

IMABE-Studie

Eine wissenschaftliche Schriftenreihe des
IMABE-Instituts für medizinische Anthropologie und Bioethik

Nr. 6

Über Naturgesetze und Evolution

Ein Beitrag zu einem interdisziplinären Dialog

Berta Moritz, Helmut Moritz

Wien • 2007

Dr. Berta Moritz, Biologin und Biochemikerin; Director Clinical Affairs
CESAR (www.cesar.or.at)

Dr. Helmut Moritz, em. Professor für Physikalische Geodäsie, TU Graz
(www.helmut-moritz.at)

Diese Arbeit widmen wir dem Andenken an Gerlinde Moritz
(1940 – 2002), deren Liebe zur Natur, zur Philosophie und zum
Glauben uns stets Ansporn und Anregung war.

ISBN 978-3-85297-004-2

Medieninhaber, Herausgeber, Verleger: IMABE • Institut für medizinische
Anthropologie und Bioethik, A-1030 Wien, Landstraßer Haupt-
straße 4/13; Tel: +43-1-715 35 92, Fax: +43-1-715 35 92-4; Layout,
Satz, Grafik und Produktion: Robert Glowka

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Vorwort	5
1. Fallende Äpfel und Planetenbewegung	7
1.1. Einführung.....	7
1.2. Kausalität und Determinismus	7
2. Die Rolle des Zufalls	9
2.1. Stabilität und Instabilität.....	9
2.2. Das Würfelspiel	9
2.3. Die Chaostheorie.....	11
3. Naturgesetze	13
3.1. Was ist ein Naturgesetz?	13
3.2. Wie findet man die Naturgesetze?	14
3.3. Relativitätstheorie und Quantentheorie	14
3.4. Evolution des Universums; das anthropische Prinzip	16
3.5. Eine Bemerkung zum Reduktionismus.....	17
3.6. Naturgesetze und Mathematik.....	18
4. Evolution in der Biologie	21
4.1. Von Linné bis Darwin und weiter.....	21
4.2. Elemente der Molekularbiologie	23
4.3. Von der Zelle zum Organismus	28
4.4. DNA und Evolution.....	29
4.5. Mikroevolution und Makroevolution.....	34

5. Was ist Leben?	38
5.1. Vorbemerkung	38
5.2. Merkmale lebendiger Organismen.....	38
5.3. Entropie und Ordnung	39
5.4. Negentropie und Information.....	40
5.5. Ordnung	43
5.6. Leben und Entropie.....	43
5.7. Abgeschlossene und offene Systeme.....	44
5.8. Enzyme als Maxwellsche Dämonen	44
5.9. Was ist Information wirklich? Ein Gegenbeispiel	45
5.10. Prigogine: Ordnung aus Chaos?	46
5.11. Entstehung des Lebens	46
5.12. Was kam zuerst, DNA (RNA) oder Proteine?	48
6. Kausalität und Teleologie	49
6.1. Teleologie und Regelungstechnik.....	49
6.2. Evolution und Teleonomie.....	50
6.3. Die Pinguine und das Eis.....	53
6.4. Teleonomie und Teleologie	53
7. Abschließende Gedanken	56
7.1 Allgemeines	56
7.2. Nochmals zum Reduktionismus.....	58
7.3. Der naturwissenschaftliche Glaube	60
7.4. Zur Bedeutung der Philosophie	61
7.5. Evolution und Religion: ein Versuch einer Grenzüberschreitung.....	64

Vorwort

Die physikalischen und chemischen Wissenschaften sind im Verhältnis zur Religion viel neutraler als die Biologie und insbesondere die biologische Evolution, da die Evolution den Menschen viel mehr existentiell berührt als die Physik – wie die Religion auch. Wir untersuchen ja eine Evolution von niedrigeren Lebensformen bis zum Menschen, also *auf uns*, zu. Der heutige „mainstream of evolution“ (auch Neo-Darwinismus oder „New evolutionary synthesis“ genannt), beeinflusst nur von „Zufall und Notwendigkeit“ (*Monod*) liefert gerne neben der Wissenschaft gleich eine eigene philosophische Weltanschauung mit, nämlich einen atheistischen Materialismus, der durch seine klare Einfachheit besticht, aber letztlich keine Antwort auf die Frage nach dem Sinn des Lebens gibt. Was also auch in einschlägigen Diskussionen zu fehlen scheint, ist eine entsprechende Berücksichtigung der Philosophie, zumindest noch heute.

In der vorliegenden Arbeit wollen die Verfasser, eine Biologin und ein Geophysiker, die Evolution im Rahmen der anderen Naturwissenschaften und auch ein wenig der Philosophie und der Religion betrachten. Damit soll das Buch *Science, Mind and the Universe* (1995), das auf der Internetseite <http://www.helmut-moritz.at/> zur Gänze zu finden ist, in dieser Hinsicht erweitert werden.

Um es klar zu sagen: wir setzen eine christlich-theistische Haltung voraus und betrachten Gott als Schöpfer und souveränen Herrn des Weltalls. Die Erforschung der Schöpfung ist Aufgabe der Naturwissenschaft und der Philosophie, die mehr oder weniger, aber nicht ganz, unabhängig sind.

Mindestens seit Platon werden mathematische und physikalische Grundsatzprobleme intensiv philosophisch diskutiert, was natürlich auch theologische Folgen hat. Wir denken etwa an das Zeitproblem bei Augustinus und das Problem des „Blockuniversums“, das häufig auf Boethius zurückgeführt wird. Hier erfolgt also der Kontakt zwischen Physik und Religion über die Philosophie.

In der Evolutionsbiologie gibt es seit Darwin einen ganz andersartigen direkten Kontakt oder Konflikt mit der Religion, ohne dass der Philosophie eine annähernd vergleichbare Vermittlerrolle zugekommen wäre. Das Hauptproblem lautete zunächst „Schöpfung oder Evolution?“. Für den modernen Christen lautet die Antwort „Schöpfung *und* Evolution“, wie

Papst Benedikt XVI als Kardinal Ratzinger 1996 gesagt hat.¹ Ein Versuch, Philosophie sinnvoll in die Evolutionsdebatte einzubringen, wird in Abschnitt 7.4 betrachtet werden. Weitere Schritte in dieser Richtung wären wünschenswert, um die emotionsgeladene Diskussion zu versachlichen.

Die Arbeit wendet sich vor allem an Universitätsstudenten und Akademiker mit allgemeinen naturwissenschaftlichen, philosophischen und theologischen Interessen. Dies prägt auch den Stil, der weniger formell ist als in Fachartikeln, und mehr zum Denken anregen als Wissen vermitteln soll. Manches kann kürzer gefasst werden, da das oben erwähnte Buch SMU sowohl als grundlegende als auch als zusätzliche Informationsquelle zur Verfügung steht. Bei der ersten Lektüre ist es möglich und sogar manchmal empfehlenswert, über allzu spezielle Begriffe zunächst hinweg zu lesen, und erst bei einem genaueren Studium darauf zurückzukommen.

Ich möchte wissen, wie Gott diese Welt erschaffen hat.
(Albert Einstein)

¹ Joseph Cardinal Ratzinger, *Im Anfang schuf Gott. Vier Predigten über Schöpfung und Fall – Konsequenzen des Schöpfungsglaubens*, Johannes Verlag Einsiedeln, Freiburg im Breisgau, Neuausgabe 1996, S. 53 ff

1. Fallende Äpfel und Planetenbewegung

1.1. Einführung

Ansatzweise kommt der Begriff der Naturgesetze in der Geschichte der Menschheit schon früh vor. Die Abfolge von Tag und Nacht, und der Wechsel der Jahreszeiten bestimmten das menschliche Dasein. Das Leben eines Menschen selbst: Geburt, Kindheit, Erwachsensein, Alter, Tod finden wir in regelmäßiger Abfolge aufeinander.

Ein großer gedanklicher Sprung führt uns zur griechischen Philosophie, vor allem zu Platon (428 – 347 v. Chr.) und Aristoteles (384 – 322 v. Chr.), die auch noch heute als die größten Philosophen gelten und auch die „Schutzpatrone“ der heutigen Naturwissenschaft sind: der geniale Theoretiker Plato für Mathematik und (die ganz wesentlich mathematische) Physik, und der geniale Methodiker Aristoteles für Chemie und Biologie.

Während des Mittelalters hatte die Philosophie eine großartige Entwicklung, in der die Ansätze von Platon und Aristoteles im Detail ausgearbeitet und weitergeführt wurden. Dabei wurde auch der Begriff des Naturgesetzes (Kausalität, Finalität, Kontingenz, s. u.) präzisiert, aber auf den Gedanken einer systematischen empirischen Naturbetrachtung kam man erst in der Zeit der Renaissance.

Auf Grund der empirischen Pionierleistungen von Galileo Galilei (1564 – 1642) und Johannes Kepler (1571 – 1630) schuf Isaak Newton (1643 – 1727) die zu Recht nach ihm benannte Newtonsche Mechanik, welche bis 1900 die unbestrittene Grundlage der klassischen Physik bildete.

Das Newtonsche Gesetz der allgemeinen Gravitationsanziehung ist großartig: der Apfel fällt zur Erde, weil er von der Erde angezogen wird, die Planeten bewegen sich um die Sonne, weil sie von der Sonne angezogen werden, und beides geschieht nach dem gleichen, mathematisch höchst einfachen und eleganten Gesetz.

1.2. Kausalität und Determinismus

Jede neue große wissenschaftliche Idee birgt die Gefahr des Anspruchs auf Ausschließlichkeit in sich. Die Newtonsche Mechanik und die darauf beruhende klassische Physik konnten, so glaubten Viele, den Lauf der ganzen

Welt erklären. Die Tiere, und bald auch der Mensch, waren nur mehr besonders komplizierte Maschinen. Die Welt war völlig *kausal* bestimmt: die Zukunft war durch Vergangenheit und Gegenwart eindeutig *determiniert*.

In einer berühmten Passage seines Buches über Himmelsmechanik veranschaulichte der Mathematiker Pierre Simon de Laplace um 1800 den Sachverhalt einer allgemeinen *Determiniertheit* und Vorausbestimmtheit durch den Begriff des *Laplaceschen Dämons*, einer Art allwissenden „Gottes der Mechanik“:

„Ein Intellekt, der zu einem bestimmtem Augenblick alle Kräfte, die in der Natur wirken, und die Lage aller Objekte, aus denen sie sich zusammensetzt, kennt – vorausgesetzt, dass dieser Intellekt umfassend genug ist, diese Daten zu analysieren –, wäre imstande, in einer einzigen Formel die Bewegungen der größten Körper im Weltall und der kleinsten Atome zu umfassen. Nichts wäre für ihn unbestimmt, und Zukunft und Vergangenheit lägen gegenwärtig vor seinen Augen.“

Natürlich betrachtete Laplace seinen Dämon nur als eine besonders anschauliche Art, die Bedeutung seiner Physik zu illustrieren, aber der Gedanke einer allgemeinen Determiniertheit des Naturgeschehens übte eine unwiderstehliche Faszination auf viele Menschen aus.

Freilich sind die Juristen anderer Meinung. Denn die menschliche *Willensfreiheit* ist eine noch ältere, bewusste oder unbewusste, allgemeine Überzeugung, und der ganze Bereich von der Verantwortlichkeit des Menschen bis zum Strafrecht beruht darauf. So standen die Begriffe *Determinismus* und *Willensfreiheit* scheinbar unversöhnlich einander gegenüber, und Philosophen wie Immanuel Kant gaben und geben sich die größte Mühe, diesen Widerspruch zu überwinden.²

² Details findet man in SMU, Abschnitt 6.4.

2. Die Rolle des Zufalls

2.1. Stabilität und Instabilität

Die Gesetze der klassischen Mechanik bestehen aus den Anfangsbedingungen (dem System zur Zeit der Messung) und gewissen mathematischen Differentialgleichungen; die Aufgabe ist die Vorausberechnung des Systems für eine spätere Zeit. Ein konkretes Beispiel ist die möglichst exakte Vorausberechnung der Satellitenbahnen, die man für die Navigation mit dem GPS (Global Positioning System) braucht.

Alles funktioniert gut, wenn alles *stabil* ist. Stabilität bedeutet, dass kleine Störungen (kleine Fehler in den Messdaten) nur kleine Störungen im Ergebnis hervorrufen. Laplace glaubte, dass alle wesentlichen Systeme der klassischen Mechanik, besonders aber die Himmelsmechanik, stabil seien. Tatsächlich kann man die Bahnen der Planeten und Satelliten über lange Zeit sehr genau voraussagen. Das klassische Beispiel für ein instabiles System ist die Wettervorhersage, die über einige Tage heute schon recht verlässlich ist, längerfristig aber nicht.

Das Wort „Kausalität“ wird oft ziemlich gleichbedeutend mit „stabilem Determinismus“ oder „Gesetzmäßigkeit“ verwendet. Das Gegenteil wäre dann der *Zufall*, der in dem bekannten Buch „Zufall und Notwendigkeit“ von Jacques Monod³ eine so große Rolle spielt.

2.2. Das Würfelspiel

Das klassische Beispiel von Zufall sind die (übrigens auch von Laplace behandelten) Glücksspiele, etwa das Würfelspiel, die nur von Wahrscheinlichkeiten beherrscht scheinen.

Denken Sie an einen Spielwürfel, dessen Flächen mit den Zahlen 1 bis 6 bezeichnet sind. Bitte bemühen Sie sich, auf Anhieb die Zahl 4 zu würfeln. Wenn es gelingt, bekommen Sie 1000 Euro.

Es gelingt meist nicht. Bei jedem Wurf kommt eine andere, nicht vorhersagbare Zahl heraus. Wenn Sie aber viele Würfe machen, werden Sie

³ Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité: Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Editions du Seuil, Paris 1970. Deutsche Übersetzung: *Zufall und Notwendigkeit. Philosophische Fragen der modernen Biologie*, Piper, München 1971

aber eine Gesetzmäßigkeit finden: alle gewürfelten Zahlen von 1 bis 6 kommen im Durchschnitt gleich oft vor, wir sagen: mit gleicher Wahrscheinlichkeit $1/6$. Dies gilt umso genauer, je öfter wir würfeln.

Der Mathematiker Henri Poincaré (1854-1912), der Begründer der Chaostheorie (Abschn. 2.3), beschrieb die Lösung auf Grund der klassischen Mechanik. Es ist unmöglich, die Anfangsbedingungen für den Wurf genau zu steuern. Die geringste Veränderung der würfelnden Hand bewirkt eine große Änderung der komplizierten Würfelbahn. Das deterministische Ergebnis ist wegen dieser Instabilität unvorhersehbar; auf Grund der Symmetrie des Würfels aber sind alle Würfe gleichberechtigt, und ergeben mit der gleichen Wahrscheinlichkeit $1/6$ die Ergebnisse 1, 2, 3, 4, 5 und 6 (umso genauer, je länger man würfelt).

Der (instabile) Determinismus verliert seine Bedeutung; die Symmetrie des Würfels bestimmt die Wahrscheinlichkeit des Ergebnisses: der Zufall gewinnt. Wir haben sozusagen *Chaos* (die Zufälligkeit des Würfelspiels) *aus Ordnung* (die Bewegungsgesetze für den Würfel) gewonnen. Chaos kann aber auch als eine neue Ordnung, nämlich die oben erwähnte sehr einfache Symmetrie (Flächen 1 bis 6 des Würfels kommen gleicherweise zur Geltung), aufgefasst werden. Man könnte von einer „demokratischen“ Ordnung sprechen, welche dieser Symmetrie entspricht.

In der Physik ist der Zufall von großer Bedeutung. Wir nennen:

- statistische Mechanik (Grundlage der Thermodynamik: Wärme = kinetische Energie der zufälligen Bewegung der *vielen* (das ist wesentlich) Luftmoleküle; Boltzmann);
- Quantentheorie
- nichtlineare Mechanik („Chaostheorie“)

Es gibt in der Mathematik eine hoch entwickelte Wahrscheinlichkeitstheorie (z. B. stochastische Prozesse).

Übrigens sind die Würfe beim Würfelspiel voneinander unabhängig oder genauer, *unkorreliert*. Zufallsereignisse (statistische Größen, stochastische Variablen, oder *random variables*) können aber auch *korreliert* sein, und sind es in der Natur meistens auch. Der mathematische Ausdruck für die Korrelation zwischen zwei Größen ist der Korrelationskoeffizient k . Er liegt zwischen 0 (ganz ohne Zusammenhang) und 1 (streng deterministisch zusammenhängend). Zufall und gesetzmäßiger Zusammenhang schließen einander nicht aus: $k = 0,2$ bedeutet schwachen Zusammenhang, $k = 0,8$

bedeutet starken Zusammenhang, und $k = 1$ eben einen deterministischen Zusammenhang.⁴ Zum Beispiel ist das Wetter heute und morgen meist stark korreliert (z. B. $k = 0,8$), heute und übermorgen schwächer (etwa $k = 0,5$), und zwischen dem Wetter heute und in einer Woche könnte k schon ziemlich nahe bei 0 liegen.

Zurück zur Biologie. Im Mechanismus der Evolution (Mutation und Selektion) ist die Mutation ein unkorrelierter Zufallsprozess; die Ergebnisse sind wegen der Selektion durchaus korreliert, ein „modulierter“ Zufallsprozess. Selbst die Lebewesen, mögen sie auch teilweise durch zufällige Mutationen entstanden sein, sind aber deswegen noch keineswegs Produkte des „blinden Zufalls“, sondern es spielt auch die relative Gesetzmäßigkeit der natürlichen Auslese (Selektion) eine Rolle. Dadurch können „ungerichtete“ zufällige Ursachen durchaus Ergebnisse hervorbringen, denen ein „geplanter“ oder „geordneter“ Charakter „aufmoduliert“ ist.

Gott als der souveräne Mathematiker benützt auch die Wahrscheinlichkeitstheorie für seine Zwecke.

2.3. Die Chaostheorie

Wir sehen also am Würfelspiel, dass Instabilität nicht zum totalen Chaos führen muss. Sicher, die Anfangsbedingungen verlieren ihre Bedeutung, aber innere Symmetrien des Systems kommen manchmal umso besser zum Ausdruck.

Dies hat E. N. Lorenz 1963 an einem Beispiel aus der, von Instabilitäten mehr als andere Wissenschaften geplagten, Meteorologie gezeigt; der Lorenz-Attraktor ist zum Logo der Chaostheorie geworden:

⁴ Helmut Moritz, *An explanation of the “systematic effect” of accidental errors in aerial triangulation*, Photogrammetria (1960-61); 17(1), 18-22 (Heute würden wir von einem pseudosystematischen Effekt sprechen, der durch Doppelsummation von unabhängigen Zufallsdaten entsteht). Siehe auch Helmut Moritz, *Doppelsummation von Zufallsgrößen: von Aero-triangulation und Inertialnavigation zu digitalen Geländemodellen*, in: H. Kutterer, K. Hapke (Hrsg.), *Festschrift 125 Jahre Geodäsie und Geoinformatik, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik*, Universität Hannover (2006), S. 261-268, ISSN 0174-1454; siehe www.helmut-moritz.at



Quelle: <http://www.pha.jhu.edu/~ldb/seminar/attractors.html>

Noch wichtiger: schon 1887 zeigte Henri Poincaré, dass selbst die astronomischen Planetenbahnen, dieser scheinbare Inbegriff ewiger Stabilität, nach entsprechend langer Zeit chaotisch werden. Der Laplacesche Dämon der Himmelsmechanik, der gottlos aber stabil ist, funktioniert nicht! Aber trotzdem erhalten wir *Chaos aus Ordnung*, oder aus einer Art von Ordnung (Newton) eine andere Art von Ordnung, eben die der Chaostheorie. Vielleicht sagen wir hier besser: Ordnung entsteht aus Ordnung.

