

Fremde Welten, außerirdisches Leben - Dort, wo nie ein Mensch zuvor gewesen ist

Glubschaugenmonster, E.T.s und andere Kuriositäten in der SF

Triebwerke und Raumschiffe wurden natürlich nicht zum Selbstzweck gebaut, die Menschen wollten damit fremde Sternensysteme mit ihren Planeten kennenlernen, Kolonien gründen und vielleicht auch außerirdischen Lebensformen begegnen.

Zunächst bot unser eigenes Sonnensystem eine weiten Raum für Forschungsflüge. Erstes Objekt der Neugier war natürlich der Mond. In H.G. Wells' „The First Men in the Moon“ (1901) hausten die Mondbewohner, die Seleniten, in Höhlen. In Arthur C. Clarke's Kurzgeschichte „The Sentinel“ (1951, später zu „2001“ verfilmt) wurde ein Monolith auf dem Mond entdeckt, der dort vor Jahrmillionen von einer außerirdischen Intelligenz installiert wurde. In Clifford D. Simak's „The Trouble with Tycho“ (1960) existiert lunares Leben auf der Basis von Energie. Auch Mondkolonien waren ein häufiges Thema der SF-Geschichten. In John W. Campbell's „The Moon is hell“ (1950) kämpfen Mondkolonisten ums Überleben. In Robert A. Heinlein's „The Moon is a harsh Mistress“ (1965) revoltieren die Bewohner einer lunaren Strafkolonie mit Hilfe eines Computers gegen die Erde. Spätestens seit den Apollo-Missionen nahm der Reiz einer Reise zum Mond jedoch ab, zumal die kraterübersäte Oberfläche der Entstehung von Leben keine Chance ließ.

Auch der Mars beflügelte schon früh die Phantasie der Menschen. Als der italienische Astronom Schiaparelli 1877 Marskanäle entdeckt zu haben glaubte, schien die Existenz von grünen Marsmännchen gesichert. H.G. Wells beschrieb in „The War of the Worlds“ (1897) eine Invasion durch monströse Marsmenschen. Auch in Edgar Rice Burrough's „Under the Moons of Mars“ (1912) trug der Rote Planet vielfältiges Leben. Unvergessen auch der Pseudo-Strauß „Tweel“ in Stanley G. Weinbaum's „A Martian Odyssey“ (1954). In den wunderschönen „Martian Chronicles“ (1951) von Ray Bradbury erschien der Mars als ein Paradies, das von den Menschen zerstört wurde. Um eine Marskolonie und den Abbau von Rohstoffen ging es in Arthur C. Clarke's „The Sands of Mars“ (1951). Zu einem Kultroman der Hippies entwickelte sich Robert A. Heinlein's „A Stranger in a strange Land“ (1961), in dem der erste auf dem Mars geborene Mensch zur Erde zurückkehrt und dort zu einer Messiasfigur wird. Über eine Kolonisierung des Roten Planeten spekulierten in neuer Zeit wie Jack Williamson („Beachhead“, 1992) oder Kim Stanley Robinson in seiner Mars-Trilogie (1992), bestehend aus den Romanen „Red Mars“, „Green Mars“, „Blue Mars“.

Ebenso wie der Mond nach den Apolloflügen war auch der Mars nach diversen Raumsondenmissionen wie Mariner und Viking entmystifiziert, zumal die Atmosphäre für jede Form pflanzlichen oder tierischen Lebens ungeeignet scheint. Dies änderte sich erst 1996,

als Hinweise auf primitive Lebensformen in einem vom Mars stammenden Meteoriten gefunden wurden.

