeit an die Dinge herantasten.

Zusammenfassend möchte ich unsere derzeitige Erkenntnis so formulieren und hoffentlich greife ich dabei nicht gleich zu weit vor: Aus den Naturwissenschaften heraus ist es sicher nicht möglich,

einen individuellen Gott zu beweisen. Ihn kann man glauben, ja sogar wahrscheinlich machen, nicht aber beweisen. Auf einen sicherlich unfaßbaren Urgrund allen Seins können wir verweisen, einen Urgrund in dem alle unsere naturwissenschaftlichen Methoden und Beweise enden.

Hörerfrage: Über die Anmerkung über HEISENBERG und seine Unschärferelation möchte ich etwas sagen. Die HEISENBERG'sche Unschärferelation sagt, daß ich nicht gleichzeitig Ort, Geschwindigkeit und Impuls eines Teilchens messen kann. Sie besagt aber nicht, daß dieses Teilchen einen ungenauen Impuls oder keine bestimmte Geschwindigkeit hätte, nur die Messung ist nicht möglich. Das ist Unbestimmbarkeit und nicht Unbestimmtheit. Pascal JORDAN hat vor vielen Jahren in einem Buch diese Begriffe durcheinandergebracht. Und so muß man aufpassen, daß man mit der Willensfreiheit und der molekularen Determiniertheit nicht zwei Begriffe bringt, die nicht zueinanderpassen.

Ehrendorfer: Ich gebe Ihrer Argumentation durchaus recht. Sie erinnern sich aber auch, daß ich von der großen ungelösten Frage gesprochen habe: Determinismus u n d Indeterminismus, wirken sie nicht b e i d e zusammen beim Werden unseres Planeten und des Lebens?

Schulte: Ich bin sehr froh, daß das gesagt wurde. Wir brauchen, glaube ich, dazu gar keine naturwissenschaftlichen Kenntnisse haben. Freiheit kann ja

nur dadurch funktionieren, daß es Determinismen gibt, Gesetze. Ich kann frei mit meinem Auto nur deshalb fahren, weil das Auto selbst so automatisiert ist (bzw. determiniert ist), daß es selbst nicht mal so, mal so reagiert. Mit anderen Worten, es gehört philosophisch oder auch erfahrungsgemäß einfach zum Wesen der Freiheit, daß sie nur überhaupt sein oder etwas bewirken kann auf Grund dessen, daß es einen Bereich gibt, der absolut determiniert ist, mit dessen Determiniertheit man operieren kann. Die Frage bezüglich des Determinismus in der Biologie, besser in der Wirklichkeit, der sich die Biologie zurechnet, ist anders als der Bereich, in dem die Frage nach Willensfreiheit, nach Gut und Böse überhaupt gestellt werden kann. Es ist jeweils eine andere Ebene angesprochen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: [120](#)

Autor(en)/Author(s): Ehrendorfer Friedrich

Artikel/Article: [Entstehung des Lebens, Faktoren der Evolution - und Gott? 25-77](#)