Die Chaostheorie (seriöser: allgemeine Dynamik nichtlinearer Systeme) spielt eine grundlegende Rolle in den mathematischen Modellen der Biologie.

3. Naturgesetze

3.1. Was ist ein Naturgesetz?

Jeder moderne Mensch wird sagen, dass die Natur, ganz oder zumindest weitgehend, nach Naturgesetzen abläuft, ohne dass er oder sie sich viel dabei denkt.

Wir haben bereits die Gesetze der klassischen Mechanik (Himmelsmechanik) kennen gelernt, welche die Bahn der Planeten oder des Mondes bestimmen, äußerst genau, *aber nicht absolut genau*, weil die Himmelskörper keine mathematischen Massenpunkte sind. Diese Gesetze bestimmen auch die Bahn eines geworfenen Würfels, aber so ungenau, dass die Ergebnisse eher von den Gesetzen des *Zufalls* bestimmt erscheinen. Ja, auch der Zufall hat Gesetze, welche von der *mathematischen Theorie der Wahrscheinlichkeit* beschrieben werden. Die meisten Naturgesetze liegen dazwischen.

Für den Philosophen Kant und besonders für die sich auf ihn beziehenden Neopositivisten sind die „Naturgesetze“ rein empirische Konventionen des Menschen, um mit der Natur besser zurecht zu kommen, eine Art „Fahrpläne der Natur“. Also ohne Menschen keine Naturgesetze. Aber war die Welt vor dem Auftreten des Menschen rein chaotisch? Es wird doch wohl auch damals schon Naturgesetze gegeben haben.

Zwei Arten von Naturgesetzen

Wir müssen eben streng zwei verschiedene Arten von „Naturgesetzen“ unterscheiden:

1. die *„menschlichen Naturgesetze“*, wie sie in den wissenschaftlichen Lehrbüchern stehen: sie sind prinzipiell nur näherungsweise und werden vom Anwender oft noch bewusst vereinfacht (z. B. Vernachlässigung der Reibung in der Mechanik). Es sind *rein menschliche* Bemühungen, die physikalischen Erscheinungen möglichst genau zu beschreiben und zu verstehen. Nach einem schlagkräftigen Zitat von Gleick: „God has not made the original equations available“. Möglichst genau ist nicht absolut präzise!⁵

⁵ SMU, S. 251; H. Moritz, *Uncertainty* (2004), in www.helmut-moritz.at

2. die uns unbekannt und unzugänglichen „wahren Naturgesetze“ oder, wenn Sie wollen, „Gottes Naturgesetze“⁶.

Wenn wir als Wissenschaftler von Naturgesetzen schlechthin sprechen, meinen wir immer die „menschlichen Naturgesetze“. Die häufige Verwechslung dieser beiden Begriffe hat schon zu manchem Missverständnis beigetragen.

3.2. Wie findet man die Naturgesetze?

Viel haben Philosophen wie Bertrand Russell über die *Induktion* geschrieben, die direkte Verallgemeinerung der Beobachtungsergebnisse. Aber nur die einfachsten Gesetze wurden auf diese Weise gefunden, wie die gleichmäßige Abfolge von Tag und Nacht, oder die mathematische Kurve, die einer Messreihe zu Grunde liegt. Die empirische Bestätigung der Induktion nennt man *Verifikation*.

Alle großen physikalischen Gesetze, von Newton bis Einstein und Schrödinger, aber wurden durch *Intuition*, also geniales Raten oder, wenn Sie wollen, höhere Eingebung gefunden. Dadurch allein sind solche Ansätze aber noch nicht Gesetze. Sie müssen geprüft werden: messbare Größen werden durch mathematische *Deduktion* abgeleitet und mit den tatsächlichen Messungen verglichen und nach Karl Popper nach Möglichkeit *falsifiziert*. Übrigens brauchen sich die theoretischen Physiker nicht groß um Verifikation oder Falsifikation kümmern: das besorgen schon die mehr oder minder wohlwollenden Kollegen von den Experimentalwissenschaften...⁷.

Dieses geniale Raten erfolgt aber nicht willkürlich: ein wichtiges Element ist die mathematische Schönheit und Eleganz, verbunden mit begrifflicher Einfachheit. Dies wird wohl von allen großen Physikern bestätigt, mit Ausnahme eines Kollegen, der scherzhaft sagte: „Eleganz ist für den Schneider“.

3.3. Relativitätstheorie und Quantentheorie

Die von Einstein in der Zeit von 1905 – 1915 ausgearbeitete *Relativitätstheorie* stellt eine wunderbare Präzisierung der Newtonschen Mechanik

⁶ Diese Unterscheidung erscheint selbstverständlich, und wir können keine Quelle dafür zitieren.

⁷ Weiteres finden Sie in SMU, Kapitel 3.9.

dar, die aber doch eine vollständig andere mathematische Form hat. Die Zeit wird aufs Engste mit dem Raum verbunden, so dass man nur mehr von vierdimensionaler Raum-Zeit oder kurz Raumzeit sprechen kann. Gravitation aber ist „einfach“ die Krümmung dieser Raumzeit.⁸ Eine größere begriffliche Verschiedenheit von der Newtonschen Formulierung kann man sich gar nicht vorstellen, und doch folgt aus der Relativitätstheorie mit mathematischer Strenge (aber nicht mit absoluter numerischer Genauigkeit, siehe Abschnitt 3.1.) wieder die Newtonschen Mechanik als Grenzfall für Geschwindigkeiten, die klein gegenüber der Lichtgeschwindigkeit sind, und für „schwache“ Gravitationsfelder, wie sie in unserem Sonnensystem herrschen. Die großen Teilchenbeschleuniger wie in CERN Genf, die Elementarteilchen bis nahe an die Lichtgeschwindigkeiten beschleunigen, ebenso wie die hochpräzisen GPS-Navigationsgeräte, wären ohne die Relativitätstheorie undenkbar.

Die *Quantentheorie* andererseits ist eine Erweiterung, Präzisierung und Verallgemeinerung der Newtonschen Mechanik ins Mikroskopische (Niels Bohr, Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg, alle um 1920 – 1930). Sie beschreibt die Struktur und den Aufbau der Atome und Moleküle und ist daher auch grundlegend für die Chemie. Die Quantentheorie ist somit ein Abkömmling der Newtonschen Mechanik, viel genauer in ihrem Wirkungsbereich, aber – *sie liefert grundsätzlich nur Wahrscheinlichkeitsaussagen!* Einstein, der ein überzeugter Determinist war und die Quantentheorie daher nicht liebte, schrieb den Satz: „Gott würfeln nicht“. Bohr antwortete darauf, dass selbst der große Einstein Gott keine Verhaltensvorschriften machen könne.

Es hat nicht an Versuchen gefehlt, diese Theorien zu einer „allgemeinen Feldtheorie“ zu vereinigen, und schließlich eine „theory of everything“, einer „Weltformel“ zu finden, aber jeder Fortschritt rückt nur das Ziel in weitere Ferne.

Ein unbestrittenes Ergebnis der Quantentheorie, gemeinsam mit der Chaostheorie, ist aber, dass der Zufall in der Physik nicht mehr wegzudenken ist: Gott würfeln doch⁹.

⁸ H. Moritz, B. Hofmann-Wellenhof, *Geometry, Relativity, Geodesy*, Wichmann, Karlsruhe (1993)

⁹ Weiteres finden Sie in SMU, Kapitel 3.

3.4. Evolution des Universums; das anthropische Prinzip

Wenn man der heutigen Naturwissenschaft Glauben schenken darf, so fing die Welt vor etwa 13,7 Milliarden Jahren mit dem Urknall („Big Bang“) zu bestehen an. Das punktförmige, aber äußerst energiereiche Ur-Universum dehnte sich sehr schnell explosionsartig aus. Hierfür gibt es interessante Computermodelle, die mit den heutigen Messdaten kompatibel sind und alle Möglichkeiten einer zeitgemäßen Theorie ausschöpfen, aber es wäre für Nichtspezialisten anmaßend und für den Leser wenig sinnvoll, hier Details zu geben. Das klassische Buch ist Weinberg¹⁰. Schon der Titel dieses Buches, „Die ersten drei Minuten“, deutet darauf hin, welche unfassbar komplizierte, aber für das weitere Schicksal der Welt entscheidende, Vorgänge in diesen ersten 3 Minuten nach dem Urknall stattgefunden haben mussten.

Am Anfang scheint eine einheitliche Kraft sich aufgespalten zu haben in 4 „fundamentale Kräfte“: Gravitation, die elektromagnetische Kraft (Licht, Photonen) und zwei nukleare Kräfte, die für die Elementarteilchen (Quarks, Elektronen, Protonen,...) und deren Wechselwirkung verantwortlich sind. Die Materie hatte sich noch nicht in Atome strukturiert, sondern bildete ein sehr heißes Plasma, hauptsächlich wohl zunächst aus Photonen und Elektronen. Mit der Abkühlung unseres Universums entstanden Protonen (Wasserstoff-Kerne); und schließlich folgte die Fusion von Wasserstoff zu Helium. Seit dem Urknall sind vielleicht erst 3 Minuten vergangen...

In weiterer Folge bildeten sich Strukturen: Galaxien und die rätselhaften Quasare. Sterne wurden gebildet, in deren Inneren sich schwerere Elemente fusionieren konnten. 8 Milliarden Jahre nach dem Big Bang, etwa 5 Milliarden vor unserer Zeit, entstand unser Sonnensystem.

Die Erde entstand vor etwa 4,5 Milliarden Jahren, und das erste Leben gab es vor etwa 4 Milliarden Jahren. Das erste Säugetier kam vor 65 Millionen Jahren, und der erste Mensch (*homo sapiens*) trat vor etwa 200.000 Jahren auf.

¹⁰ Steven Weinberg, *The First Three Minutes*, Andre Deutsch, London (1977; 2nd ed., paperback, 1993)

Diese Zahlen können natürlich nur Näherungswerte sein, aber wir befinden uns nun schon auf festerem Boden.¹¹

Das anthropische Prinzip

Wenn man die Zahlenwerte gewisser fundamentaler Konstanten änderte, würden, wenn überhaupt, ganz andere Universen herauskommen als das unsere, das doch auf Leben in unserem Sinn und wohl auch auf den Menschen hin ausgerichtet ist. Das ist das anthropische Prinzip (z. B. Barrow and Tipler¹²). Rees¹³ spricht von 6 solcher Weltkonstanten; sie sind uns wohlbekannt, aber ihre physikalische Bedeutung ist für uns hier nicht wesentlich. (Im Übrigen ist die 6. Konstante, die Zahl 3, die Zahl der Dimensionen des Raums, in dem wir leben.) Hätten diese 6 Zahlen andere Werte, so wäre das Universum „verstimmt“, wie ein schlechtes Klavier, und in einem solchen Universum gäbe es wohl auch keine Menschen.

Wie kann man das einsehen? Es folgt einfach aus der Existenz der Autoren und ihrer Leser in *unserem* „gestimmten“ Universum. Ein „verstimmtes“ oder „anders gestimmtes“ Universum kann im Prinzip vielleicht existieren, aber es wäre für uns völlig unzugänglich und wäre aus unserer Wissenschaft durch „Occam’s Razor“¹⁴ zu eliminieren.

3.5. Eine Bemerkung zum Reduktionismus

Wir haben schon einiges Allgemeine über Gesetze der Physik gehört. Gleich drängen sich einige weitere Fragen auf:

¹¹ Gut lesbare Darstellungen von Fachleuten sind: Walter Thirring, *Kosmische Impressionen: Gottes Spuren in den Naturgesetzen*, Molden Verlag, Wien (2004) und Martin Rees, *Our Cosmic Habitat*, Princeton University Press (2001)

¹² John D. Barrow Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford University Press (1986). Siehe auch die umfassende Darstellung von Mariano Artigas, *The anthropic principle: science, philosophy or guesswork?*, Lecture in “The Impact of the Humanities on the Development of European Science”, Summer School, 10-15 June 2004, Venice (Italy); <http://www.unav.es/cryf/veneciama.html>

¹³ Martin Rees, *Just Six Numbers: The Deep Forces that Shape the Universe*, Phoenix Orion Books, London, 2000

¹⁴ “Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem”, siehe SMU S. 229.

- (1) Sind die physikalischen Gesetze absolut richtig? Die Antwort kennen wir schon: Nein.
- (2) Kennen wir schon alle physikalischen Gesetze? Antwort: das ist sehr unwahrscheinlich.
- (3) Gelten die physikalischen Gesetze auch in Chemie und Biologie? Soweit wir wissen, ja. Für die Chemie ist die Quantentheorie zuständig, für die Biologie wohl auch.
- (4) Kann man alle Vorgänge in der Biologie auf Chemie und Physik zurückführen? Hier scheiden sich die Geister.

Eines kann man aber auf jeden Fall sagen: der Reduktionismus ist eine hervorragende Arbeitshypothese. Man soll ihn unbedingt einmal versuchen, denn er liefert wichtige Ergebnisse. Auch wenn er wahr ist, so stellt er doch nicht notwendigerweise die *ganze* Wahrheit dar. Eine für den Reduktionismus charakteristische Floskel ist „nichts als“ („Die Tiere sind nichts als Maschinen“); bei solchen Formulierungen sollte man hellhörig werden¹⁵.

3.6. Naturgesetze und Mathematik

Wie wir gesehen haben, ist seit Newton die theoretische Physik wesentlich mathematisch geprägt; alle physikalischen Gesetze und Theorien sind nur mathematisch formulierbar, von der klassischen Physik bis zur Relativitäts- und Quantentheorie. Das bewirkt leider eine große Abstraktheit und Unanschaulichkeit. Die Mathematik ist auch in gebildeten Kreisen sehr wenig bekannt und beliebt. Wirkliches Verstehen aber ist nur über schwierige mathematische Zusammenhänge möglich.

Ein wesentlicher Grund des Zusammenwirkens von Mathematik und Mechanik ist ihre gleichzeitige Entstehung zum gleichen Zweck: der Physiker Newton (und gleichzeitig der Philosoph Leibniz) entdeckten die Differential- und Integralrechnung als grundlegendes Werkzeug der damit erst entstehenden Physik.

In der Biologie ist es ganz anders. Hier spielen anschauliche Bilder, wie etwa in der Biochemie und Molekularbiologie, eine wesentliche Rolle.

In der Physik der Elementarteilchen scheinen wir eine vergleichbare Situation zu haben. Auch hier gibt es kristallartige Strukturen, aber dahinter

¹⁵ Weiteres in SMU Abschn.4.5.

steckt eine hoch entwickelte und mächtige mathematische Theorie, die Theorie der unendlichen Lie-Gruppen, und von den „Elementarbausteinen“, den Quarks, weiß man nicht einmal, ob sie existieren: man hat noch nie einen Quark isolieren können, und er entzieht sich ganz sicher aller menschlichen Vorstellungskraft. Die einzige Sprache, die man hier sinnvoll anwenden kann, ist die völlig abstrakte Sprache der höheren und höchsten Mathematik.

Die Molekularstrukturen in der Biochemie werden natürlich letztlich durch die Quantentheorie bestimmt, aber in vieler Hinsicht kommt man mit einfachen Bildern und einzelnen „mathematischen Modellen“ aus.¹⁶ Vielleicht aber kann auch in der Biochemie und Molekularbiologie in der Zukunft alles auf fundamentale und durchgehende abstrakte mathematischen Strukturen zurückgeführt werden, die möglicherweise noch viel komplizierter als die bisher bekannten Strukturen der Physik sein dürften, die aber dem Mathematiker trotzdem logisch einfach erscheinen müssen. Die Theorie der nichtlinearen dynamischen Systeme (Chaostheorie) könnte einen grundlegenden Schritt in dieser Richtung darstellen. Einer solchen Theorie der Komplexität ist das bekannte „Institute of Complexity“ in Santa Fé (USA) gewidmet. Teilergebnisse wurden erzielt (Stuart Kauffman¹⁷ u. a.), eine durchgehende und einheitliche „Mathematik der Komplexität“ existiert jedoch noch nicht und die Frage bleibt, ob sie prinzipiell überhaupt erzielt werden kann.¹⁸

Eine der einschlägigen grundlegenden durchgehenden Strukturen scheint auch die Theorie der Regelung (Kybernetik) zu sein, die in Abschnitt 6.2 behandelt wird. Sie geht wesentlich auf den bedeutenden Mathematiker Nor-

¹⁶ Hier schrieb der bedeutende Mathematiker und Logiker Turing die grundlegende Arbeit: Alan M. Turing, *The Chemical Basis of Morphogenesis*, Phil Trans R Soc London (1952); 237(B): 37-73

¹⁷ Stuart A. Kauffman, *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*, Oxford Univ. Press 1993

¹⁸ Verschiedene Diskussionsbeiträge finden sich in: http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_biology; Michael C. Reed, *Why Is Mathematical Biology So Hard?*, Notices of the AMS 51 (2004); 338-342, im Internet (Zugriff April 2007): <http://www.ams.org/notices/200403/comm-reed.pdf>; Robert M. May, *Uses and Abuses of Mathematics in Biology*, Science (2004); 303: 790-793, im Internet (Zugriff April 2007): <http://www.resnet.wm.edu/~jxshix/math490/may.pdf>

bert Wiener¹⁹ zurück. Regelkreise spielen in der Biologie eine grundlegende Rolle (z. B. Homöostase), und ihre Mathematik ist keineswegs trivial.^{20,21}

Wir dürfen auch die große Rolle nicht vergessen, die biologische Probleme in der Entwicklung der mathematischen Statistik gespielt haben; letztlich hat Mendel mit seinen gross angelegten Pflanzenversuchen den englischen Statistiker Ronald Fisher inspiriert zu seiner bahnbrechenden Methode der *mathematischen Statistik*.

Nowak und May²² sagen vorausblickend: „Thus, ultimately, the language of all natural sciences is mathematics.“ Die Biomathematik der Zukunft wird jedenfalls sehr komplex sein, sollte aber gedanklich einfach bleiben. Siehe auch Abschnitt 7.3.