Auch die Venus war lange Zeit eine lohnendes Ziel fiktiver irdischer Raumfahrer. In Gustavus Pope's „Journey to the Venus“ (1895) war der Abendstern von prähistorischen Monstern bevölkert, die in einer Sumpflandschaft lebten. In anderen Geschichten war der Planet vollständig von Wasser („The Oceans of Venus“, 1954, Isaac Asimov) oder von Landmassen („Sustained Pressure“, 1953, E.F.Russell) bedeckt. Nach neueren Erkenntnissen durch Raumsonden wie Pioneer und Venera ist die Venus eine lebensfeindliche Wüstenwelt, die von einer geschlossenen, unter hohem Druck stehenden kohlendioxidhaltigen Wolkenhülle umgeben ist. Die Vorstellung einer Dschungelwelt mit Dinosauriern mußte begraben werden. 1961 schlug Carl Sagan in dem Journal „Science“ vor, die Wolkenhülle der Venus mit widerstandsfähigen Mikroorganismen zu beimpfen, die mittels Photosynthese Kohlendioxid in Sauerstoff und Kohlenstoff aufspalten, um sie für Menschen atembar zu machen.

Merkur schien auch den SF-Schreibern durch seine Nähe zur Sonne nicht gerade lebensfreundlich zu sein. In Robert Silverberg's „Sunrise on Mercury“ (1957) beherbergt dieser Planet eine geschmolzene Form von Leben, während in Edmond Hamilton's „Sunfire“ (1962) dort Flammenwesen existieren.

Hinter dem Mars liegt der Asteroidengürtel. Viele SF-Stories handeln vom Rohstoffabbau in dieser Region, so Clifford D. Simak's „The Asteroid of Gold“ (1932) oder Robert Sheckley's „Beside still Waters“ (1953). Einige Hypothesen gehen davon aus, daß die Asteroiden Überreste eines größeren Planeten sind, der in ferner Vergangenheit zerbrach. Hierzu gibt es Geschichten von Brian Aldiss („T“, 1956) und Harry Harrison („Plague Ship“, 1969).

Hinter dem Asteroidengürtel liegen riesige Gasplaneten mit Methan-Ammoniak-angereicherten Atmosphären, die kaum für herkömmliches Leben geeignet erscheint. Attraktiver hingegen sind die Monde dieser Planeten. Die Jupitertrabanten Io, Europa, Ganymed und Callisto spielen in diversen Stories eine Rolle: Io war in Stanley Weinbaum's „The mad Moon“ (1935) eine heiße, dampfende Welt, Callisto besaß in „Monsters of Callisto“ (1933) von Edward H. Hinton ein großes Meer, Ganymed wurde in „The Snows of Ganymede“ (1955) von Poul Anderson zu einer erdähnlichen Welt umgeformt. In Arthur C. Clarke's „A Meeting with Medusa“ (1971) tauchte ein Ballon in die Atmosphäre von Jupiter selbst ein, und auch in „Bridge“ (1955, James Blish) war der Planetengigant der Hauptschauplatz.

Eine Exkursion in die Atmosphäre des Saturn wurde von Harry Harrison in „Pressure“ (1969) beschrieben. In Neil R. Jones' „Hermit of Saturn's Rings“ (1940)

floh der Überlebende einer Raumschiffkatastrophe in das Ringsystem des Planeten, wo eine gasförmige Lebensform existierte. Der größte Mond des Saturn, Titan, war Schauplatz von Kurt Vonnegut's „The Sirens of Titan“ (1959) und Arthur C. Clarke's „Imperial Earth“ (1975).

Uranus und Neptun wurden selten in SF-Geschichten beschrieben. Stanley Weinbaum schilderte in „Planet of Doubt“ (1935) eine seltsame Lebensform auf Uranus, und Neptun war in „A Baby on Neptune“ (1929) von M.J. Breuer und C.W. Harris eine eisbedeckte Welt, die von gasförmigen Wesen bewohnt ist.

Der 9. Planet, Pluto, 1930 entdeckt, ist auch heute noch ein Rätsel für die Wissenschaftler. In Stanton A. Coblenz' „Into Plutonian Depths“ (1931) wurde er von einer bienenartigen Gesellschaft bevölkert. In „Construction Shack“ (1973) von Clifford D. Simak war er ein Außenposten einer fortgeschrittenen Zivilisation, die einst das Sonnensystem erschaffen hatte.

Lange Zeit wurde hinter Pluto noch ein zehnter Planet vermutet. In Edmund Cooper's „The Tenth Planet“ (1973) war diese Welt eine Heimat für Flüchtlinge von der Erde. In Larry Niven's „The Borderland of SOL“ (1975) war Pluto ein verrirrter Satellit von Neptun, und hinter Pluto wurden noch vier weitere Planeten entdeckt.