Gedankliche Schönheit und Symmetrie sind in der Biologie ebenso vorhanden wie in der Mathematik und Physik, wie jede Blume zeigt. So schöne Objekte hat die Physik kaum aufzuweisen; ihre Schönheit zeigt sich abstrakter in der mathematischen Struktur ihrer Gesetze.²³

¹⁹ Norbert Wiener, *Cybernetics: the Control and Communication in the Animal and the Machine*, 2nd ed., Wiley, New York (1961)

²⁰ Manfred Eigen, Peter Schuster, *The Hypercycle: A Principle of Natural Self-Organisation*, Springer, Berlin (1979). Populär: Manfred Eigen, Ruth Winkler, *Das Spiel*, Piper, München (1975)

²¹ Eduardo D. Sontag, *Molecular systems biology and control*, Eur J Control (2005); 11: 396-435 (auch PDF im Internet).

²² Martin A. Nowak, Robert M. May, *Virus Dynamics: Mathematical Principles of Immunology and Virology*, Oxford University Press (2000), S. 9

²³ Walter Thirring, *Kosmische Impressionen: Gottes Spuren in den Naturgesetzen*, Molden, Wien (2004)

4. Evolution in der Biologie

4.1. Von Linné bis Darwin und weiter

Carl von Linné (1707 – 1778) teilte Pflanzen und Tiere gemäß ihrer Ähnlichkeit in Arten, Gattungen, Familien, Ordnungen, Klassen und Stämme ein und stellte so ein natürliches Klassifikationssystem auf. Er begründete die bis heute verwendete binäre Nomenklatur (jede Art wird mit einem Doppelnamen aus Gattung und Art angesprochen, z. B.: *Viola tricolor*, das Stiefmütterchen; *Canis lupus*, der Wolf). Linné geht davon aus, dass die einzelnen Arten unveränderlich sind und jede Art zu Beginn von einem unendlichen Wesen geschaffen wurde.²⁴ Ähnlich wie uns die Funktionalität und Schönheit einer Uhr und all ihrer Teile dazu führt, nach demjenigen zu fragen, der sie gemacht hat, so führt uns, nach William Paley (1743 – 1805), die Komplexität und Schönheit der Natur zum Schöpfergott.

Ungefähr so war das allgemeine Weltbild, als Charles Darwin (1809 – 1882) im Jahre 1831 zu einer Forschungsreise aufbrach, die in die fernen Galapagosinseln führte. Insbesondere fiel ihm auf, dass jede Insel ihre eigenen Schildkröten- und Vogelarten hatte, die sich leicht voneinander in Aussehen, Ernährung usw. unterschieden, sonst aber recht ähnlich waren. Zudem erkannte er Ähnlichkeiten zwischen Fossilien und noch lebenden Tieren in der gleichen geographischen Region. Sehr beeinflussten ihn auch die Theorien von Thomas Malthus mit der Beobachtung, dass Tiere und Pflanzen weit mehr Nachkommen produzieren als überleben können. Darwin verknüpfte dies mit der Überlegung, dass unter diesen Umständen nur die am besten angepassten überleben würden.²⁵

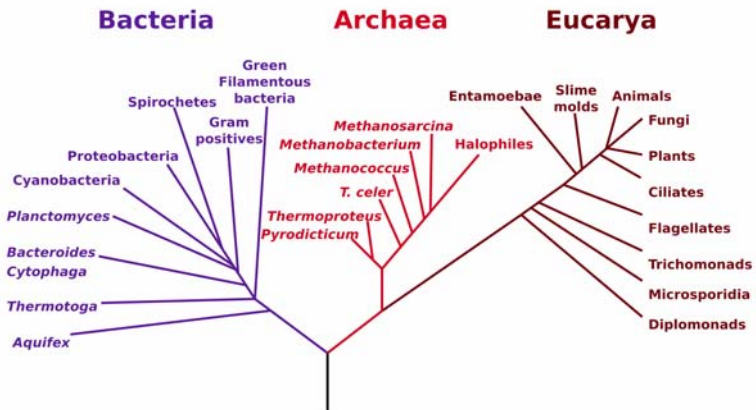
²⁴ „Species tot sunt diversae, quot diversas formas ab initio creavit infinitum ens.“ – „Es gibt so viele Arten, wie der unendliche Eine Gott am Anfang als verschiedene Formen hervorgebracht hat.“

²⁵ „In October 1838, that is, fifteen months after I had begun my systematic inquiry, I happened to read for amusement Malthus on Population, and being well prepared to appreciate the struggle for existence which everywhere goes on from long-continued observation of the habits of animals and plants, it at once struck me that under these circumstances favourable variations would tend to be preserved, and unfavourable ones to be destroyed. The results of this would be the formation of a new species. Here, then I had at last got a theory by which to work.“ Charles Darwin, aus seiner *Autobiography* (1876)

1859 erschien dann sein Buch „Über den Ursprung der Arten durch natürliche Zuchtwahl“. Darwin begründete hier zweierlei: (1) Anstelle von Linnés Artenkonstanz und Ähnlichkeit trat bei Darwin Entwicklung und Verwandtschaft. (2) Anstelle des „göttlichen Plans“ bei Paley trat bei Darwin der Mechanismus der „natürlichen Zuchtwahl“.

Bleiben wir zunächst bei der historischen Komponente, dem „dass“ der Evolution. Auch wenn sich die Darstellung des Stammbaums der Lebewesen (auch phylogenetischen Baum oder Baum des Lebens genannt) ändern mag, auch wenn wir heute den größten Unterschied nicht mehr in Pflanzenreich und Tierreich, sondern in drei Hauptreichen, den Archaeen (Archaea) und Bakterien (früher als Prokaryonten zusammengefasst, ohne Zellkern) und den Eukaryonten (mit Zellkern), sehen, so fügen sich die Bausteine der Biologie, Paläontologie und Molekularbiologie doch zu einem Bild zusammen, das uns am Geschehen der Evolution nicht zweifeln lässt. Darwin etablierte die Biologie durch die historische Analyse und die Einbeziehung der Geologie und Paläologie auch als historische Wissenschaft. Und aus dieser historischen Perspektive können wir sagen: **Die Evolution ist ein Faktum.**

Phylogenetic Tree of Life



Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/Phylogenetic_tree

Die Evolution ist aber auch eine Theorie, die uns das „wie“, die Ursachen und Mechanismen, zu erklären sucht. Die langsame Weiter- und Höherentwicklung geschieht durch „natürliche Selektion“, durch den ständigen „Kampf“ aller Individuen innerhalb einer Art um die bestmögliche Anpassung an die Umwelt. Hier ist eine Anmerkung angebracht: Der „Kampf ums Dasein“ ist natürlich nicht aktiv gemeint, sondern eher passiv, durch das bessere Angepasst-Sein an Umweltbedingungen.

Die Individuen einer Art haben eine gewisse Variabilität, die teils erblich bedingt ist (genetische Variabilität), teils erworben ist (modifikatorische Variabilität). Charles Darwin konnte die erblich bedingte Variabilität zwar feststellen, jedoch nicht erklären. Erst seit Mendel (1822 – 1884), oder genauer gesagt, seit seiner Wiederentdeckung durch Hugo de Vries, Carl Correns and Erich von Tschermak im Jahr 1900 wissen wir, dass Gene nach fest definierten Regeln vererbt werden, und Änderungen im Erbgut auf spontanen Mutationen beruhen. Die Mutationen treten unvermittelt auf, können aber günstige Eigenschaften haben. So wird es immer wieder einzelne Schmetterlinge gegeben haben, die aufgrund einer Mutation dunkle Flügel hatten, nicht helle. Die dunklen Birkenspanner heben sich auf der hellen Baumrinde jedoch stark ab, und werden so von ihren Feinden gleich und gerne gefressen. Als die Industrialisierung im 19. Jahrhundert einsetzte, wurden die Baumrinden durch Ruß dunkel verfärbt; nun waren dunkle Formen (Mutanten) des Birkenspanners besser getarnt als helle, überlebten besser und verdrängten die hellen Mutanten fast gänzlich. Wohlgemerkt, die Birkenspanner „haben“ eine dunkle Flügelfarbe, sie können sie nicht „erwerben“ oder gar „erlernen“.

In der Lesart der „Synthetischen Evolutionstheorie“ (Theodosius Dobzhansky, Ernst Mayr und andere, um 1940) wirken hier Mutation und Rekombination, also Veränderungen des Erbmaterials, mit Auslese, Isolation und Gendrift zusammen, wie im Kapitel 4.4. gezeigt wird.

4.2. Elemente der Molekularbiologie

Nach diesen historischen Betrachtungen müssen wir die elementarsten Grundlagen dessen erklären, was man unter den Stichworten *Molekularbiologie* oder *Biochemie* versteht. Diese beiden Begriffe haben weitgehend überlappende Bedeutung und werden verwendet, je nachdem ob man von

der Biologie oder der Chemie herkommt. (Ähnlich ist es auch in der mathematischen Physik.) Die grundlegende Information findet man in den Lehrbüchern über Biochemie oder Molekularbiologie und auch bei Monod²⁶. Eine Einführung auf hohem Niveau bietet Eduardo D. Sontag,²⁷ Eine faszinierende Darstellung aus historischer Perspektive ist das Buch von Edey und Johanson²⁸.

Die Lebewesen bestehen aus *Zellen*, die in den meisten Fällen einen *Zellkern* besitzen und Eukaryonten genannt werden. In der Zelle fällt unter dem Mikroskop (nach Färbung des Präparats) sofort ein knäueförmiger Zellkern auf. Er enthält aufgewickelt die *Chromosomen* (griechisch „Farbkörper“), welche die gesamte genetische Information des Organismus, das Genom, bilden. Bekannt geworden ist der Begriff des Genoms durch das gigantische US-Projekt, das menschliche *Genom* zu „entziffern“²⁹. Den Eukaryonten stehen die Prokaryonten (niedrige Lebewesen wie .Archaeen und Bakterien) gegenüber: die genomische DNA liegt hier nicht in einem Zellkern abgegrenzt vor.

Die Chromosomen enthalten *DNA*, die klassische Kurzform des unaussprechlichen Namens „Desoxyribonukleinsäure“ (Englisch Desoxiribonucleic Acid; „nucleus“ ist der Zellkern). DNA ist ein sehr lang gestrecktes Makromolekül, das die berühmte Struktur einer *Doppelhelix* besitzt.

Das ist sehr schematisch dargestellt in der folgenden Abbildung:

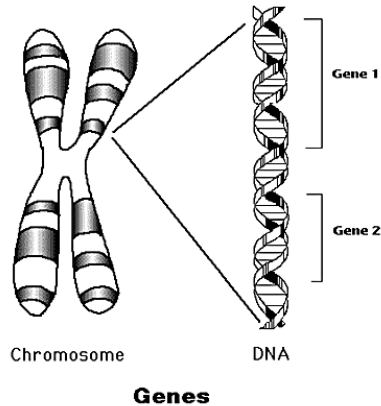
²⁶ Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité: Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Editions du Seuil, Paris (1970)

Deutsche Übersetzung: *Zufall und Notwendigkeit. Philosophische Fragen der modernen Biologie*, Piper, München (1971)

²⁷ Eduardo D. Sontag, *Molecular Systems Biology and Control*, Eur J Control (2005); 11: 396-435 (auch PDF im Internet)

²⁸ M. A. Edey, D. C. Johanson, *Blueprints: Solving the Mystery of Evolution*, Penguin Books (1990)

²⁹ <http://www.ornl.gov/hgmis/publicat/primer/>



Quelle: <http://www.accessexcellence.org/RC/VL/GG/genes.html>

Weitere wichtige Bestandteile der Zelle sind die *Proteine* (Eiweiße). Sie sind nicht nur die statischen Bausteine aller Zellen, sozusagen Ziegel und Mörtel, sondern sie sind auch dynamisch für alle Lebensfunktionen verantwortlich. Zum Beispiel fungieren sie als *Enzyme* als Katalysatoren der biochemischen Lebensprozesse. Die Proteine haben meist eine kompakte Form; ihre Gestalt kann sich auch dynamisch verändern.

Das *Zentrale Dogma der Molekularbiologie* (Francis Crick, Nobelpreis 1962) besagt kurz

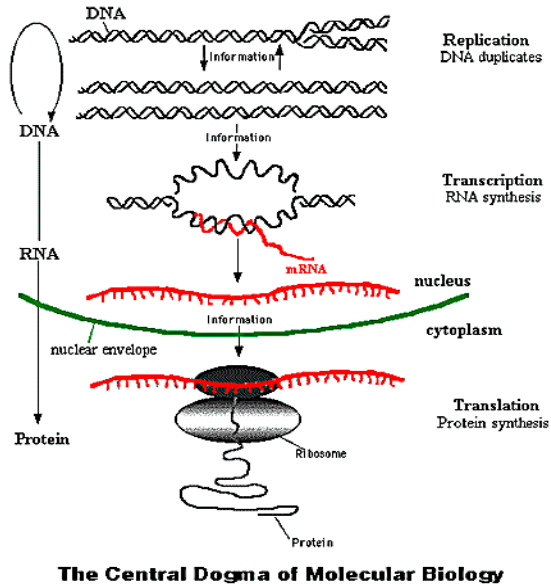
DNA → RNA → Proteine,

in Worten: DNA kodiert für RNA, und dieses kodiert für Proteine. Beim Zentralen Dogma der Molekularbiologie handelt es sich also um eine Kodierung, etwa wie bei den menschlichen Geheimschriften, aber natürlich von ungleich größerer Bedeutung. Der Übergang DNA → Proteine ist vergleichbar mit der Übersetzung von einer Sprache in eine andere, etwa der Übersetzung von Englisch ins Deutsche. Den Schritt DNA → RNA bezeichnet man als *Transkription* und den Schritt RNA → Protein als *Translation*.

Schließlich folgt noch eine einfache Definition von *Gen*: ein Gen ist ein Abschnitt von DNA, der für ein bestimmtes Protein kodiert.

Die Übertragungsvorschrift liegt in der t-RNA: Moleküle mit 2 Erkennungsregionen – eine für das RNA-Triplett, eine für die korrespondierende Aminosäure³⁰.

Die folgende Abbildung möge diese abstrakten Zusammenhänge veranschaulichen:



Quelle: <http://www.accessexcellence.org/RC/VL/GG/central.html>

DNA und Proteine verhalten sich zueinander etwa wie *Legislative zu Exekutive* der Molekularbiologie. DNA, als „aperiodischer Kristall“ im Sinne von Erwin Schrödinger (Abschnitt 5), ist nämlich sehr stabil, im Gegensatz zu den dynamisch veränderlichen Proteinen.

³⁰ Der genetische Code ist somit ein dreiteiliges System, das nach C. S. Peirce (1839 – 1914), als „Semiosis“ beschrieben wird: Dieses System umfasst drei Instanzen, nämlich das Zeichen (DNA/RNA-Triplett), sein Objekt (Aminosäure) und den Interpretanten (t-RNA). Hier sollte die wachsende Disziplin der „Biosemiotics“ (bios = life & semion = sign) genannt werden.

Das ganze Genom, also alle DNA-Moleküle eines Lebewesens, sei es eine Amöbe, ein Bakterium, eine Rose, oder ein Mensch besteht aus den gleichen vier Basen A, G, C, T, die durch denselben Mechanismus in Proteine übersetzt werden. Das Genom eines Lebewesens ist die Gesamtabfolge der DNA-Segmente. Die Genome sind umso ähnlicher, je näher zwei Lebewesen im phylogenetischen Baum sind. Das ist natürlich ein überwältigendes Argument für die gemeinsame Abstammung aller Lebewesen und für die Evolution.

Der Übersichtlichkeit halber haben wir manche Zusammenhänge vereinfacht, darunter auch das „Zentrale Dogma der Molekularbiologie“. Streng nach dem Zentralen Dogma geht die Entwicklung stets in Richtung Gen → Protein. Manchmal wird auch der umgekehrte Wege eingeschlagen, wie schon Monod erkannt hat. Ein Enzym (Protein) kann ein bestimmtes Gen „abschalten“, das dadurch nicht zur Wirkung kommt. Man spricht auch von „Inhibition“ oder „Repression“. Diese Mechanismen funktionieren nicht nur in einem Organismus, sondern manchmal wirken sie sich auch auf die Nachkommen aus. Ein Beispiel soll das erläutern: Wie ist es zu erklären, dass Mäusejungen braun oder gelb sind, je nachdem, ob ihre Mütter eine Zusatzdiät mit Folsäure und Vitamin B12 bekamen oder nicht? Und dass die braunen Mäuse meist gesund und schlank sind, die gelben hingegen dick und anfällig für Diabetes? Die Antwort liefert uns die „Epigenetik“, eine noch junge Disziplin, die sich mit Mechanismen beschäftigt, die oberhalb (griechisch: *epi*) der genetischen Grundlage sitzen und quasi die Lesbarkeit oder Nicht-Lesbarkeit der genetischen Information steuern³¹. Lamarck hat 50 Jahre vor Darwin die Theorie aufgestellt, dass erworbene Eigenschaften an die Nachkommen weitergeben werden: diese Theorie galt lange für endgültig widerlegt und überholt, und Lamarck starb arm und unbekannt: jetzt kommt er gleichsam zu späten Ehren. Und unser Verständnis der Evolution hat sich zwar nicht grundlegend geändert, ist aber um eine wichtige Facette reicher geworden.

4.3. Von der Zelle zum Organismus

Zunächst entsteht aus der *Zygote* (befruchtete Eizelle) durch rasche Zellteilung ein Gebilde von 128 gleichen Zellen, die *Blastula*. In weiterer Folge

³¹ Eine ausgezeichnete Einführung bietet: O. Merkel, *Von der Genetik zur Epigenetik*, *Imago Hominis* (2003); 10(3): 151-155

vermehren und differenzieren sich die Zellen in Muskelzellen, Zellen für die inneren Organe (Herz, Leber usw.), Hautzellen, Knochenzellen und andere.

Proteine sind Hauptbestandteile all dieser Zellen, als *Enzyme* (biologische Katalysatoren) und als strukturelle Komponenten. Dadurch, dass sie an der kommunikativen und strukturellen Verbindung von Zellen beteiligt sind, tragen sie auch wesentlich zur Bildung von Organen aus den Zellen bei.

Durch weiteres Wachstum entsteht ein Embryo. Jede Zelle hat im Prinzip auch das gleiche Erbmateriale (identische DNA, RNA usw.), gehört also zum gleichen *Genotyp*.

Der lebende Organismus wird als *Phänotyp* bezeichnet. *Morphogenese* ist die Entwicklung des Phänotyps unter der Kontrolle des Genotyps oder: „Morphogenesis is controlled by the genetic ‚program‘ and can be modified by environmental factors“³².

Der Genotyp bestimmt den Phänotyp nicht ganz eindeutig, wie die eineiigen Zwillinge zeigen, die ein Außenstehender vielleicht verwechseln kann, die Mutter aber nicht.

Schon Schrödinger sagt sehr schön, dass der biologische „code-script“ gleichzeitig „the architect’s plan and the builder’s craft“ ist. In der heutigen Terminologie würde man vielleicht sagen, dass das Genom gleichzeitig Bauplan (Genotyp) ist und die Entwicklung des individuellen Lebewesens (Phänotyp) bewirkt.

Interessanterweise hat als einer der Ersten der große Logiker Allan Turing (Abschn. 3.6.) ein mathematisches Modell für die Morphogenese geschaffen. Im Übrigen ist die Stabilität (Stasis) einer Art über sehr lange Zeiträume hinweg (Milliarden von Jahren) keineswegs so einfach, wie wir beschrieben haben. Lebende Fossilien wie das Opossum sind eher eine Ausnahme; die durchschnittliche „Lebenszeit“ einer Art ist ungefähr 3 bis 6 Millionen Jahre.