Die Voyager-Mission bereicherte unser Wissen um die äußeren Planeten des Sonnensystems, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun, bedeutend, aber nirgendwo wurden Hinweise für Leben entdeckt. Den SF-Autoren war das Sonnensystem sowieso schon recht frühzeitig zu eng geworden, und so ließen sie ihre Helden zu fernen Sternen fliegen.

Bereits im Jahre 1900 beschrieb R.W. Cole in „The Struggle for Empire“ eine interstellare Raumschlacht zwischen unserem Sonnensystem und einem Planeten des Sirius.

In den 20er und 30er Jahren wurde das Universum zumindest literarisch erobert. In gigantischen Space Operas lieferten sich kosmische Supermächte Raumschlachten mit ultimativen Waffen. Besonders E.E. „Doc“ Smith hatte mit seinen „Skylark“- und „Lensmen“-Serien entscheidenden Anteil an dieser Entwicklung. Ein anderer Autor dieser Richtung war Edmond Hamilton, in dessen Kurzgeschichtensammlung „Crashing Suns“ (1928) ganze Sonnensysteme zerbarsten und dessen „Captain Future“-Reihe ein Vorläufer späterer SF-Serien war. Ähnliche Space Opera-Zyklen, die kosmische Konflikte beinhalteten, schrieben John W. Campbell („Aarn-Munro“-Serie) und Jack Williamson („Legion“-Trilogie). Später folgten die „Foundation“-Trilogie von Isaac Asimov und der „Cities in Flight“-Zyklus von James Blish.

Diese Space Operas waren vielfach in den Weltraum verlegte Wildwest-Abenteuer. Die Pferde wurden durch Raumschiffe ersetzt, der Revolver durch Thermostrahler, und statt Indianern waren Aliens die Todfeinde.

Diesen durch Konflikt und Spannung bestimmten Geschichten folgten aber bald Stories, bei denen die Faszination fremder Welten im Vordergrund stand. Isaac Asimov beschrieb in „Nightfall“ (1940) einen Planeten, der sich in einem System mit mehreren Sonnen befindet. Für dessen Bewohner brach nur einmal in zwei Jahrtausenden die Nacht herein, als aufgrund einer speziellen Sonnenkonstellation eine Sonnenfinsternis entstand. Bei dieser Gelegenheit sahen die dortigen Menschen zum ersten Mal die Sterne.

In Hal Clement's „Mission of Gravity“ (1953) wurde ein Extremplanet mit einer hohen Gravitation beschrieben. Neuere Theorien über Neutronensterne und Schwarze Löcher verarbeitete Larry Niven in seinen Kurzgeschichten „Neutron Star“ (1966) und „The Hole Man“ (1974).

In Poul Anderson's „The Ancient Gods“ (1966) entdeckten Forscher einen Planeten am Rand der Milchstraße, deren Bewohner die von dort aus sichtbare wolkige Spirale der Galaxis als Gottheit anbeteten. „Starfog“ (1967) vom gleichen Autor spielte im Innern eines Sternencusters, in dem die Sonnen so dicht gepackt sind, daß jegliche Navigation unmöglich ist.

Der Phantasie der Autoren waren keine Grenzen gesetzt, und so schufen sie Eis-, Wasser-, Wüsten-, Kristall-, Metall- oder auch erdähnliche Welten, auf denen meist auch fremde Lebensformen vorgefunden wurden. Diese Wesen waren meist Mixturen aus bekannten irdischen Tieren oder Pflanzen. „Intelligente“ Außerirdische wurden meist „humanoid“, menschenähnlich, dargestellt, mit Kopf, Rumpf und ein paar Extremitäten. Zwar konnte das Äußere durch physikalische Umweltbedingungen (Schwerkraft, Klima) ein wenig verändert sein und die Mentalität durch historische und soziologische Gegebenheiten sich von der des Menschen unterscheiden, aber oft schien in den SF-Geschichten ein Anthropozentrismus durch, der den Eindruck erweckte, daß die Autoren den Menschen für das Maß aller Dinge hielten.