4.4. DNA und Evolution

Wie wir in Abschnitt 4.2. gesehen haben, stellt der „aperiodische Kristall“ DNA die Grundlage des Erbmaterials, das *Genom*, dar. Der Grund ist seine ungläubliche *Stabilität* auf Grund der Quantentheorie, wie schon

³² <http://en.wikipedia.org/wiki/Morphogenesis>

Erwin Schrödinger 1943 in seinem bahnbrechenden Buch „*What is Life*“ (s. Abschnitt 5) vorausgeahnt hatte. Dadurch können sich biologische Arten (*species*) über Jahrtausende im Wesentlichen unverändert erhalten. Damit lässt sich also die *Konstanz* der Arten erklären.

Die *Vielfalt der Arten* erklärt Darwin durch die *Evolution*. Die treibenden Kräfte der Evolution nach dem heutigen Verständnis der Evolution sind *Selektion, Mutation und Isolation*.

Selektion

Nur der Tüchtigste überlebt. Das ist der berühmter Satz, von Spencer formuliert und von Darwin übernommen: *survival of the fittest*.

Nun, welche Art ist die tüchtigste? Jene, die überlebt. Damit haben wir den viel zitierten logischen Zirkelschluss: „Nur der Tüchtigste überlebt. Wer ist aber der Tüchtigste? Nun, jener, der überlebt“. Einleuchtend, aber unbrauchbar. Um aus dem logischen Zirkel herauszukommen, müssen wir eben „Tüchtigkeit“ als Auslese-Kriterium „von außen“ definieren. Wir werden in Zukunft für Tüchtigkeit das neudeutsche Fremdwort „*Fitness*“ verwenden. Doch davon später.

Mutationen

Gene sind die kleinsten Funktionseinheiten des Genoms, ein DNA-Abschnitt also, der die Information für die Synthese eines Proteins trägt; hier können „Textvarianten“ – *Mutationen* – zufällig und an einer beliebigen Stelle auftreten.

Sind Mutationen wirklich „zufällig“, ähnlich wie physikalische Zufälle, z. B. der radioaktive Zerfall? **Ja und nein. Ja:** Mutationen, und das gilt hauptsächlich für die Punktmutationen, die durch den Austausch eines Gen-Bausteins durch einen anderen charakterisiert sind, treten an jeder beliebigen Stelle (*locus*) in der DNA-Sequenz auf. UV-Strahlen oder radioaktive Strahlen können die Frequenz von Mutationen erhöhen, haben aber keinen Einfluss darauf, welcher Baustein an welcher Stelle ausgetauscht wird. Diese zufällig auftretenden Mutationen können belanglos sein, in einigen Fällen positiv, vielfach sind sie jedoch negativ. Auch die „Rekombination“, die zu einer neuen Anordnung der Genmuster führt, unterliegt weitgehend dem

Zufall. **Nein:** Der Großteil der auftretenden Mutationen wird als „Schreibfehler“ erkannt und durch Reparaturmechanismen rückgängig gemacht. Hier wird der Zufall durch gesetzmäßige Mechanismen gleichsam begrenzt.

Viele Mutationen beschädigen das Genom so, dass daraus überhaupt kein lebensfähiger Organismus entsteht. Andere solcher Lebewesen sind nicht zur Fortpflanzung fähig. Es wird also bei der Mutation sehr viel „biologischer Abfall“ produziert. Einige, seltene Individuen sind doch überlebens- und fortpflanzungsfähig, und vergrößern zunächst einmal die „Variabilität“ in der Population, und zwar die genetische Variabilität, die dadurch entsteht, dass „verschiedene *Allele* an einem Genort“ anzutreffen sind. Ein wichtiger Begriff: „das *Allel*“. Ein Wörterbuch sagt: „Allele: One member of a pair or series of genes that occupies a specific position *on a specific chromosome*.“³³ Auch das können wir jetzt gut verstehen: Die Pflanzen und Tiere, auch der Mensch, sind *diploid*: jedes Chromosom (jede Gensequenz) tritt doppelt auf, ein Allel kommt von der Mutter, das andere vom Vater. Ein Stück der Gensequenz, das für ein bestimmtes Protein kodiert, haben wir *Gen* genannt. Je nachdem, ob ein Gen an einer bestimmten Stelle (*the same position (locus)*) in den beiden zusammengehörigen Chromosomen den Wert A oder a hat, spricht man von *Allele A* oder *a*. Ein Gen ist die kleinste Funktionseinheit eines Genoms; es kodiert in ein Protein. Mit K. Peschke³⁴ können wir auch sagen: „Ein Allel ist eine von zwei Zustandsformen eines Gens.“

Die Gesamtheit aller Allele aller Gene, also die Gesamtheit der genetischen Information in einer Population zu einem bestimmten Zeitpunkt stellt den „*Genpool*“³⁵ dar.

Selektion greift jedoch nicht an den Genen selber – am Genotyp – an, sondern an Organismen: die neuen Mutationen müssen sich manifestieren, und unterliegen hier Umwelteinflüssen, die ihrerseits wieder die Variabilität erhöhen. Das Erscheinungsbild der Organismen – der Phänotyp – wird also durch die genetische und die umweltbestimmte Variabilität beeinflusst.

³³ <http://www.answers.com/topic/allele>

³⁴ <http://www.biologie.uni-freiburg.de/data/biol/oekoteach/peschke-teach.pdf>, Zugriff: August 2006

³⁵ Das Wörterbuch Biology-Online, http://www.biology-online.org/dictionary/Gene_pool, das gute kompakte Definitionen hat, sagt: „Gene pool: the total sum of genetic information present in a population at any given moment.“ Er besteht also aus allen Kombinationen wesentlicher Gene in einer Population.

Isolation

Als dritte treibende Kraft haben wir die „*Isolation*“ genannt: Unter „*Population*“ verstehen wir Gruppen von Individuen, die zur selben Art, Spezies, gehören, also fruchtbare Nachkommen hervorbringen können. Die Größe der Population ist für die Evolution von entscheidender Bedeutung, denn Evolution hängt mit Änderung der Allelfrequenz zusammen, und diese kann nur in einer (relativ) kleinen Population „greifen“. Die Populationsgröße kann nun eingeschränkt werden, durch geographische Isolation (Insel, großer Berg als Hindernis, Seen, die nicht miteinander verbunden sind), durch zeitliche (unterschiedliche Fortpflanzungszeiten), oder ethnologische Isolation (unterschiedliches Brunnverhalten), oder durch das Besetzen unterschiedlicher ökologischer Nischen.

Es gilt auch das Umgekehrte: In einer sehr großen Population mit geringem Auftreten von Mutationen und gleich bleibenden Umweltbedingungen findet keine Evolution statt. Hardy und Weinberg haben unabhängig von einander mathematisch dargestellt (1908), dass Genfrequenzen der Nachkommen die gleiche sein werden wie die der Elterngeneration.

Nun wieder zurück zu Selektion und Fitness

Die Fitness ist, vereinfacht ausgedrückt, ein Maß für die Zahl der fruchtbaren Nachkommen eines Individuums.³⁶ Die Fitness eines Allels ist die relative Anzahl der Kopien dieses Allels, die in die nächste Generation gelangen.³⁷ Und hier spielt nicht nur die genetische Ausstattung eine Rolle, sondern auch die Vermehrungsrate, die Sterblichkeit, die Populationsgröße, die Kapazität und Eigenschaften des Lebensraums, und anderes mehr.

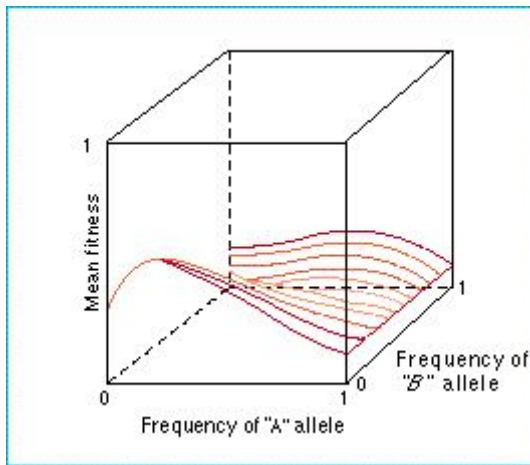
„Fitness“ kann auch etwas anders definiert werden, wie folgt: „Die Fitness eines Genotyps misst seine relative Fähigkeit, sich selbst zu reprodu-

³⁶ Diese Definition wird auch als „propensity fitness“ bezeichnet, und drückt die objektive Wahrscheinlichkeit auf der Basis eines Individuums aus. Der Begriff Propensität (objektive Wahrscheinlichkeit) stammt vom Philosophen Karl Popper und ist daher besonders prestigeträchtig. Die allgemeine Definition von biologischer Fitness bezeichnet den durchschnittlichen Beitrag eines Allels oder Genotyps zur nächsten Generation oder zu folgenden Generationen, wobei dieser Beitrag rechnerisch mit dem Beitrag, den andere Allele oder Genotypen leisten, verglichen wird.

³⁷ K. Peschke, s. oben

zieren, im Vergleich mit anderen Genotypen.“³⁸ Jeder Genotyp hat somit eine Fitness zwischen 0 (ungeeignet) und 1 (optimal geeignet). (Sie hat also den Charakter einer (relativen) Frequenz, die wie die Wahrscheinlichkeit immer zwischen 0 und 1 liegt.)

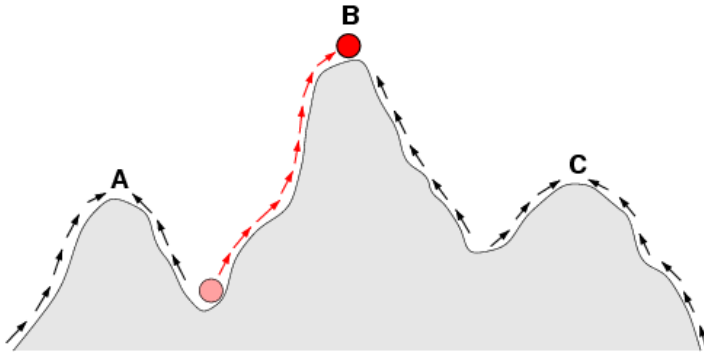
Wird nun die genetische Variabilität eines Allels in der x-Achse dargestellt, und die eines anderen in der y-Achse, kann nun die empirisch ermittelte Fitness als Höhe dargestellt werden, und ergibt so das Bild einer Landschaft (fitness landscape).



Quelle: <http://www.blackwellpublishing.com/ridley/a-z/Fitness.asp>

In der zweidimensionalen Darstellung wird klarer, dass sich die Individuen aufeinander folgender Generationen auf Optima, Stellen höchster Fitness, zu bewegen.

³⁸ <http://www.biology-online.org/dictionary/fitness>



Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/Fitness_landscape

Die „Fitness-Landschaft“ ist die heutige Form von Darwins „Selektion“ die wir schon eingangs erwähnt haben. Die Bestimmung eines Fitness-Modells für die Selektion ist vielfach sehr schwierig und keineswegs eindeutig.³⁹ Künstliche *genetische Algorithmen*, die die natürliche biologischen Evolution (Erzeugung eines „Genpools“ und Selektion) nachahmen, werden heute in verschiedenen Anwendungen der Computersimulation verwendet.

4.5. Mikroevolution und Makroevolution

Eine Theorie entwirft ein Bild, ein Modell der Realität, das durch Experimente immer wieder bestätigt (verifiziert) werden muss (vgl. Abschn. 3.2). Und hier stoßen wir auf ein großes Hindernis: Wir können zwar Evolution auf Artebene (*Mikroevolution*) experimentell nachvollziehen, doch stehen uns weder die riesigen Zeiträume noch die genauen Ausgangsbedingungen zur Verfügung, um zu beantworten, ob die uns bekannten Mechanismen wirksame und ausreichende Erklärungen für *Makroevolutionen* (Evolutionvorgänge über geologisch lange Zeiträume hinweg) bieten.

Mikroevolution lässt sich leicht gedanklich und experimentell nachvollziehen. Zum Beispiel passt sich eine Bakterienkultur sehr rasch, durch das Auftreten einer Mutation, an ein Antibiotikum an, entwickeln also eine

³⁹ Peter Schuster „Evolution und Design. Versuch einer Bestandsaufnahme der Evolutionstheorie.“ Vortrag gehalten vor Papst Benedikt XVI. und seinem Schülerkreis in Castelgandolfo am 2.9.2006 (im Druck).

„Antibiotika-Resistenz“. Deshalb gibt auch der Arzt einem Patienten nur dann Antibiotika, wenn er sie benötigt, um eine schwerwiegende bakterielle Infektion zu überwinden. Diese Resistenzen lassen sich auch im Labor züchten: ein Bakterienstamm wird einer niedrigen Antibiotika-Dosis ausgesetzt. Die meisten sterben; hat jedoch ein Bakterium eine Mutation, die es widerstandsfähig macht, so gilt es diese über Rekombination und Konjugation an andere Bakterien weiter, die dadurch ebenfalls resistent werden. Die Dosis wird nun immer mehr erhöht und nur resistente Bakterien überleben: „Mikroevolution zum Zuschauen“ also.

Mutation, Selektion und Isolation führen sowohl zu Veränderungen innerhalb einer Art als auch zur Herausbildung neuer Arten. Dies wirft zwei Fragen auf: Lässt sich die Entstehung neuer Arten, also die Überwindung der „Art-Barriere“, wenn wir so wollen, experimentell belegen? Und: Wirken in der Entwicklungsgeschichte höherer taxonomischer Einheiten⁴⁰ dieselben Mechanismen, oder müssen wir nach zusätzlichen Mechanismen suchen?

Zur ersten Frage: Während wir Linnés höhere Taxa biologisch nicht genau definieren können, so können wir die Art definieren als Gemeinschaft, in der sich Individuen ungehindert (und ohne künstlichen Eingriff) fortpflanzen können *und* Nachkommen hervorbringen, die ihrerseits fruchtbar sind. Beispiele für die Bildung neuer Arten sind die Darwinfinken, die auf gemeinsame Vorfahren zurückgehen, die auf die Galapagosinseln gelangten, und sich durch geographische Isolation und die Besiedlung verschiedener ökologischer Nischen zu mehreren eigenständigen Arten entwickelt haben, oder die Entstehung der modernen Getreidearten, wo auch eine Vervielfachung des Chromosomensatzes (Polyploidie) eine Rolle spielt.

Zur zweiten Frage: Darwin und viele Biologen nach ihm gehen davon aus, dass die Evolution graduell, in kleinen Schritten erfolgt, obwohl wir diese Schritte aufgrund der großen Zeiträume von Jahrtausenden nicht experimentell nachvollziehen können. Eine Unterscheidung in „*Mikroevolution*“ (innerhalb und auf der Artebene) und „*Makroevolution*“ (klar oberhalb der Artebene) sei demnach nicht notwendig: der Mechanismus sei grundsätzlich graduell (*Gradualismus*).

Gerade in den letzten Jahren mehren sich aber Hinweise auf Mechanismen, die manchmal besser als der „Gradualismus“ einen Einblick in die

⁴⁰ <http://www.answers.com/topic/taxon>: (Taxa: Arten, Gattungen, Familien, Ordnungen, Klassen und Stämme; Singular taxon, Plural taxa)

Entwicklungsgeschichte höherer Taxa geben, und den Ursprung von Neuheiten besser nachvollziehbar machen:

(1) Eldredge und Gould wiesen 1972⁴¹ darauf hin, dass langen Zeiten fast statischen Stillstehens und unveränderten Fortbestands der Arten dann Zeiten relativ rascher Veränderung und Entstehung neuer Arten gegenüberstehen, der Stillstand wird also gleichsam „durchbrochen“, und prägen dafür den Begriff „punctuated equilibrium“.

(2) Vor rund einer halben Milliarde Jahre tauchten innerhalb kurzer Zeit praktisch alle Tierstämme auf, die wir auch heute in den Weltmeeren vorfinden. Das Ereignis wird „Kambrische Artenexplosion“ genannt, und es gehört zu den großen Rätseln der Evolution. Ähnliche, wenn auch weniger spektakuläre evolutionäre Schübe, ereigneten sich bei der Eroberung des Landes durch die Pflanzenwelt, und bei der Entstehung der Insektenwelt. Welche Rolle könnte die Verfügbarkeit neuer Lebensräume, welche Veränderungen in der Zusammensetzung der Ozeane oder der Atmosphäre gab es? Welche weiteren Faktoren traten auf?

(3) Weitere Entwicklungen kommen von „Evo-Devo“.

Evo-Devo

Eine recht junge Wissenschaft ist „Evo-Devo“, „evolutionary developmental biology“, die untersucht, welchen Einfluss Regelmechanismen in der Embryonalentwicklung auf die Entstehung neuer Baupläne – oder morphologischer Änderungen allgemein – haben. In der Embryonalentwicklung ist es entscheidend, welche Gene wann an- oder abgeschaltet werden. So gibt es die Familie der Hox-Gene, die für die Festlegung von Körperabschnitten und der Körperachse eine wichtige Rolle spielen und in allen bekannten Tierarten vorkommen. Ein weiteres Beispiel sei herausgegriffen: Vor etwa 50 Millionen Jahren tauchte plötzlich die Ordnung der Fledermäuse auf; sie sind mit keiner rezenten Säugetierordnung näher verwandt. Die Flügel haben extrem lange Fingerknochen, und zwischen diesen ist eine Haut gespannt, die auch bis zu der hinteren Extremität reicht. Dafür ist ein Protein namens Bmp2 verantwortlich, das in den vorderen Extremitäten

⁴¹ Eldredge N., Gould S. J., *Punctuated equilibrium: an alternative to phyletic gradualism*, in: Schopf T. J. M. (Ed.), *Models in Paleobiology*, Freeman, Cooper, San Francisco (1972), pp. 82-115 (<http://www.blackwellpublishing.com/ridley/classictexts/eldredge.asp>)

embryonaler Fledermäuse in großer Menge vorkommt, nicht jedoch in den hinteren Extremitäten. Ja mehr noch: Gabe oder Hemmung von Bmp2 kann das Wachstum embryonaler Fledermausfinger steuern.⁴² Siehe die folgende Abbildung eines Fledermaus-Embryos:



Quelle: <http://www.hhmi.org/news/niswander20060417.html>

Auch wenn wir einem Geheimnis auf die Spur gekommen sind, so bleiben weitere: Fledermäuse nützen die Echolotung und den „Doppler-Effekt“ zu Orientierung und Beutefang, sie haben ganz eigenwillig umgeformte Beine und Füße, die vollkommen ungeeignet zum Stehen und Laufen sind, aber ein „Herabhängen“ bestens unterstützen, sogar als energiesparende Variante.