Nur selten wurden wirklich fremde Intelligenzen beschrieben. Ein Beispiel war der planetenumspannende Ozean in Stanislaw Lem's „Solaris“ (1961), der sich jeglichen Erklärungsversuchen irdischer Wissenschaftler widersetzte, ein anderes war die elektromagnetische interstellare Gaswolke in Fred Hoyle's „The Black Cloud“ (1957). Auch die psychedelische Schlußsequenz in Stanley Kubrick's Film „2001 - A Space Odyssey“ (1968) erzeugte ein Ahnung von etwas unvorstellbar Fremden.

Vielfach wurden in der Trivial-SF Aliens als Invasoren dargestellt. Der klassische Invasionroman war sicherlich H.G. Wells' „The War of the Worlds“ (1898). In der Pulp-Ära wimmelte es dann von sogenannten „Bug-Eyed-Monsters“, wie die glubschäugigen furchterregenden Fremden genannt wurden. Nach kurzer Unterbrechung wurde das Invasionsthema in den 50er Jahren, zur Zeit des Kalten Krieges, wieder populär. Filme wie „Invaders from Mars“ (1953), „It Came from Outer Space“ (1953) oder „Invasion of the Body Snatchers“ (1955) zeugten davon. Vielfach konnten die Außerirdischen auch Menschen übernehmen und in deren Gestalt auftreten, wie in John W. Campbell's

„Who goes there?“ (1938) oder in Robert A. Heinlein`s „The Puppet Masters“ (1951).

In anderen Fällen traten die Aliens als Erlöser oder Warner auf. In dem Film „The Day the Earth stood still“ (1951), basierend auf der Geschichte „Farewell to the Master“ (1940) von Harry Bates, tauchte ein Abgesandter vom Mars mit Namen Klaatu auf der Erde auf, um die Menschheit vor einem atomaren Wettrüsten zu warnen. In Arthur C. Clarke`s „Childhood`s End“ (1953) verhalten die Overlords, Außerirdische mit dem Aussehen von Teufeln, der Menschheit dazu, sich zu einer kosmischen Gemeinschaft fortzuentwickeln.

Vielfach fand die Begegnung mit den Aliens auch auf anderen Planeten statt, und selten verlief sie problemlos. Murray Leinster beschrieb in „First Contact“ (1945) die Ängste vor einer falschen Reaktion der Fremden, die bei einem solchen Treffen entstanden. In „Proxima Centauri“ (1935) tauchten fleischfressende Pflanzen auf, in „The Plants“ (1946), ebenfalls von Leinster, erwies sich eine fremde Vegetation als ebenso gefährlich wie tierisches Leben. Pflanzliche Organismen beschrieb auch John Wyndham in „The Day of the Triffids“ (1951), und in Arthur C. Clarke`s „Before Eden“ (1961) wurden prähistorische Pflanzen auf der Venus entdeckt.

In den Pulp-Magazinen bedrohten oft insektenförmige Wesen in Gestalt von Ameisen und Heuschrecken die Menschheit. Faszinierende Aliens schuf Stanley G. Weinbaum. In „A Martian Odyssey“ (1934) tauchten das straußenartige Wesen „Tweel“, eine Tentakelpflanze sowie faßförmige Wesen auf.

Weitere Beispiele außerirdischer Lebensformen sind Drachen (Jack Vance: „The Dragon Masters“, 1963), Reptilien (James Blish: „A Case of Conscience“, 1958) und Metalleser (Robert A. Heinlein: „The Star Beast“, 1954). In J.R. Fearn`s „Waters of Eternity“ (1953) war der Hyperraum von Drachen und lebenden geometrischen Symbolen bevölkert, vierdimensionale Entitäten existierten in Theodore Sturgeon`s „Ether Breather“ (1939). In anderen Geschichten kamen Gas-, Flammen-, Energie- oder Geistwesen vor.