⁴² Sears K. S. et al., *Development of bat flight: Morphologic and molecular evolution of bat wing digits*, Proc Natl Acad Sci (2006); 103(17): 6581-6586

5. Was ist Leben?

5.1. Vorbemerkung

Heute wissen wir um die ungeheure Komplexität auch des einfachsten Bakteriums. Es erscheint uns unmöglich, das Denken vergangener Generationen zu verstehen, das annahm, Lebewesen könnten spontan und zu jeder Zeit von neuem aus unbelebter Materie durch Urzeugung (*generatio spontanea*) entstehen. Endgültig widerlegt wurde dies von Louis Pasteur (1822 – 1895), der das Gesetz prägte „*Omne vivum ex vivo*“. Dieser Satz hat in der Zeit, wo es Lebewesen gibt, allgemeine Gültigkeit. Doch wir müssen uns fragen: Wie geschah dieser Schritt von Nicht-Leben zu Leben? Was ist Leben? Auch wenn wir es alle intuitiv wissen, gibt es keine einfache Definition. Aus der Sicht des Physikers beleuchtete Erwin Schrödinger in seinem bahnbrechenden Buch „*What is Life*“⁴³ diese Frage. Er postulierte die Grundsubstanz des Lebens als einen aperiodischer Kristall regelmäßiger komplexer und unveränderlicher Struktur, und bahnte damit der Entdeckung der DNA-Struktur 1953 durch Watson und Crick, gestützt auf Befunde von Franklin und Wilkins, den Weg.

Schrödingers Buch ist heute noch immer so anregend wie bei seinem Erscheinen 1944. Es stellt auch andere wichtige Fragen zu Wesen und Ursprung des Lebens, und zum Zusammenhang zwischen Entropie, Information und Leben, die im Folgenden kurz beleuchtet werden.

5.2. Merkmale lebendiger Organismen

Sie sind Systeme, die zellulär organisiert sind, und bei denen drei Charakteristika gemeinsam vorkommen.⁴⁴ Sie können sich selbst erhalten (Stoffwechsel und Wachstum), sie vermehren sich (Reproduktion) und sie entwickeln sich im Austausch mit ihrer Umwelt: Reaktion auf Reize der

⁴³ Erwin Schrödinger, *What is Life*, Cambridge University Press, erstmals 1944, noch immer als Neudruck erhältlich.

⁴⁴ „Living beings are systems that have three simultaneous features: they are self-supported, they reproduce themselves and they evolve through interaction with the environment.“: Haboku Nakamura, Biology Institute, Konan University, Kobe, Japan; Newton magazine (Italian version), “Segnali di Vita Aliena”, 2001

Umwelt und *Homöostasie*. Letztere bedeutet, dass das innere Milieu eines Organismus innerhalb bestimmter Grenzen, trotz Schwankungen der Umwelt, durch geeignete Regulationsmechanismen konstant gehalten wird.

Die zelluläre Organisation bedeutet, dass alle Lebewesen bis zum molekularen Niveau durchgehend durchkonstruiert sind, im Gegensatz zu den vom Menschen hergestellten Maschinen, aber ähnlich den anorganischen Kristallen.

5.3. Entropie und Ordnung

Die Entropie ist ein grundlegender Begriff der Physik, genauer gesagt der Thermodynamik, der von Ludwig Boltzmann (1844 – 1906) eine statistische Deutung erhalten hat.⁴⁵ Die Entropie ist ein quantitatives Maß für die *Unordnung*, die in einem System herrscht. *Der Zweite Hauptsatz der Wärmelehre besagt, dass die Entropie im Lauf der Zeit nur gleich bleiben oder zunehmen kann.* Deshalb nennt man diesen 2. Hauptsatz auch den *Entropiesatz*.

Das wollen wir durch ein allgemein benütztes und unmittelbar einleuchtendes Beispiel klarer machen. Ein aufgeräumter Schreibtisch macht einen ordentlichen Eindruck. Da man aber im Allgemeinen wichtigere und interessantere Dinge zu tun hat als den Arbeitstisch aufzuräumen, tut man das meist nur selten. In der Zwischenzeit wird er immer unordentlicher, nichts ist mehr zu finden, bis man aus Verzweiflung den Beschluss fasst, ihn wieder aufzuräumen. Die „Entropie“ des Schreibtisches nimmt also im Regelfall immer mehr zu, seine Ordnung nimmt ab.

So geht es auch in der Physik. Ein Glas mit einer etwas durchlässigen Scheidewand, links mit heißem, rechts mit kaltem Wasser gefüllt, wird nicht lange so bleiben, das Wasser wird langsam durch die Scheidewand dringen, und am Ende werden beide Hälften des Glases mit dem gleichen lauwarmen Wasser gefüllt sein.

(Die Scheidewand braucht nicht einmal wasserdurchlässig zu sein, sie muss nur Wärme durchlassen.) Die kalt-warme Situation ist geordneter und brauchbarer; man kann die Temperatur des Badewassers, je nach Wunsch, größer oder kleiner machen, indem man heißes oder kaltes Wasser hinzufügt. Hat man nur lauwarmes Wasser, so lässt sich nichts mehr machen. Die Entropie des Zustandes kalt-heiß ist kleiner als die des Zustandes lauwarm-lauwarm.

⁴⁵ Eine genauere Definition ist nur mathematisch möglich, siehe z. B. SMU, S. 173.

Der umgekehrte Vorgang wird nie spontan eintreten; lauwarmes Wasser wird sich nie von selbst in einen kalten und einen heißen Teil trennen. Man sagt also, die Zeit sei thermodynamisch *irreversibel*; der thermodynamische Zeitpfeil sei nicht umkehrbar. Er geht immer in Richtung: größere Ordnung → geringere Ordnung.

Bei einem lebenden Wesen aber hat der Zeitpfeil entgegengesetzte Richtung. Der erwachsene Mensch ist doch viel höher organisiert als die Eizelle, aus der er hervorgeht. Bei der Evolution ist es ähnlich: aus der Urzelle entstehen die viel höher organisierten Pflanzen, Tier und Menschen. Also geht der biologische Zeitpfeil in Richtung: geringere Ordnung → größere Ordnung.

Hier sind verschiedene Antworten möglich:

- (1) Leben ist eben etwas radikal Anderes als die unbelebte Natur. Möglich, aber sehr vage und unscharf;
- (2) das Leben gibt es gar nicht, denn nach Christian Morgenstern:

„Weil, so schließt er messerscharf,
nicht sein kann, was nicht sein darf.“

Das ist natürlich nur ein Scherz. Aber: Aus unscharfen Prämissen kann man keinen „messerscharfen“ Schluss ziehen, sondern höchstens vorsichtige Argumente formulieren. Trotzdem finden sich ähnlich radikale, „messerscharfe“ Argumente, rhetorisch besser verkleidet, in Wissenschaft und Philosophie gar nicht so selten.

(Man denke an das Buch „*L’homme machine*“ (*Der Mensch – eine Maschine*) von La Mettrie, 1748.)

5.4. Negentropie und Information

Die Hauptquelle für unsere Betrachtungen ist das Buch „*Maxwell’s Demon*“⁴⁶, das eine umfassende Anthologie aller Arbeiten über unser Thema von 1874 bis 1990 darstellt. Wir werden es im Folgenden nach den Herausgebern mit Leff & Rex bezeichnen.

⁴⁶ Harvey S. Leff und Andrew F. Rex, *Maxwell’s Demon: Entropie, Information, Computing*, Adam Hilger, Bristol (1990)

Maxwells Dämon führt ein für das Verständnis des Wesens der Entropie grundlegendes Gedankenexperiment durch. Es ist eine Abänderung des im letzten Abschnitt beschriebenen Versuches mit zwei (diesmal auch oben geschlossenen) Behältern (Kammern) *A* und *B*, die durch eine diesmal undurchlässige Scheidewand getrennt sind.⁴⁷ Beide angrenzenden Behälter sind mit Luft verschiedener Temperatur gefüllt. (Temperatur ist die Summe der kinetischen Energien der wirr sich bewegenden Luftmoleküle: je größer die mittlere Geschwindigkeit der umherflitzenden Luftteilchen ist, desto höher ist die Temperatur.)

Im vorigen Abschnitt haben wir schon gesagt, dass die Entropie umso kleiner ist, je größer der Temperaturunterschied (heiß-kalt) zwischen den beiden Behältern ist. Die Entropie ist am größten (*maximale Entropie*), wenn beide Behälter die gleiche Temperatur haben. Der *Entropiesatz* (2. Hauptsatz der Wärmelehre) besagt, dass dieser „thermodynamische Gleichgewichtszustand“ bei jedem sich selbst überlassen System früher oder später eintritt und dann bleibt. Eine spontane Rückbildung in den früheren Zustand heiß-kalt ist ausgeschlossen.

Nun machen wir in der Scheidewand ein kleines Loch und setzen ein kleines Wesen, eben den Maxwellschen Dämon, hin. Dieser kann das Loch mit einem Schieber für jeweils ein heran fliegendes Molekül öffnen oder schließen. Er öffnet das Loch, wenn aus der Kammer *A* ein „schnelles“ Molekül kommt, und lässt es dadurch in die Kammer *B*. Umgekehrt öffnet er den Schieber für ein „langsames“ Molekül aus Kammer *B*. Der Maxwellsche Dämon „beobachtet“ also die herannahenden Moleküle und kann „schnelle“ und „langsame“ Moleküle unterscheiden. Er ist in dieser Hinsicht also „intelligent“ (er braucht nicht so allwissend wie der Laplacesche Dämon aus Abschnitt 1.2. zu sein).

Anfangs sei die Temperatur in beiden Kammern *A* und *B* gleich; es herrscht dann „lokal“ ein Zustand maximaler Entropie. Durch die selektive Tätigkeit des Maxwellschen Dämons aber sammeln sich in Kammer *A* die langsameren und in *B* die schnelleren Moleküle an. Kammer *A* wird kälter und Kammer *B* wird wärmer, im Gegensatz zum Entropiesatz (2. Hauptsatz). Die Entropie verkleinert sich wieder.

⁴⁷ Bild in SMU, S. 174

Und eben das geschieht bei Zellmembranen, deshalb sind sie auch so wichtig. Sie trennen das Innen- vom Außenmilieu und erlauben so eine Anreicherung von Lebensbausteinen (gemeint sind Aminosäuren, Zucker etc.) und – auch sehr wichtig – von Ionen. Ohne eigenes Innenmilieu gibt es kein Leben.

Was ist geschehen? Es scheint, dass der Maxwellsche Dämon den 2. Hauptsatz verletze. Wenn jedoch Maxwells Dämon selektiv ein Molekül einlässt oder nicht, so braucht er dazu eine Information über die Geschwindigkeit. Diese (kleine) Information ist nur: größer oder kleiner, ja oder nein, 1 oder 0. Eine solche „Elementarentscheidung“ gibt es in der Informationstheorie; sie heißt dort 1 *Bit* (*binary digit*). Jede Person, die mit einem Computer arbeitet, kennt diesen Begriff. Also was liegt näher, als eine Entropie-Verkleinerung mit einer Informations-Vergrößerung zu verbinden und beide Änderungen in Bits zu messen:

$$\begin{aligned} \text{Information} &= \text{negative Entropie (oder kurz „Negentropie“),} \\ &\quad \text{das heißt} \\ \text{Negentropie} &= \text{Information.} \end{aligned}$$

Diese griffige Relation wird gerne verwendet. Mit einigen Einschränkungen funktioniert sie sehr gut.

(1) Eigentlich müsste man von Differenzen sprechen:

$$\text{Entropie-Abnahme} = \text{zugeführte Information.}$$

(2) Eine viel ernstere Einschränkung: diese Definition ist nur eine sehr spezielle Definition von „Information“; es gibt noch viele andere Arten von Information.

Immerhin zeigte diese Möglichkeit schon 1929 L. Szilard in seiner Arbeit „Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen“, deren englische Übersetzung in Leff & Rex zu finden ist. In seinem Buch „Cybernetics“⁴⁸ hat Norbert Wiener den Maxwellschen Dämon aufgegriffen und für den Zusammenhang zwischen Information in der oben beschriebenen Weise verwendet.

⁴⁸ Norbert Wiener, *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*, 2nd ed., Wiley, New York (1961), S. 57-59

Die für uns wichtigste Arbeit hat L. Brillouin 1949 geschrieben: „*Life, thermodynamics, and cybernetics*“, ebenfalls in Leff & Rex abgedruckt. An Schrödinger und Wiener anknüpfend, gab er eine systematische und umfassende Diskussion der Problematik (ein Jahr später führte er den Begriff „Negentropie“ ein). Diese Arbeit ist sehr lesenswert und kommt ohne mathematische Formeln aus.

5.5. Ordnung

Jetzt können wir auch den oben eingeführten Begriff „Ordnung“ präzisieren. Wir *identifizieren* ihn einfach mit dem Begriff der Negentropie oder Information im obigen Sinn. Die Ordnung ist der Informationsgehalt eines Systems oder eines Lebewesens.

In diesem Sinn ist die Ordnung eines Computers sein gesamter Speicherplatz. Hier sehen wir auch die Beschränkung unserer Definition: sie vernachlässigt andere Aspekte dessen, was wir unter Ordnung verstehen. Eine ähnliche Beschränkung gilt auch für Anwendung auf Lebewesen. Viele Eigenschaften eines „ordentlichen“ Menschen: Verlässlichkeit, Güte, Ordnungsliebe, geregeltes Leben, redliches Gewissen und Anderes fallen nicht unter diesen Begriff, wenn man ihn naturwissenschaftlich versteht, wie wir es hier tun müssen.

5.6. Leben und Entropie

Im 6. Kapitel seines Buches „*What is Life?*“ behandelte Schrödinger die Relevanz dieser Begriffe für die Definition des Lebens. Die Lebewesen widersprechen nicht dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik. Die Vergrößerung der Ordnung (Weiterentwicklung) eines Lebewesens beruht auf Zuführung von Ordnung durch die Nahrung oder durch das Sonnenlicht. Pflanzliche und tierische Nahrungsmittel besitzen noch etwas von der Ordnung der ursprünglichen Organismen, die zur Nahrung dienen. Auch Sonnenstrahlen besitzen eine hohe innere Ordnung.

Natürlich geht es auch um Zuführung der Energie zur Aufrechterhaltung unserer Lebensprozesse, aber diese Energie muss qualitativ hochwertig sein (hohe Negentropie). Wir müssen unseren Kohlenstoff aus Kohlehyd-

raten (z. B. in Form von Brot) zuführen; wir können nicht einfach ein Stück Kohle oder einen Diamanten essen.

Anmerkung: Dieser bekannte Versuch einer Erklärung gilt natürlich nur für den *Stoffwechsel eines Individuums*. Die Abnahme der Entropie bei der *Evolution der Arten* (die Zunahme der genetischen Information) muss in den Gesetzen der Evolution begründet sein.

5.7. Abgeschlossene und offene Systeme

Ein System ist abgeschlossen, wenn es keinen wie immer gearteten Kontakt zur Außenwelt hat, sonst heißt es offen. *Alle Lebewesen sind offene Systeme*. Auch die Erde ist offen, weil sie wesentlich vom Sonnenlicht abhängt. Ziemlich abgeschlossen ist unser Sonnensystem, noch viel mehr unsere Galaxien, aber vollkommen abgeschlossene Systeme gibt es in dem uns irgendwie zugänglichen Universum nicht.

Unsere Betrachtungen über Entropie (wie alle naturwissenschaftlichen Gesetze) haben daher immer nur den Charakter einer Näherung. Die Frage ist, wie weit diese Näherung berechtigt ist. Im Falle der Biologie dürfte es vielfach genügen, sich auf das System Erde – Sonne zu beschränken.

5.8. Enzyme als Maxwellsche Dämonen

Lebewesen sind grundsätzlich instabile oder metastabile Systeme, grundsätzlich immer und überall vom Tode bedroht. Sie können überhaupt nur im Austausch mit der Umwelt bestehen, wie wir gesehen haben. Für die Assimilierung der Nährstoffe sind Proteine als Katalysatoren nötig, die in der Biologie *Enzyme* heißen. Norbert Wiener (*Cybernetics*, S. 58) betrachtet die Enzyme als eine Art Maxwellscher Dämonen, welche die Assimilierung der Nahrung usw. bewirken und damit die Zuführung der Negentropie („Information“) zur Aufrechterhaltung des Lebens und zum Wachstum ermöglichen. (Wegen dieser Beschränkung des Entropiesatzes auf *ein* Lebewesen spricht man von *lokaler* Entropieverminderung.) Die Enzyme usw. werden mit der Zeit degradiert, und schließlich wird durch den Tod wieder der „thermodynamische Gleichgewichtszustand“ (siehe oben) mit einem lokalen Entropiemaximum hergestellt. Für den weiteren Unterschied zwischen lebender und toter Materie sei wieder auf Brillouin verwiesen.

5.9. Was ist Information wirklich? Ein Gegenbeispiel

Brillouin (in Leff & Rex) verdanken wir ein hübsches Beispiel dafür, dass der hier gleichbedeutend mit negativer Entropie definierte physikalische Informationsbegriff viel enger ist als „Information“ im gewöhnlichen Leben.

Nehmen Sie eine aktuelle Ausgabe der „New York Times“, das Buch „Cybernetics“ von Wiener, und eine gleich schwere Menge von beschriebenen Abfallpapier. Alle drei Stücke enthalten die gleiche Menge von physikalischer Information (unter der Annahme, dass die Ausgabe der New York Times gleich schwer ist wie Wieners Buch). Für einen intelligenten Leser ist die Information in allen drei Stücken jedoch völlig verschieden. Das Abfallpapier liefert überhaupt keine Information. Der normale gebildete Leser wird die Zeitung am informativsten finden; der Mathematiker wird das Buch von Norbert Wiener vorziehen.

Hier können wir zur „Sprache des Lebens“ noch etwas sagen. Es scheint nämlich, dass wir es hier mit Information auf einem anderen Niveau zu tun haben. Es ist wohl so, dass das Abfallpapier und eine Enzyklopädie dieselbe Menge an Information enthalten, aber die *Informationsqualität* ist doch wesentlich höher im zweiten Fall. Letztere kann man wohl nicht so leicht messen; die Autoren wissen nicht, ob es dafür eine Größe gibt. Was wir sagen wollen: Die „Morsezeichen“ (Triplets) von 2 DNA-Sequenzen hätten den gleichen Informationsmenge, wenn sie nicht-repetitive Sequenzen enthielten, aber die Informationsqualität ist verschieden, je nachdem ob ein dadurch geschriebenes *Peptid* (Teil eines Proteins) eine Funktion hat oder nicht. Die Morsezeichen werden dann in Buchstaben übersetzt, die einen sinnvollen Text (Proteine) ergeben können oder auch nicht. Auch wenn die Informationsmenge bei:

AM ANFANG WAR DAS WORT und
MA GFANAN WRA DAS ROWT

gleich ist, so ist doch die Informationsqualität im 1. Satz höher.

5.10. Prigogine: Ordnung aus Chaos?

Im Buch „Order out of Chaos“⁴⁹ wird die Biosphäre als System aufgefasst, das sowohl als Ganzes, als auch in seinen Komponenten, seien sie nun lebendig oder tot, *sehr weit vom thermodynamischen Gleichgewicht entfernt* ist. In solchen Systemen, weit außerhalb des natürlichen Gleichgewichts, erscheint Leben als die höchste Ausdrucksform der auftretenden Selbstorganisations-Prozesse. Wir lesen von Ordnung durch Fluktuation, von struktureller Stabilität und von evolutionärem Feedback.