Bei den meisten außerirdischen Lebewesen in der SF ist Kohlenstoff das Basiselement; es kann sich aufgrund seiner vier Bindungselektronen mit vielen anderen Elementen verbinden. Leben auf Silizium-Basis beschrieb Isaac Asimov in „The Talking Stone“ (1955). Der Physiker Gerald Feinberg und der Biochemiker Robert Shapiro vertraten in ihrem spekulativen Sachbuch „Life beyond Earth“ (1980) die Ansicht, Leben könne sich auf Plasma, die Energie elektromagnetischer Felder, magnetischer Bezirke in Neutronensternen oder anderer System stützen. Letztlich kann man sich einen seit der Schöpfung existierenden Übergeist vorstellen, der alle Grundfelder der Natur umfaßt, für den also unser Universum ein Medium ist ähnlich wie das Gehirn mit seinen Nervenzellen das Medium für unseren Geist ist. Die ultimate Existenz schließlich ist der gottähnliche Sternenschöpfer, beschrieben in Olaf Stapeldon`s grandiosem „Star Maker“ (1937).

Die Vielfalt des Lebens im Rhodan - Kosmos

Welche Geheimnisse verbergen sich hinter den Mysterien von Leben und Evolution, von Intelligenz und Bewußtsein? Gibt eine rätselhafte „Lebensenergie“, welche das Energiegefüge des Kosmos zusammenhält und alle Dinge des Universums miteinander vernetzt? Als Quiupu die Viren als „Maschinchen“ bezeichnete, tangierte er möglicherweise ein großes Geheimnis. Viren bestehen aus DNA- und RNA, den Grundelementen des Lebens. Diese Lebensmoleküle scheinen eine fundamentalere Bedeutung zu besitzen als wir alle ahnen.

Im Zentrum lebendiger Organisationsstrukturen stehen DNA-Dateien. Das Zwiebschalenmodell erfährt eine Renaissance, seine eigentliche Bedeutung klärt sich langsam auf. Die Menschen dringen zum Kern des Problems vor, zum Kern der Zwiebschale. Hier, in den DNA- und RNA - Strukturen einfacher Organismen wie Viren und Bakterien, ist das eigentliche Geheimnis des Lebens gespeichert. Bei der Evolution zu komplexeren Proteinen werden auf genetischer Ebene oft Abschnitte vervielfacht, abgewandelt und mit anderen verknüpft. Dieser rekombinatorische Austausch von Gensegmenten stellt die Essenz der Evolution dar.

Nukleinsäuremoleküle sind die Basis der Vielfalt des Lebens im Universum. Und diese Vielfalt ist überwältigend: Humanoide Lebensformen wie die Terraner, Arkoniden, Akonen, Laren oder Wynger, tierähnliche Organismen wie die Kartanin, Hamamesch, Gurrads, Ploohns oder Arachnoiden, Methanatmer wie die Maahks, Pflanzenwesen wie die Zataras, Wesen aus Licht (Luxiden), reiner Energie (Harno, ES) oder Kristallentitäten (Kaiserin von Therm, Abruse).

Die humanoiden Wesen haben sich auf der Grundlage von Kohlenstoff entwickelt, denkbar wären aber auch Silizium oder gar Stickstoff oder Erdöl. Warum sollte es nicht lebende wasserstoffgefüllte Ballone in den oberen Schichten der Jupiteratmosphäre oder superoxidfressende Flechten auf dem Mars geben? Leben könnte es auch in den Radiobiosphären interstellarer Staubwolken oder in Form von Energiefeldern geben, die sich von Röntgenstrahlen und ultraviolettem Licht ernähren. Vorstellbar ist auch die Existenz von Plasma-Lebensformen, organisierte magnetische Kraftfelder, die die äußeren Schichten von glühenden Sternen bewohnen. Vielleicht muß man jedem System, dessen innere Ordnung oder Informationsdichte ein bestimmtes Niveau erreicht, die Qualität „Leben“ zuerkennen. Vielleicht ist aber das Individuum gar nicht das entscheidende Grundelement des Lebens, sondern die jeweilige Biosphäre. Die Geschichte des Lebens auf der Erde entpuppte sich dann als die Geschichte vom kontinuierlichen Überleben und Sich-Entwickeln der Biosphäre seit ihren Anfängen auf einer präbiotischen Erde. Replikation, Reproduktion und Unterteilung in Organismen und Arten erscheinen dann als Strategien, derer sich unsere Biosphäre bedient, um ihr eigenes Überleben zu sichern.

Die Tatsache, daß die humanoiden Lebensformen im Universum auf einen gemeinsamen Ursprung zurückzuführen sind (V. Aupertir ?) könnte als Indiz dafür gewertet werden, daß das Phänomen in einem kosmischen Zusammenhang gesehen werden muß. Ist die Aussaat von On- und Noon-Quanten eine notwendige Voraussetzung für die Entstehung von Leben auf den Welten dieses Universums, oder kann Leben auch unabhängig von diesen Lebenssporen auf den einzelnen Planeten entstehen und sich entfalten?

Formen des Lebens

Als Charles Darwin im Jahre 1835 mit dem Forschungsschiff „Beagle“ auf die Galapagos-Inseln gelangte, fand er die dort vorkommenden wenigen Pflanzen- und Tierarten einer verwirrenden Zahl von Abwandlungen vor. Jede Insel schien ihre eigene Schildkrötenart zu haben, und von Finken gab es mehr als ein Dutzend Variationen. Auf den Galapagosinseln schien das Leben planlos zu experimentieren. Darwin postulierte eine neue Auffassung von der Natur: zunächst erfindet sie neue Wesen, indem sie die vorhandenen willkürlich variiert. Dann erst entscheidet der Wettbewerb zwischen dem Neuen und dem Alten, wer überlebt.

Als Darwins Hauptwerk „On the Origin of Species“ 1859 erschien, hatte er das Spiel des Zufalls an die Stelle eines sinnvollen Plans der Natur gesetzt. Die Natur erschien demnach wie ein verzweigter Stammbaum des Lebens. Algen und Bakterien bilden den Stamm, Wirbellose das niedere Geäst, und in der Krone sitzt der Mensch.

Doch sind die Leistungen des menschlichen Gehirns höher zu bewerten als zum Beispiel die Netzbaukunst der Spinnen oder die Ultraschall-Navigation der Fledermäuse?

Vor einer Milliarde war die Erde von simplen Einzeller wie den Archaeobakterien und den echten Bakterien bevölkert. Bald entstanden Eukaryonten mit einem abgegrenzten Zellkern; der Entwicklung zu vielzelligen Organismen war nun frei. Die Vielfalt der Lebensformen wurde durch eine neue Erfindung der Evolution begünstigt: bei der sexuellen Fortpflanzung vermischt männliche und weibliche Wesen ihre Gene, die Entstehung von Pflanzen und Tieren war die Folge.

Vor 565 Millionen Jahren tauchten in den Hohlkörpern von Quallen die ersten Nervenzellen auf. Mit der elektrischen Signalübertragung konnten Informationen viel schneller verarbeitet werden. Und vor drei Millionen Jahren erwachte im gigantischen Nervenzellgeflecht der damaligen Urmenschen das Bewußtsein, die Voraussetzung aller weiteren kulturellen Evolution.

Im kanadischen Burgess Shale sind Fossilien von Geschöpfen konserviert, die vor 530 Millionen Jahren gelebt haben. Die Fossilien zeigen Wesen wie von einem anderen Stern. Es waren die ersten Tiere mit vielgestaltigem Körperbau, die über die Erde krochen und die Urtiere ablösten. Nach dem amerikanischen Paläontologen Stephen Jay Gould hat die Natur im