Der Begriff der Selbstorganisation ist wesentlich nichtlinear; er ist erst durch die Mathematik nichtlinearer Prozesse, die „Chaostheorie“, möglich geworden. Wir leben in einer offenen Welt.

Bemerkung

Es gibt hier also mehrere verschiedene Ansichten von hohem Niveau, die das Problem von allen Seiten beleuchten, und es wäre eine Anmaßung der Autoren, sich definitiv für eine spezielle Ansicht zu entscheiden.

5.11. Entstehung des Lebens

In einer klassischen Definition der Biologie sagt John Maynard: „*Evolution ist die Idee, dass alle existierenden Tiere und Pflanzen von einem ersten Ur-Vorfahren vor vielen Millionen Jahren oder zumindest von einer kleinen Zahl von Ur-Vorfahren vor vielen Millionen Jahren abstammen*“.⁵⁰ Die Evolution könnte also diese(n) Urvorfahren(n) als gegeben voraussetzen. Trotzdem drängt sich die Frage auf, wie eine solche Urvorfahren aus unbelebter Materie entstanden sein könnte.

Nach einer Anregung von Harold Urey führte Stanley Miller 1953 ein grundlegendes Experiment durch. Seine Apparatur bestand aus zwei Glasflaschen, die durch Glasröhren miteinander verbunden waren. In diese Apparatur füllte er ein Gemisch aus Wasser, Ammoniak und Methan, das die

⁴⁹ Ilya Prigogine (Nobelpreis 1977) und Isabelle Stengers, *Order out of Chaos*, Fontana Paperbacks, London (1984), S. 175-176

⁵⁰ Mark Ridley, *Evolution*, zitiert nach <http://www.blackwellpublishing.com/ridley/a-z/Evolution.asp>

ursprüngliche Atmosphäre (die „Ursuppe“) nachahmen sollte. Unter eine dieser Flaschen stellte er einen Bunsenbrenner. Er brachte Wasser dort zum Sieden und drückte den Wasserdampf, zusammen mit den anderen Gasen in die andere Flasche. Dort erlitt das Gasgemisch einen Blitzschlag in Form eines elektrischen Funkens von 60000 Volt. Der Inhalt zirkulierte durch den Apparat und erhielt jedes Mal einen neuen Blitzschlag. Im Weg war eine Kühlvorrichtung eingebaut, die eine Falle enthielt, welche bei diesen Operationen erzeugte größere Moleküle sammelte. Nach einer Woche brach Miller diese Operation ab und analysierte die neu entstandene Mischung.

Es waren Aminosäuren dabei, aus denen die Proteine bestehen. Aber keine Proteine als solche, weil die Ketten unter diesen experimentellen Bedingungen rascher zerfallen würden, als sie sich bilden könnten. (Miller selbst wies darauf später einmal hin.) Es war ein ermutigendes Experiment, jedoch bei weitem noch nicht eine Erklärung der Entstehung des Lebens. Zwar wurden seither bedeutende experimentelle Fortschritte erzielt, doch ein umfassendes Modell zur Entstehung des Lebens gibt es auch heute noch nicht. Hypothesen sprechen jetzt von RNA-Welten und selbst-organisierenden metabolischen Netzwerken. Manfred Eigen und Peter Schuster entwickelten die interessante Theorie der Hyperzyklen.

Für den Nichtbiologen ist die weitaus beste Einführung das Buch von Freeman Dyson, „Origins of life“⁵¹. Er bezieht sich direkt auf Schrödingers grundlegendes Buch und führt es gewissermaßen in Richtung „Entstehung des Lebens“ weiter. Von größtem allgemeinem Interesse ist gleich das 1. Kapitel. Dyson stellte dort klar die beiden für die Evolution wichtigsten Aspekte des Lebens gegenüber: *Reproduktion* und *Replikation*. *Reproduktion* ist eine Funktion des Stoffwechsels (*Metabolismus*), der wesentlich eine Funktion der Proteinstruktur ist. Für eine Zelle bedeutet *Reproduktion* einfach die Teilung der Zelle in zwei Tochterzellen, die beide die Eigenschaften der Mutterzelle erben. Zellteilung ist ein Vorgang des *Metabolismus* und ist auch ohne Steuerung durch eine genetische Struktur möglich. Hingegen ist *Replikation* eine Kopierung der genetischen Struktur, also der DNA- oder RNA-Moleküle. „Zellen können sich reproduzieren, aber nur Moleküle können sich replizieren“ (Dyson).

⁵¹ Freeman Dyson, *Origins of Life*, 2nd ed., Cambridge University Press (1999)

Der Theoretiker der modernen Rechenautomaten, Johann von Neumann, machte 1948 einen wesentlichen Unterschied, der später als „Hardware“ und „Software“ grundlegende Bedeutung erlangte. Dieses Modell wurde später sehr populär und, zu Recht oder Unrecht, auch auf biologische Vorgänge und sogar auf das Zusammenwirken von Gehirn und Denken angewendet. So könnte man auch sagen, die Hardware entspreche hier der Proteinstruktur, die steuernde Software der DNA- oder RNA-Struktur. Ein hervorragendes Beispiel einer „softwareartigen“ biochemischen Struktur sind die *Viren*, die nur aus DNA oder RNA, bestehen, also im Wesentlichen ohne Proteine sind. Sie sind gewissermaßen Programme ohne Computer; deshalb kann man sie noch nicht als Lebewesen bezeichnen. Um sich zu replizieren, müssen die Viren in eine Wirtszelle eindringen („Programm sucht Computer“) und sich deren Proteine als Katalysatoren bedienen, die sie letztlich beschädigen oder zerstören können. So kann man sich auch die Wirkungsweise vieler Viren als Krankheitserreger vorstellen.

5.12. Was kam zuerst, DNA (RNA) oder Proteine?

Das ist noch nicht bekannt. Manfred Eigen und Lesley Orgel forschten in Richtung einer RNA-Welt, mit RNA als Mittler zwischen DNA und Proteinen. Andere meinen, Proteinstrukturen kämen zuerst und erhielten ihre genetische Struktur von außen, durch eine Art von gutartigen Viren, die sich permanent symbiotisch zu einer Zelle organisierten. Eine weitere Möglichkeit ist die gemeinsame Entstehung von genetischen und metabolischen Strukturen, die „double origin hypothesis“. All das hat Dyson klar dargestellt. Ebenfalls klar lesbar und gewissermaßen komplementär zu Dyson ist die moderne Darstellung eines Insiders, Robert Hazen⁵². Siehe auch Albrecht Moritz⁵³.

⁵² Robert M. Hazen, *Genesis: The Scientific Quest for Life's Origin*, Joseph Henry Press (an Imprint of the National Academy Press), Washington, DC (2005)

⁵³ Albrecht Moritz, *The origin of life*, The TalkOrigins Archive, Internet 2006

6. Kausalität und Teleologie

6.1. Teleologie und Regelungstechnik

In der Umgangssprache reden wir von *Ursache* und *Wirkung*. In der klassischen Physik wird dies präzisiert durch Differentialgleichungen, die aus den Anfangswerten das spätere Verhalten des Systems genau bestimmen (*Determinismus*).

Aristoteles nennt dies *causa efficiens*, deswegen spricht man auch heute noch von Kausalität (siehe Abschnitt 1.2.). Er kennt daneben aber auch eine *causa finalis*. Hier bestimmt ein in der Zukunft vorgegebenes Ziel oder Zweck (griechisch *telos*, lateinisch *finis*) ein Geschehen in der Gegenwart; man spricht von *Teleologie* oder *Finalität*.

Ein erstes Beispiel: Ein Student lernt, um eine bevorstehende Prüfung gut zu bestehen. Seine gegenwärtigen, durchaus kausalen, Handlungen werden also durch das übergeordnete Ziel des erfolgreichen Bestehens der Prüfung bestimmt, die zu diesem Ziel führen: z. B. eifriges systematisches Lernen. Fast alle Nebensätze mit „um zu“ oder „damit“ drücken finale Motive aus.

Wegen der großen Erfolge der klassischen Mechanik und des damit verbundenen gewaltigen technischen Fortschritts galt nur die Kausalität der *causa efficiens* als wissenschaftlich. Finales Denken kam als „idealistisch“, „philosophisch“ oder „religiös“ etwas in Misskredit. Dies zeigt sich besonders deutlich in der Biologie.

Anders gefragt: kommen wir ohne Erklärung für „um zu“ wirklich aus?

Um diese Begriffe zu „entmythologisieren“, wollen wir ganz nüchtern einige Begriffe der Regeltechnik erklären, die ein wichtiges Gebiet der Ingenieurwissenschaften ist. Das Schulbeispiel ist der *Thermostat*, der in jeder Klimaanlage im Haus oder im Auto am Werk ist. Stellt man den Thermostaten z. B. auf 22 Grad, dann ist diese Einstellung keine direkte *causa efficiens*, sondern setzt einen physikalischen Regelungsmechanismus in Gang, um die gewünschte Temperatur von 22 Grad zu erzeugen und konstant zu halten, unabhängig von der Ausgangstemperatur.

Die Details eines Thermostaten sind relativ einfach. Vor allem aber braucht sich der Benutzer nicht darum zu kümmern, und auch in unserem Zusammenhang sind die Details unwesentlich. Ähnlich funktioniert der

Tempomat im Auto, der es gestattet, eine eingestellte Geschwindigkeit konstant beizubehalten. Allgemein bekannt sind auch Servomechanismen (z. B. Servolenkung oder Servobremsen im Auto), die als „Servo-Verstärker“ der Lenk- bzw. Bremswirkung dienen.

In den allgemeinen Sprachgebrauch übergegangen sind auch Stichworte wie *Rückkopplung* (neudeutsch „*Feedback*“), die in der Regelungstechnik eine grundlegende Rolle spielen, oder *Kybernetik* als Anwendung der Regelungstechnik.

Positives Feedback bedeutet Verstärkung, negatives Feedback wird zur Stabilisierung verwendet.⁵⁴

Dies lässt sich auch auf „teleologische Systeme“ in der Biologie anwenden. Ähnlich wie im physikalische Beispiel des Thermostaten geschieht auch die Regelung und Konstanthaltung der Körpertemperatur in einem Säugetier, unabhängig von der Außentemperatur, durch einen ähnlichen Mechanismus, die *Homöostase*.

Wir finden in Lebewesen *verschiedene Arten von teleologischer Zielgerichtetheit*:

- (1) Erhalten eines Zustandes im Sinne eines Regelkreises (Physiologie und Zellbiologie),
- (2) Ausrichtung auf ein Ereignis in der Zukunft ([a] Ontogenese: Ablauf des Entwicklungsprogramms vom Embryo zum Menschen, vom Raupe über die Puppe zum Schmetterling; vom Apfelkern zum Apfelbaum; [b] Verhalten: Jagd auf Beute, Bau des Spinnennetzes, Wanderung der Lachse) oder
- (3) Ausrichtung auf einen Ziel außerhalb des eigenen Organismus (Symbiose, Ökosysteme).

6.2. Evolution und Teleonomie

Wirkt die natürliche Selektion nun wirklich auf ein Ziel (griechisch: *telos*) ausgerichtet? Obgleich „das Überleben des Tüchtigsten („*survival of the fittest*“ im Kampf ums Dasein) ein zielgerichtetes, teleologisches Konzept ist, meinen viele Evolutionsbiologen, die Teleologie sei hier nur

⁵⁴ Mehr über diese Fragen findet man in SMU, S. 159-165. Eine umfassende moderne Darstellung bietet Eduardo D. Sontag, *Molecular systems biology and control*, Eur J Control (2005); 11: 396-435 (auch als PDF im Internet).

scheinbar, und müsse rein mechanistisch und kausal erklärt werden. Um den doch sehr anschaulichen und nützlichen Begriff der Teleologie zu retten, führte Pittendrigh 1958 den Begriff der „Teleonomie“ (*telos* = Ziel; *nomos* = Gesetz, Norm) ein, der dann auch von Jacques Monod, Ernst Mayr und anderen aufgegriffen wurde. Das Wort Teleonomie deutet an, dass ein „Projekt“ oder „Programm“ in den Gen-Molekülen eingeschrieben ist, das die scheinbar zielgerichtete *Anpassung* an geänderte Umweltbedingungen durch Selektion ermöglicht. Im Kleinen mag hier durchaus das Ziel klar sein: Wenn sich die Umweltbedingungen ändern, etwa bei Bakterienkolonien, denen ein Antibiotikum hinzugefügt wird, entwickeln sich resistente Bakterienstämme durch Anpassung. Das Anpassungs-„Programm“ ist also zufällige Mutation zusammen mit Darwinscher Auslese. In großen Maßstäben wie bei der Eroberung und Besiedlung neuer Lebensräume etwa, ist das Evolutionsgeschehen zwar gerichtet, aber nicht auf ein ein-eindeutiges Ziel hin, und auch nicht von einem Ziel erklärbar, wie dies bei Regelkreisen möglich ist.

In der Folge wird er von einigen verwendet, um die Zweckmäßigkeit der Strukturen und Funktionen und des Verhaltens von Organismen durch evolutionäre Anpassung aufgrund von natürlicher Auslese zu erklären und so die Teleologie gleichsam „abzuschaffen“⁵⁵. Es lohnt sich, Monod selbst sprechen zu lassen:

„[Es ist] eine fundamentale Eigenschaft, die für alle Lebewesen ohne Ausnahme gilt, nämlich jene, *Objekte zu sein, die Träger eines Projekts sind*, welches sie gleichzeitig in ihren Strukturen ausdrücken und in ihren Leistungen zeigen. [...] Wir können diesen Gedanken nicht leugnen (obwohl gewisse Biologen es versucht haben), im Gegenteil, wir müssen ihn notwendigerweise als wesentlich für die Definition der Lebewesen anerkennen. Wir werden sagen, dass die Lebewesen sich von allen anderen Strukturen in allen Systemen, die im Universum vorhanden sind, durch diese [Pro-

⁵⁵ Hier sei verwiesen auf die Beleuchtung der historischen Entwicklung des Teleonomie-Begriffes in: Tauber A. I., *Ecology and the Claims for a Science-based Ethics* (Appendix: – *From Teleology to Teleonomy*), in: Cohen R. S., Tauber A. I. (eds.), *Philosophies of Nature: The Human Dimension*, Kluwer Academic Publishers (1998), pp. 185-206

jekts-Eigenschaft unterscheiden. Diese Eigenschaft werden wir *Teleonomie* nennen.“⁵⁶

Als Beispiel diene „*Teleonomie und Eisenbahnfahrpläne*“: Wir wollen mit der Eisenbahn von Graz nach Wien fahren. Wir haben einen Fahrplan, dem zufolge wir 20:02 Uhr in Wien ankommen, wenn wir um 17:26 in Graz abfahren. Nach den Gesetzen der klassischen Mechanik ist die Fahrt völlig von Geschwindigkeit und Beschleunigung des Zuges abhängig, zumindest bei der einfachsten geradlinig-gleichförmigen Bewegung. Allgemeiner müssen wir noch die Bahnform (kurvig, steigend, abwärts; man denke nur an den Semmering), aber auch den Halt in Stationen oder Umsteigevorgänge berücksichtigen. Das benötigt ein spezifisches Programm (siehe oben). Wird dieses eingegeben, mit entsprechenden Werten, so wird im Normalfall der Zug pünktlich um 20:02 am Wiener Südbahnhof ankommen. Das Ziel ist nicht im Zug und der Bahnstrecke vorgegeben, wohl aber im Kopf des Lokomotivführers und des Passagiers.

Und es ist keineswegs so, dass die Ankunftszeit und der Zielbahnhof eine übernatürliche Zielwirkung in Form einer *causa finalis* auf den Zug ausübt. Und doch hat die Zielzeit eine Wirkung, nicht unähnlich der am Thermostaten eingestellten Temperatur. Diese „finale“ Wirkung ist durch eine präzise Einstellung der Bahnparameter möglich. Kleine Abweichungen werden händisch vom Lokomotivführer korrigiert, aber im Prinzip geht es auch vollautomatisch.

Evolution können wir uns nun ein wenig anders vorstellen: ich besteige einen Zug um circa halb sechs am Abend in nördlicher Richtung, steige in Bruck einmal um und fahre einige Stunden: dann befinden wir uns in Wien, Linz oder sogar Klagenfurt: vielleicht eine originelle, aber durchaus nachvollziehbare Art, Städtetourismus zu betreiben; einmal in Wien angekommen, kann ich jedoch nicht sagen, dass es mein Ziel war, nach Wien zu fahren!

⁵⁶ Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité: Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Editions du Seuil, Paris (1970). – Das Zitat stammt von S. 22 und wurde von H. M. übersetzt.

6.3. Die Pinguine und das Eis

Warum bleiben Pinguine nicht am Eis kleben?

Kausal-mechanistisch geantwortet: „Ihre Füße sind – wie die aller Vögel – von einem so genannten ‚Wundernetz‘ umgeben, das aus sehr vielen Blutbahnen besteht. Der Blutstrom, der vom Körper in Richtung Füße fließt, ist warm, jener, der wieder in Richtung Körper hinauf fließt, ist kalt. Diese kalten und warmen Blutbahnen liegen so dicht beisammen, dass sie Kälte und Wärme miteinander austauschen.“ *Teleologisch* geantwortet: „Die Temperatur von Pinguin-Füßen liegt von Natur aus nur knapp über dem Gefrierpunkt. Dies muss so sein, denn warme Füße würden in einer eisigen Gegend wie der Antarktis den Verlust wertvoller Energie bedeuten und zudem das Eis schmelzen, so dass der Pinguin daran kleben oder darin einsinken würde.“

Und *teleonomisch* geantwortet: „Aufgrund des starken und über lange Zeit hinwegdauernden Selektionsdruckes waren Organismen mit kalten Füßen evolutionär begünstigt, in den eisigen Gebieten der Antarktis zu überleben“.⁵⁷

6.4. Teleonomie und Teleologie

Es gibt eine Art „Teleophobie“ von „Mainstream-Biologen“, die die Finalität als unwissenschaftlich abtun. Nur Kausalität sei wissenschaftlich.

⁵⁷ nach: Harald Schwammer (Zoologe, Tierpark Schönbrunn), *Wissenswert, die Frage der Woche*, Die Presse, online Ausgabe, gefunden Feb. 2006.

Frage: Warum bekommen Pinguine auf ihrem Weg über das Eis keine kalten Füße? Und warum bleiben sie nicht am Eis kleben?