Kambrium wie in einem Urknall sämtliche Konstruktionsprinzipien der Fauna erfunden: symmetrische Körper mit Kopf und Schwanz, Mund, Darm und Herz. Diese goldene Zeit der „irdischen Wundertiere“ währte nur die erdgeschichtlich kurze Zeit von fünf Millionen Jahren. Gould versuchte eine Erklärung für die Entstehung dieser grandiosen Fülle von Lebensbauplänen zu geben: An die Stelle einer stetigen Entwicklungsgeschichte der Arten setzte er das Bild einer vom Zufall beherrschten Evolution. Der evolutionäre Erfolg von Baumustern liegt demnach nicht in erster Linie in besonderer Lebenstüchtigkeit und Anpassung. Sondern unterliegt einem Zufallsspiel, in dem geologische Verschiebungen, Klimaschwankungen, ökologische Katastrophen oder Meteoriteneinschläge ganze Arten aussterben ließen, anderen dagegen zum Überleben verhalfen. Auslese bedeutet nicht Überleben des Fittesten, sondern Aussterben der vollkommen Unangepaßten; offenbar gibt es eine große Zahl verschiedenartigster Anpassungsformen. An die Stelle permanenter Höherentwicklung setzt Gould das Bild einer Lotterie des Lebens; auch der Mensch ist das Ergebnis einer Geschichte aus Wahrscheinlichkeiten. Demnach hat es in der Naturgeschichte nie eine Marschrichtung gegeben. Zum Beispiel erweist sich die Evolution der Schneckenhäuser als wildes Spiel komplizierter Formen, bei dem ebensoviele Rück- wie Fortschritte zu beobachten sind. Nur wo das ökologische Geflecht der Mikroben und Wirbellosen noch eine leere Lebensnische bot, hätten komplexere Wesen überhaupt eine Chance gehabt: die Primaten eroberten ihren Platz auf der Erde nicht, indem sie die Bakterien oder Insekten verdrängten; sie konnten nur jene ökologischen Lücken besetzen, die die älteren Bewohner des Planeten noch nicht ausgefüllt hatten.

In China entdeckten Paläontologen die bislang älteste Weichteilsammlung der Welt - gepanzerte Würmer, rotierende Quallen, Medusen und Gliederfüßer - alles in Tonsteinen konserviert. Diese Chengjiang-Fauna gab den Stammbaum-Theoretikern neuen Auftrieb, nach denen alle Geschöpfe der Erde genetisch verknüpft sind. Die Monster von Burgess Shale waren demnach nicht so exotisch-einzigartig, wie ursprünglich angenommen, und die kambrische Artenexplosion war auf einen natürlichen Evolutionsvorgang zurückzuführen, eine stete Verästelung des Lebens.

In der südchinesischen Hügelsteppe von Liaoning wurden Fossilien aus einer Zeit vor 123 Millionen Jahren entdeckt. Damals tauchten neue Wesen in der Welt der Saurier auf. Versteinerte Blüten beweisen, daß Farnen und Nadelhölzern Konkurrenz durch Blütenpflanzen erwuchs. Libellen und Bienen zeugen vom Siegeszug der Insekten. Vögel eroberten die Lüfte, und Säugetiere begannen sich auszubreiten. Andere Fossilienfunde aus Grönland, Sibirien oder Namibia zeichnen ebenfalls ein detailreiches Bild aus ferner Vergangenheit. Zudem versuchen Molekularbiologen, die Herkunft der Wesen aus deren Erbgut abzulesen. Dabei kristallisiert sich heraus, daß in den Genen der Urahnen heute lebender Wesen bereits die Körperteile neuer Geschöpfe angelegt waren, Jahrtausende bevor diese leibhaftig auf der Bühne des Lebens erschienen.

So wurde ein Gen gefunden, das bei allen Geschöpfen gleichermaßen die Bildung des Sehorgans steuert; das entsprechende Gen wurde beispielsweise von Mäusen und Tintenfischen auf Fruchtfliegen übertragen und ließ dort Augen entstehen.

Nach diesem Prinzip funktionieren auch die Entwicklungsprogramme für andere Körperteile: so wurde ein Gen gefunden, das in Mäusen wie in Fliegen das Herz wachsen läßt.

Auch das Programm, das den Körpergrundriß festlegt, ist bei allen Tieren ähnlich. Die Baupläne werden von den sogenannten Hox-Genen festgelegt, die wie Architekten das Wachstum eines Embryos von Kopf bis Schwanz dirigieren. Jedes Hox-Gen steuert die Entwicklung eines Körperabschnitts, die Abfolge entspricht der Anordnung der Körperteile. Im Verlauf der Evolution haben sich die Steuergene vermehrt. Je komplexer ein Organismus, desto mehr Hox-Gene finden sich in seinem Erbgut.