Antwort: Die Temperatur von Pinguin-Füßen liegt von Natur aus nur knapp über dem Gefrierpunkt. Das Gefühl, „kalte Füße“ zu haben, kennen diese Tiere daher nicht, obwohl ihre Körpertemperatur bei 40 Grad liegt. Ihre Füße sind – wie die aller Vögel – von einem so genannten „Wundernetz“ umgeben, das aus sehr vielen Blutbahnen besteht. Der Blutstrom, der vom Körper in Richtung Füße fließt, ist warm, jener, der wieder in Richtung Körper hinauf fließt, ist kalt. Diese kalten und warmen Blutbahnen liegen so dicht beisammen, dass sie Kälte und Wärme miteinander austauschen. So wird das kalte Blut aus den Füßen auf dem Weg nach oben aufgewärmt und das warme Blut aus dem Körper kommt kalt in den Füßen an. Die Pinguin-Füße müssen aus zwei Gründen kalt sein: Erstens würden warme Füße in einer eisigen Gegend wie der Antarktis den Verlust wertvoller Energie bedeuten. Zweitens verhindern sie, dass der Pinguin das Eis zum Schmelzen bringt und daran kleben bleibt. Pinguine in wärmeren Regionen – etwa auf den Galapagos-Inseln – sind nicht auf dieses ausgeklügelte System angewiesen. Ihre Füße sind daher weitaus wärmer.

Selbst bei kausaler Betrachtung eines Thermostaten muss man jedoch von Regelkreisen sprechen, von negativem Feedback, von Differentialgleichungen für gedämpfte Schwingungen, von Vergleichern, Signalverstärkern und Stellmotoren... und das Zimmer wird trotzdem nicht warm, weil man vergessen hat, die Temperatur einzustellen!

Im Übrigen ist es auch in der mathematischen Physik manchmal sehr bequem, „finale Minimalprinzipien“ zur Formulierung und numerischen Lösung von rein kausal-deterministischen Problemen zu verwenden. Solche Minimalprinzipien gibt es in der klassischen Mechanik (Euler – Maupertuis), aber auch in der allgemeinen Relativitätstheorie (Einstein – Hilbert) und noch in vielen anderen Fällen. Also auch in der Physik ist der Unterschied Kausalität – Finalität keineswegs absolut⁵⁸.

Es gibt daher durchaus verschiedene Meinungen und Terminologien, wie bei jedem so komplexen Gebiet. Unserer Meinung nach ist es auch eine Frage der Zweckmäßigkeit, ob man etwas als „kausal“ oder „final“ erklären will. In der Physik ist es meist zweckmäßig und natürlich, die kausalen Differentialgleichungen zu lösen. In der Biologie sind finale Betrachtungen vielfach näher liegend, „natürlicher“ oder sogar ganz wesentlich. Ein weitblickender Naturwissenschaftler mag ruhig mit einem gewissen Opportunismus jene Betrachtungsweise vorziehen, die ihm oder ihr am günstigsten erscheint. Zur Illustration: Vortragende über Evolution sagen oft spontan Sätze wie: „Hier hat sich die Evolution (oder die Natur) einer besonders klugen Strategie bedient, um dieses oder jenes Ziel zu erreichen.“ Darauf angesprochen, dass das teleologisch klinge, werden sie verlegen oder, gefasster, werden sagen: „Ich könnte Ihnen ja die kausale Strategie darlegen, aber das würde viel zu lange dauern.“ oder aber: „Das ist nicht Teleologie, sondern Teleonomie.“

Auch wenn auf die Entwicklungsgeschichte der Begriff der Teleologie nicht angewendet werden kann (oder soll), kann die Teleologie in der Natur doch nicht abgeschafft werden. Weizsäcker sagt treffend:

„Die modernen Biologen vermeiden das Wort Finalität, weil sie die metaphysische Hypothese einer zwecksetzenden Absicht vermeiden wollen, und damit haben sie sicher recht. Aber wenn sie

⁵⁸ Mehr darüber würde uns zu weit führen, zumal wir hierfür auf SMU, S. 78-79 und 165 verweisen können.

von „Funktion“ oder dem „Gebrauch“ eines Organs sprechen, so beschreiben sie genau das Phänomen, das der Aristotelische Begriff der *causa finalis* meinte. Könnten wir uns so auf reine Phänomenologie beschränken, dann gebe es keinen Konflikt zwischen kausaler und finaler Erklärung; es wäre sinnlos, sie gegeneinander auszuspielen.⁵⁹

Noch ein abschließendes Wort der Vorsicht: Wir empfinden die Zielgerichtetheit als etwas Sinnvolles. Ist aber *telos*, „Zweck“, „Ziel“ auch immer gleichzusetzen mit „Sinn“? Nicht immer, vor allem nicht dort, wo es zu einer Änderung des Zieles kommt: Jede Zelle ist eingebunden in ein Ganzes und unterliegt, gesteuert durch Regelkreise im Innern der Zelle und ihrer unmittelbaren und fernerer Umgebung, einem Kreislauf von der Entstehung, der Teilung bis hin zum Zelltod. Wenn nun einzelne Zellen, bedingt durch Mutationen, sich gleichsam aus diesem Regelwerk befreien und, ihren Charakter ändernd, sich ungehemmt teilen, ihr eigenes Wachstum durch bessere Versorgung mit Sauerstoff und Nährstoffen (Angiogenese) fördern, und ihre Oberfläche „maskieren“, um ungehindert auch in andere Organe auszuwandern und sich auch dort zu vermehren, ist ein *Krebs* entstanden, der jedoch, je effizienter er sein „Ziel“ verfolgt, desto rascher den ganzen Organismus und damit auch sich selbst vernichtet.

⁵⁹ Carl Friedrich von Weizsäcker, *Die Tragweite der Wissenschaft*, Hirzel, Stuttgart (1964), 8. Vorlesung, „*Die Entwicklung des Lebens*“

7. Abschließende Gedanken

7.1 Allgemeines

Die experimentellen Daten für die Evolution sind klar:

- „Phylogenetischer Baum“(siehe Abschnitt 4.1.).
- Paläontologie
- Genetik
- biologisch-chemische Experimente im Labor (Mikroevolution)

Evolution als Faktum und als Theorie

Viele Kontroversen lassen sich durch die „Janusköpfigkeit“ der Evolution verstehen:

- Das „*dass*“ der Evolution ist eine *historisch-paläontologische Tatsache*, die heute wohl außer Zweifel steht.
- Das „*wie*“ der Evolution ist eine Theorie, wenn auch eine sehr wohl-begründete. Die moderne *Mikroevolution* und Biochemie liefern eine *überzeugend einfache Theorie*, die auf diskreten kristallähnlichen dreidimensionalen genetischen Strukturen und verhältnismäßig einfachen Wechselwirkungen wie dem „zentralen Dogma der Molekularbiologie“, DNA → RNA → Proteine, beruht. (Dieses Dogma gilt freilich nicht absolut!) Die Mikroevolution ist eine Naturwissenschaft wie Physik und Chemie, die durch Laborversuche gestützt und durch die Theorie erklärt wird. Sie unterliegt, wie andere Naturgesetze, der Verifikation oder Falsifikation im Sinne Poppers ... Wir haben es in der Entwicklungsgeschichte des Lebens jedoch mit sehr langen Zeiträumen zu tun, die sich dem experimentellen Zugriff entziehen. Auch wenn viele Evolutionstheoretiker davon ausgehen, dass die Makroevolution durch fortlaufende Integration von mikroevolutiven Vorgängen entstanden ist, so scheinen sich „evolutionäre Neuheiten“ („*evolutionary novelties*“) nicht einfach durch graduelle Veränderungen beschreiben zu lassen.

Es wäre unfair, von der Biologie das Gleiche zu verlangen wie für eine physikalische Theorie: unbeschränkte Wiederholbarkeit der Experimente mit quantitativ gleichen Ergebnissen, denn die Biologie ist auch eine *his-*

torische Wissenschaft, für welche die naturwissenschaftlichen Kriterien der Wiederholbarkeit, Verifikation und Falsifikation nicht ohne Weiteres anwendbar sind: man kann heute nicht noch einmal Hannibal mit Elefanten die Alpen überqueren lassen. Wegen der großen Komplexität der biologischen Systeme sind ihre mathematische Durchdringung viel schwieriger und ihre Genauigkeit daher geringer als etwa in der Physik, aber ihre praktische Bedeutung ist mindestens ebenso groß.

Nun haben wir aber im Abschnitt 3.4. gesehen, dass es auch in Physik und Chemie so etwas wie eine „historische Entwicklung“ gibt: Hand in Hand mit der Entwicklung der Universums in der Astrophysik gibt es auch eine Entwicklung der chemischen Elemente: vom Wasserstoff bis zu den schweren Elementen mit hohen Atomgewichten wie Eisen oder Gold. Auch hier gibt es eine Entwicklung vom „Urknall“ zu Galaxien, Sonnen und Planeten. Damit sich menschenähnliche Lebewesen entwickeln können, müssen gewisse fundamentale physikalische Konstanten recht eng bestimmte Zahlenwerte haben (Abschn. 3.4., „anthropisches Prinzip“; Martin Rees: *Just six numbers*).

Also haben wir die historische Reihe: Urknall, Entwicklung des Universums und der chemischen Elemente, Entwicklung des Lebens, Entstehung und Geschichte des Menschen, kulturelle Entwicklung ... Eine weitere Entwicklung der Menschheit kann nicht mehr ausschließlich biologisch erfolgen, sondern ist vor allem technologisch und hoffentlich auch ethisch, und Gefahren drohen von allen Seiten. Kann Evolution eine wertfreie, aber auch wertblinde Wissenschaft sein?

Darwin und Newton

Vor 100 Jahren schien alles auf die klassische Mechanik reduzierbar: Thermodynamik (Wärmelehre) ist „statistische Mechanik“: Wärme ist die kinetische Energie der unregelmäßig tanzenden Bewegung unzähliger Luftteilchen, Akustik ist die Wellenbewegung der Luft usw. Nur die Maxwellsche Theorie des Elektromagnetismus wollte nicht recht in dieses einfache Bild passen, so wie auch die drei von Einstein im „annus mirabilis“ 1905 veröffentlichten Erscheinungen: die Quantentheorie des Lichts, die Brownsche Bewegung kleiner Teilchen in einer Flüssigkeit und die jeder physikalischen Intuition widersprechende Konstanz der Lichtgeschwindigkeit in gegeneinander bewegten Bezugssystemen.

Noch konnte man sich mit kleinen Ad-hoc-Korrekturen der klassischen Physik zufrieden geben, aber bald entwickelten große Physiker wie Einstein, Schrödinger und Heisenberg umfassende revolutionäre Theorien wie die Relativitätstheorie und die Quantentheorie. Diese Theorien waren für den Fachmann mathematisch und logisch einfach, elegant und letztlich natürlich, wemgleich die Nicht-Fachleute sie unverständlich und dem „gesunden Menschenverstand widersprechend“ finden. Die neuen Theorien erklärten nicht nur bisher unerklärte Phänomene wie die Atomstruktur in natürlicher Weise, sondern sie führten auch zur Entdeckung ganz neuer Phänomene wie des Aufbaus der Elementarteilchen (Elektronen, Protonen, Neutronen) und zur Entdeckung ganz neuer Pseudoteilchen wie der Quarks.

Heute scheinen wir in der Biologie eine ähnliche Situation wie in der Physik vor 100 Jahren zu haben. Die großen Erfolge der Darwinschen Evolutionstheorie und der biochemischen Genetik (man denke nur an DNA (ein „aperiodischer Kristall“ im Sinne Schrödingers, RNA und den genetischen Code) sind beeindruckend und unbezweifelbar. Die Situation ist aber doch noch recht kompliziert. Die entsprechende Mathematik ist vermutlich eine nichtlineare Theorie der komplexen Systeme, die aber erst in Entwicklung begriffen ist. Verfeinerte Theorien der Evolution werden aber gewiss auf Darwin aufbauen, ebenso wie Relativität und Quantentheorie auf der Newtonschen Theorie aufbauen, sie aber verfeinern.

7.2. Nochmals zum Reduktionismus

Der Reduktionismus besagt, dass sich alle biologische Strukturen durch Physik und Chemie erklären lassen. Die Bedeutung des Reduktionismus als Forschungsprogramm (und als Voraussetzung für die erfolgreiche Beantragung von Forschungsprojekten) ist außer Streit, nicht aber seine Bedeutung als letzte Erklärung: Leben sei nichts als Physik + Chemie.

Dies führt zu großen Kontroversen über die Berechtigung der Reduktionismus als letztes erklärendes Prinzip, besonders bei den theoretischen Physikern. Einen sehr guten Einblick gibt das Buch von Küppers⁶⁰ mit Beiträgen der bedeutendsten Physiker und Chemiker des vorigen Jahrhunderts. Während die Biologen oft ein rührendes Vertrauen zur elementaren Physik haben,

⁶⁰ Berndt-Olaf Küppers (Hrsg.), *Leben = Physik + Chemie?*, Piper, München 1987.

stehen die Physiker ihrer eigenen Wissenschaft viel skeptischer gegenüber, denn sie wissen um die großen Schwierigkeiten der modernen Physik.

Schreibt man die „reduktionistische Grundgleichung“

$$\text{Leben} = \text{Physik} + \text{Chemie}$$

an, so muss man zumindest die Quantentheorie und die Informationstheorie einbeziehen⁶¹, aber es besteht überhaupt Zweifel, ob der Reduktionismus der Wahrheit letzter Schluss sei.

Als Arbeitshypothese ja, aber nicht als grundlegende Erklärung. Der einfache Materialismus der Aufklärung ist an den neuen physikalischen Theorien (Relativität und Quantentheorie) völlig gescheitert. Die moderne Physik mit ihren mathematischen Strukturen und die darauf beruhenden philosophischen Deutungen sind unglaublich abstrakt und scheinen oft dem gewöhnlichen Denken unverständlich und widerspruchsvoll. Wie kann ein Teilchen gleichzeitig eine Welle sein? Dieser scheinbare Widerspruch kann nur durch die soeben erwähnte Komplementarität der Quantentheorie, ein dialektisches Phänomen, gelöst werden.

Dem *Reduktionismus* muss man einen *Konstruktivismus* gegenüberstellen, wie der Analyse die Synthese. Mit Philip Anderson muss man sagen: „The ability to reduce everything to simple fundamental laws does not imply the ability to start from these laws and reconstruct the universe“⁶².

Der Reduktionismus projiziert die Biologie auf Chemie und Physik. Im Sinne einer klassischen wissenschaftlichen Disziplin ist das völlig gerechtfertigt. Glücklicherweise brauchen wir nicht die umgekehrte Projektion, von Gesetz zur Natur, durchzuführen. Das wäre wahrlich kaum möglich, denn die heute sehr aktuelle Theorie der inversen Probleme ist eine der schwersten Probleme der zeitgenössischen Mathematik.⁶³

⁶¹ Für die Stabilität der genetischen Strukturen ist die Quantentheorie verantwortlich. Der genetische Code (DNA, RNA usw.) gehört zur Informationstheorie, die wohl ebenfalls über Physik und Chemie hinausgeht.

⁶² Weiteres hinzu findet man ausführlich in SMU, dem auch das vorliegende Zitat entnommen ist (S. 191).

⁶³ Gottfried Anger und Helmut Moritz, *Inverse Problems and Uncertainties in Science and Medicine*, Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, (2003); 61(5): 171-212; siehe auch <http://www.inas.tugraz.at/forschung/InverseProblems/Anger-Moritz.html>

7.3. Der naturwissenschaftliche Glaube

In unserem Leben müssen wir an viele Dinge glauben, auch wenn wir uns dessen nicht bewusst sind. An sie und auch an einige andere muss jeder Naturwissenschaftler glauben, wenn sie ihre Arbeit in intellektueller Redlichkeit machen wollen⁶⁴. Wir geben einige Beispiele ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

1. *Existenz der Außenwelt*. Dies wird eigentlich nur von philosophischen Solipsisten bestritten. Jeder Solipsist glaubt, er allein sei auf der Welt, und alle Vorgänge seien nur sein Traum. Es ist sehr schwer, an den Solipsismus zu glauben, aber noch viel schwerer, ihn zu widerlegen. (Es gibt interessante Gedankenexperimente: Was passiert auf einem Solipsistenkongress?) Der große Philosoph Descartes nahm den Solipsismus sehr ernst und konnte ihn nur durch den Appell an die Güte Gottes widerlegen. Als Wissenschaftler glauben wir natürlich an die Existenz der Außenwelt direkt.

2. *Homogenität der Naturgesetze in Raum und Zeit*. Auf der Erde gelten die gleichen Naturgesetze wie auf dem Sirius und auf der fernsten Galaxie, die gleichen Naturgesetze gelten heute wie vor 10 Milliarden Jahren. Das wird meist unwillkürlich vorausgesetzt, und die Wissenschaftler müssen das im Zweifelsfall voraussetzen, es ist aber vielleicht nur eine ungerechtfertigte Extrapolation!

3. *Die von uns durch Experiment und Theorie gewonnenen Naturgesetze sind eine mehr oder weniger gute Annäherung an die „wirklichen Naturgesetze a priori“*, welche den Weltlauf schon lange vor der Erscheinung des Menschen bestimmt haben. Hoffen wir es!

4. Besonders an den theoretischen Naturwissenschaftler gerichtet: *Warum lässt sich die Mathematik so gut auf die Natur, besonders auf die Physik anwenden, und warum geben vielfach die schönsten und mathematisch einfachsten Gesetze die beste Näherung?* Ist diese „unvernünftige Wirksamkeit der Mathematik in den Naturwissenschaften“, von welcher der Physiker und Nobelpreisträger Wigner sprach, nicht fast ein Wunder? Wigner sagt nicht: „beachtliche“, sondern hart: „unvernünftige“ Aber jeder Wissenschaftler wird daran glauben! Wigner sagt abschließend:

⁶⁴ Es ist wohl klar, dass „wissenschaftlicher Glaube“ hier nichts mit dem christlichen Glauben zu tun hat, eher vielleicht mit Jaspers „philosophischem Glauben“.

„Das Wunder der Angemessenheit der Sprache der Mathematik für die Formulierung der Gesetze der Physik ist ein wunderbares Geschenk, das wir weder verstehen noch verdienen. Wir sollten dafür dankbar sein, und hoffen, dass es auch in der Zukunft gilt.“⁶⁵

5. Es ist unmöglich, naturwissenschaftliche Arbeit zu betreiben, ohne an eine grundsätzliche Ordnung der Natur zu glauben.

7.4. Zur Bedeutung der Philosophie

Die Philosophie hat seit dem griechischen Altertum grundlegende Erkenntnisse hervorgebracht, die oft widersprüchlich und kompliziert anmuten, die man aber nicht einfach vom Tisch fegen kann. Der schon den Vorsokratikern bekannte einfache alltägliche Materialismus, zusammen mit einer im Prinzip absoluten Genauigkeit der Naturgesetze bildet jedenfalls das unterste Niveau, das mit der modernen Physik nicht mehr kompatibel ist.

Nehmen wir als Beispiel die (nur hier so genannte) „Gleichung von Monod“:

$$\text{Evolution} = \text{Zufall} + \text{Notwendigkeit},$$

wobei er unter „Zufall“ die zufällige Mutation und unter „Notwendigkeit“ die natürliche Selektion, allgemeiner die „notwendig geltenden“ Naturgesetze versteht. Stellen wir dagegen den auf der Aristotelischen Philosophie aufbauenden großen mittelalterlichen Philosophen Thomas von Aquin (1225 – 1274):

„Die Wirkung der göttlichen Vorsehung besteht nicht darin allein, dass etwas auf irgendeine Art und Weise erfolgt, sondern darin, dass etwas entweder zufällig (genauer kontingent, Anm. d. Übers.) oder notwendig erfolgt. Darum erfolgt das unfehlbar und notwendig, was die göttliche Vorsehung so fügt, dass es unfehlbar und notwendig sich ereigne, und das erfolgt zufällig, was der Plan

⁶⁵ Eugene Wigner, *The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences*, Communications on Pure and Applied Mathematics, (1960); 13 (Das Zitat wurde von H. M. übersetzt.)

der göttlichen Vorsehung so enthält, dass es zufällig sich ereigne.“
(Summa theologiae, I, 22, 4 ad 1)⁶⁶

Das aber ist die Monod-Gleichung „Evolution = Zufall + Notwendigkeit“ in einem anderen Kontext und auf einem höheren Niveau. „Göttliche Vorsehung“ (divine providence) bedeutet nicht absolute Determiniertheit durch die Naturgesetze im Sinne des Dämons von Laplace, sondern Gott lässt seinen Geschöpfen Freiheit im Rahmen der Naturgesetze und sorgt für sie; sie sind alles andere als Gottes Marionetten. (Siehe auch Abschnitt 3.1. über die prinzipielle Ungenauigkeit der menschlichen Naturgesetze.)

In anderer Formulierung dieses wichtigen Sachverhalts können wir sagen: Ja, Evolution = Zufall + Notwendigkeit, aber Gott ist Herr über die Freiheit und Herr über die Naturgesetze, Herr über den Zufall und Herr über die Notwendigkeit. Gott braucht der Evolution nur die Anfangsbedingung „FÜHRE ZUM MENSCHEN!“ vorzuschreiben, und sich Seines Evolutionsgesetzes zu bedienen, das vom Menschen dann in der gerade modernen Form (als Paradigma im Sinne von Thomas Kuhn⁶⁷) verschieden verstanden, formuliert und interpretiert wird. Und dann kann auch der schöne Satz Anwendung finden, den wir R. Spaemann⁶⁸ verdanken: „Das Ziel ist nicht im abgeschossenen Pfeil, sondern im Geist des Schützen“.

Um Missverständnisse zu vermeiden: wir verwenden hier den philosophischen Gottesbegriff im Sinne des Theismus und sehen das Zitat von Thomas von Aquin als mögliches Beispiel philosophischen Denkens. Damit kommen wir zur Philosophie im Allgemeinen.

⁶⁶ “The effect of divine providence is not only that things should happen somehow, but that they should happen either by necessity or by contingency. Therefore, whatsoever divine providence ordains to happen infallibly and of necessity, happens infallibly and of necessity; and that happens from contingency, which the divine providence conceives to happen from contingency.” – zitiert nach dem grundlegenden vatikanischen Dokument *Communio and Stewardship: Human Persons Created in the Image of God* (am leichtesten mit Google unter „communion stewardship“ suchen.)

⁶⁷ siehe SMU., S. 155

⁶⁸ Robert Spaemann, *Der Gottesbeweis*, Tageszeitung „Die Welt“, 26. 03. 2005. Überhaupt ist das Buch Robert Spaemann und Reinhard Löw, *Die Frage Wozu? Geschichte und Wiederentdeckung des teleologischen Denkens*, Piper (1981) eines der besten Werke auf unserem Gebiet.

Philosophiekenntnisse als Restriktion oder Inspiration für wissenschaftliche Arbeit?

Kein Mensch kommt ohne eine Philosophie aus, die durchaus unbewusst sein kann. Dies ist besonders wichtig für den Wissenschaftler. Dieser philosophische Hintergrund spielt vielleicht eine geringe Rolle im heutigen Wissenschaftsbetrieb für den Spezialisten, der ein vorgegebenes Problem mit vorgegebenen „Mainstream-Methoden“ untersucht. Die großen Neuerer wie Einstein, Schrödinger oder Darwin waren sich ihres philosophischen Hintergrunds und dessen Einflusses auf große wissenschaftliche Entdeckungen jedoch sehr wohl bewusst. Fast alle großen Physiker⁶⁹ schreiben auch über Biologie vielleicht so anregend, weil sie eben nicht dem „Mainstream“ angehören, sondern anregende Ideen aus ihren eigenen, sehr bewussten, eigenständigen und durchaus verschiedenen Philosophien schöpfen.⁷⁰

Nun ist es sicher so, dass der – bewusste oder unbewusste – philosophische Hintergrund keinen *direkten* Einfluss auf die wissenschaftliche Arbeit hat und auch nicht haben darf. Jedoch kann eine Hintergrundphilosophie vielleicht eine neue Forschungsrichtung aufzeigen, die den „Mainstream“ erweitert und befruchtet. Dies ist in der Physik durchaus bewusst der Fall, und auch die Biologie wurde von Denkern wie Schrödinger, Dyson und nicht zuletzt Turing mit sehr eigenwilligen Weltanschauungen beeinflusst.

Es ist schade, dass der Außenstehende gerade von bedeutenden biologischen Wissenschaftlern wie Monod und Dawkins den Eindruck erhält, dass die moderne Evolutionsbiologie „offiziell“ atheistisch-materialistisch sei. Vielfach liegt hier bereits eine unzulässige Grenzüberschreitung vor, die keineswegs notwendig oder gar selbstverständlich ist.

Eine philosophische Grundbildung gehört unserer Meinung nach zur Ausbildung eines jeden Wissenschaftlers. Es ist dann möglich, sich *bewusst* für eine philosophische Lehre zu entscheiden oder ein Spektrum von Möglichkeiten *bewusst* in die eigene Denkweise einfließen zu lassen.⁷¹

⁶⁹ wie Heisenberg, Schrödinger oder Dyson

⁷⁰ H.-P. Dürr (Hrsg.), *Physik und Transzendenz*, Scherz, Bern 1986.

⁷¹ Moderne Meisterwerke über Philosophie und Naturwissenschaft sind Alfred North Whitehead, *Science and the Modern World* (1925, viele Neuauflagen und deutsche Übersetzungen) und Carl Friedrich von Weizsäcker, *Die Tragweite der Wissenschaft*,

Selbstverständlich sind Naturwissenschaft und Philosophie heute getrennt. Trennlinien haben aber auch oft Brücken bildende Funktion.

7.5. Evolution und Religion: ein Versuch einer Grenzüberschreitung

Die biologische Evolution gilt heute als Faktum, das in der Biologie ebenso uneingeschränkt herrscht wie die Newtonsche Mechanik in der klassischen Physik. Sie hat vor allem einen sehr hohen allgemeinen Erklärungswert. Das Bild der Entwicklung von den Mikroorganismen bis zur ganzen Tier- und Pflanzenwelt, ja biologisch bis zum Menschen, ist faszinierend und wird auch genetisch voll bestätigt.

Es handelt sich hier um eine rein geschichtlich-wissenschaftliche Theorie. Richtig interpretiert, steht sie in keinerlei echtem Widerspruch zum biblischen Schöpfungsbericht, der natürlich dem damaligen Weltverständnis der biblischen Autoren entspricht. Wie Carl Friedrich von Weizsäcker betont hat, sind sogar die Übereinstimmungen der Bibel mit der heutigen wissenschaftlichen Weltansicht frappant.⁷² Dabei schließt sich die biologische Evolution nahtlos an die physikalische Evolution des Weltalls vom „Urknall“ vor etwa 15 Milliarden Jahren bis zu den Galaxien, der Sonne und schließlich der Erde (Abschnitt 3.4.).

Monod meint, dass für die Evolution als Naturvorgang kein göttlicher Schöpfer nötig sei. Ebenso hatte Laplace auf die Kritik Napoleons, dass in seinem Buch über Himmelsmechanik Gott nicht vorkomme, mit vollem Recht gesagt: „Sire, ich brauche diese Hypothese nicht“. Er brauchte Gott wirklich nicht, um die mathematischen Gleichungen der Himmelsmechanik von Newtons Gesetzen abzuleiten. Aber Himmelsmechanik ist nicht Alles!

Die Philosophie kann die Existenz Gottes keineswegs so logisch exakt beweisen wie ein mathematisches Theorem, wie wir seit Kants „Kritik der reinen Vernunft“ wissen. (Ebenso wenig können wir aber beweisen, dass Gott nicht existiert!) Der Grund ist einfach der, dass der Begriff Gottes in jeder Hinsicht unendlich ist und sich der beschränkten menschlichen Lo-

Hirzel, Stuttgart 1964. Eine umfassende Darstellung ist *A History of Philosophy* (9 Bände) von Frederick Copleston (1946 – 1975), Search Press, London.

⁷² siehe SMU, S. 272

gik entzieht.⁷³ Der einzige mathematisch-logisch exakte Versuch eines Gottesbeweises ist der ontologische Beweis, er ist aber zweischneidig (Findley 1963).⁷⁴ Gödel hat sich in seinen letzten Jahren einer besonderen, nicht unumstrittenen, logischen Sprache (modale Logik) bedient, um den ontologischen Beweis exakt zu formalisieren.⁷⁵

- Ax 1.** • $\forall x\{[\phi(x) \rightarrow \psi(x)] \wedge P(\phi)\} \rightarrow P(\Psi)$
- Ax 2.** $P(\neg\phi) \leftrightarrow \neg P(\phi)$
- Th 1.** $P(\phi) \rightarrow \diamond \exists x [\phi(x)]$
- Df 1.** $G(x) \leftrightarrow \forall \phi[P(\phi) \rightarrow \phi(x)]$
- Ax 3.** $P(G)$
- Th 2.** $\diamond \exists x G(x)$
- Df 2.** $\phi \text{ ess } x \leftrightarrow \phi(x) \wedge \forall \psi\{\psi(x) \rightarrow \bullet \forall x[\phi(x) \rightarrow \psi(x)]\}$
- Ax 4.** $P(\phi) \rightarrow \bullet P(\phi)$
- Th 3.** $G(x) \rightarrow G \text{ ess } x$
- Df 3.** $E(x) \leftrightarrow \forall \phi[\phi \text{ ess } x \rightarrow \bullet \exists x \phi(x)]$
- Ax 5.** $P(E)$
- Th 4.** • $\exists x G(x)$

Quelle: <http://setlonnert.com/download/texts/godel.html>

In seiner späteren „Kritik der Urteilskraft“ hat Kant aber gezeigt dass, man seine Existenz aus den Schönheiten in Natur und Kunst, und aus der Schönheit der Naturgesetze erahnen könne (siehe auch Abschnitt 3.6.). Damit hat er nur wiederholt, was Philosophen seit Plato und Naturwissenschaftler seit Kepler sagen. Kaum einer der großen Physiker wie Newton, Einstein, Schrödinger oder Heisenberg hätte sich als Atheisten bezeichnet.

⁷³ SMU, S. 271; Helmut Moritz, *Science, religion and tolerance*, in: Wilfried Schröder (Hrsg.), *Natural Science, Philosophy and Religion*, Science Edition, Bremen (2006); im Internet: <http://www.helmut-moritz.at/>.

⁷⁴ Findley J. N., *Language, Mind and Value*, Allen and Unwin, London (1963), Introduction

⁷⁵ Kurt Gödel, *Collected Works: Volume III: Unpublished Essays and Lectures*, ed. Solomon Feferman et al., Oxford University Press Inc, USA, 1995

Der Physiker Walter Thirring schreibt in seinem Buch⁷⁶ mit dem schönen Untertitel „*Gottes Spuren in den Naturgesetzen*“: „Mich hatte immer schon der wunderbare Bauplan des Kosmos mit Ehrfurcht erfüllt. Allerdings ist er in der Sprache der Mathematik festgelegt und den meisten Menschen nicht zugänglich“. Weiters aber lobt er „die Formulierung des von Ludwig van Beethoven so herrlich vertonten Psalms Davids: *Die Himmel rühmen des Ewigen Ehre*“.

Die schönste Antwort auf Monod gab Papst Benedikt XVI. in seinem kleinen Buch⁷⁷. Dort lesen wir: „Wir können nicht sagen: Schöpfung *oder* Evolution. Die richtige Formel muss heißen: Schöpfung *und* Evolution.“

Es wäre Gottes unwürdig, den Kosmos als völlig determinierte Maschine wie eine gigantische Spieleisenbahn à la Laplace, deren Figuren keinerlei Freiheit haben, ablaufen zu lassen (Dies wäre „Vorausbestimmung“ und nicht „Vorsehung“!) Ohne Willensfreiheit könnte der Mensch nicht Ebenbild Gottes sein.⁷⁸

Ein anderes Bild passt vielleicht besser: das prächtige Schauspiel eines Wasserfalls. Im sprühenden Wasserfall unterliegt das Wasser den Gesetzen der Schwerkraft und der Strömungslehre, aber die turbulente Bahn eines Wassertropfens ist nicht völlig determiniert, sondern nur mit den anderen *korreliert*, und jeden Augenblick ist der Wasserfall anders, obwohl die allgemeine Gestalt erhalten bleibt. Das turbulente Wasser unterliegt statistischen Gesetzen (Abschnitt 2.3.). Dieses Wechselspiel von Gesetzmäßigkeit und Zufall macht die Faszination eines Wasserfalls aus.

Beim Abspielen einer Schallplatten-Aufnahme ist die wiedergegebene Musik völlig determiniert. In einem Konzert ist das keineswegs der Fall. Der Dirigent leitet das Orchester jedes Mal anders, getragen von seiner Werksauffassung, aber auch von seiner Spontaneität und von der Stimmung des Publikums und des Orchesters, deren Mitglieder verständnisvoll, aber keineswegs sklavisch dem Dirigenten folgen. Jede gute Aufführung ist gewissermaßen eine Neuschöpfung des aufgeführten Werkes.

⁷⁶ Walter Thirring, *Kosmische Impressionen: Gottes Spuren in den Naturgesetzen*, Molden, Wien (2004), S. 11

⁷⁷ Joseph Cardinal Ratzinger, *Im Anfang schuf Gott. Vier Predigten über Schöpfung und Fall – Konsequenzen des Schöpfungsglaubens*, Johannes Verlag Einsiedeln, Freiburg im Breisgau (Neuauflage 1996), besonders S. 48-49 (ISBN 3-89411-334-6)

⁷⁸ Über Willensfreiheit vgl. SMU, S. 245-251

Gute Eltern sind keineswegs autoritär, sondern versuchen, vor allem durch ihr eigenes Beispiel und Vorbild, die Freiheit und Spontaneität ihrer Kinder in gute Bahnen zu lenken. Vielleicht kann man durch solche Bilder auch das Wirken Gottes in der Evolution verstehen. Gott ist nicht ein Laplacescher Tyrann, sondern der Vater, der jeden von uns liebt. Er handelt nicht wie ein antiker Despot, sondern sozusagen eher wie ein guter Manager. Gott hat ein besonders Naheverhältnis zum Menschen. Gott schuf das „Projekt Mensch“ nach seinem Ebenbild mit allen Rechten und Pflichten, gegenüber den Menschen und gegenüber der Schöpfung allgemein, auch gegenüber Tier und Umwelt. Die biologische Evolution des menschlichen Körpers ist die moderne Formulierung für die biblische Ackererde, aus der die Schöpfung des Menschen als Ebenbild Gottes hervorgeht.⁷⁹

Der Geist des Menschen liegt außerhalb der objektiven Naturwissenschaft.⁸⁰ Er ist definitionsgemäß subjektiv und wird daher eher den Geisteswissenschaften, vor allem der Philosophie und der Theologie, zugeordnet. In einem gewissen Sinn ist der Mensch auch als Endpunkt der Evolution anzusehen, denn die weitere Entwicklung des Menschen ist so rasch, dass sie über wenige Generationen durch technologischen und (hoffentlich) ethischen Fortschritt eher bestimmt sein wird als durch die viel langsamere biologische Evolution.

Natürlich ist Gott in seiner Schöpfung tätig, aber sehr behutsam. Ein schönes Kirchenlied spricht von Gott als „Schöpfer und Erhalter“.

Von der Schöpfung und Evolution in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft sprechen die Naturwissenschaft und die Religion „dialektisch komplementär“, jede auf ihre Art, aber mit gegenseitigem Verständnis und mit Achtung für die jeweilige Eigenart. *Die Philosophie kann dabei als Schnittstelle dienen!*

Die Autoren akzeptieren die *wissenschaftlichen* Ergebnisse der „Mainstream“-Biologie (wie sie von den heute maßgebenden Fachleuten anerkannt werden); sie sind aber vorsichtig gegenüber *außerbiologischen Grenzüberschreitungen* (das gilt auch für unsere eigenen Grenzüberschrei-

⁷⁹ Joseph Cardinal Ratzinger, *Im Anfang schuf Gott. Vier Predigten über Schöpfung und Fall – Konsequenzen des Schöpfungsglaubens*, Johannes Verlag Einsiedeln, Freiburg im Breisgau (Neuausgabe 1996), S. 48-49

⁸⁰ Siehe: Vatican International Theological Commission, *Communion and Stewardship: Human Persons Created in the Image of God*, § 70

tungen in dieser Arbeit!), die sauber über die Philosophie geführt werden sollten. Schematisch haben wir also

Naturwissenschaft ↔ Philosophie ↔ Religion

Um ein Bibelwort abzuändern: „Gebt den Wissenschaftlern, was Aufgabe der Wissenschaft ist, und gebt Gott, was Gottes ist“. Das bedeutet keineswegs, Gott aus der Wissenschaft auszuschließen, aber es bedeutet, Gott nicht als Lückenbüßer für naturwissenschaftliche Wissenslücken zu missbrauchen („*deus ex machina*“, „god of the gaps“). Seit der Zeit Keplers gilt Wissenschaft oft als Erforschung der Schöpfung Gottes mit „natürlichen“ menschlichen Mitteln. Dazu ein Zitat des deutschen Physikers und Philosophen Carl Friedrich von Weizsäcker: „Warum sollte Gott darauf verzichtet haben, die natürlichen Gesetze des Wachstums und der Umwandlung bei der Erschaffung lebender Wesen zu benutzen?“⁸¹

⁸¹ Carl Friedrich von Weizsäcker, *Die Tragweite der Wissenschaft*, Hirzel, Stuttgart (1964), S. 137 (Besonders die 7. Vorlesung, „Die Entwicklung des Lebens“)

Das folgende Gedicht von Rainer-Maria Rilke ist ein guter Abschluss:

Herbst

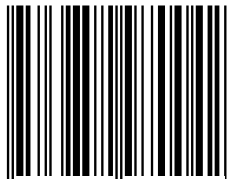
Die Blätter fallen, fallen wie von weit,
als welkten in den Himmeln ferne Gärten;
sie fallen mit verneinender Gebärde.

Und in den Nächten fällt die schwere Erde
aus allen Sternen in die Einsamkeit.

Wir alle fallen. Diese Hand da fällt.
Und sieh dir andre an: es ist in allen.

Und doch ist Einer, welcher dieses Fallen
unendlich sanft in seinen Händen hält.

ISBN 978-3-85297-004-2



9 783852 970042