Gerade weil diese Gene nicht nur an einer, sondern an mehreren Stellen in den Körperbau eingreifen, sind sie so bedeutend für die Evolution: sie haben der Natur viel Herumprobieren erspart. Denn bereits durch eine winzige Änderung im Hox-Programm wuchsen völlig neue Formen, ohne den bewährten Grundplan zu gefährden - die Evolution arbeitet nach dem Baukastenprinzip. In 570 Millionen Jahre alten, versteinerten Embryonen aus China wurden ebenfalls Hinweise für das Walten der Hox-Gene gefunden.

Forscher versuchen bereits, auf den Urahn der Tiere zurückzuschließen. Demnach trieb vor einer Milliarde Jahre ein solches Wesen durch die Meere, und aus diesem wahrscheinlich kugelförmigen Vorfahren von Mensch und Wurm spalteten sich verschiedene Ahnenreihen ab, die sich zunächst nur in der Feinstruktur ihres Erbguts, nicht jedoch äußerlich unterschieden. Erst viel später brachten dann die getrennten Großgruppen des Tierreichs nach immer demselben Prinzip immer ausgefeiltere Wesen hervor. Hox-Gene haben wahrscheinlich auch die kambrische Explosion ausgelöst. Plötzlich vermehrten sich diese Gene und ermöglichten komplizierter Designs: Quallen, die es schon vor dem Kambrium gab, haben zwei Hox-Gene, Plattwürmer haben vier, Krebse acht, Lanzettfischchen zehn Hox-Gene. An diesem Punkt erreichte die Natur eine kritische Masse, und es kam zu einer phantastischen Entfaltung der Lebensformen im Kambrium.

Seither hat sich wenig getan. Die Hox-Gene sind dieselben geblieben, zu den nur 37 Grundbauplänen der Tiere, die damals entstanden, kam kein einziger mehr hinzu.

Die Natur kann ihre Wesen keineswegs nach Belieben verbessern, dem Wandel sind Grenzen gesetzt. Der Zufall waltet nur innerhalb des Rahmens, den die genetischen Körperbaupläne gestatten. Obwohl die Evolution weiter herumprobiert, bringt sie im wesentlichen seit einer halben Milliarde Jahren statt neuer Prinzipien des Lebens nur noch einen Zuwachs an Vielfalt zustande. Die Evolution, zumindest die biologische, ist scheinbar erlahmt.

Was ist Leben ? - Die physikalische Struktur der genetischen Information

Die Entstehung von Leben läßt sich mit der Existenz des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik nur schwer vereinbaren, auch wenn Prozesse wie Selbstorganisation immer besser verstanden werden. Ist Leben sozusagen eine negentropische Kraft, und muß die Beziehung zwischen Ordnung und Unordnung (Chaos) oder auf kosmischer Ebene der Konflikt zwischen Kosmokraten und Chaotarchen oder in philosophischer Sicht der Gegensatz zwischen Yin und Yang gänzlich anders definiert werden?

Der österreichische Physiker Erwin Schrödinger wurde durch die Formulierung der Wellenmechanik unsterblich. Über seine Bedeutung als Quantenphysiker hinaus gab er durch ein kleines Büchlein auch entscheidende Impulse für die Wissenschaft vom Leben - die Biologie.

1943 hielt der Schrödinger in Dublin Vorlesungen zum Thema „Was ist Leben“; daraus entstand 1944 ein Buch, welches die Entwicklung der modernen Biologie maßgeblich beeinflusste. Schrödinger wies nach, daß sich Physik und Biologie - speziell die Genetik - von Beginn des 20. Jahrhunderts an zwar getrennt, aber doch in gewisser Weise parallel entwickelt hatten. Der Entdeckung des Wirkungsquantums im Jahre 1900 durch Max Planck korrespondiert die Wiederentdeckung der Mendelschen Gesetze der Vererbung. Sie wurde durch das Studium von sprunghaft auftretenden Mutationen möglich, die an Quantenzustände erinnerten. Niels Bohr bezweifelte in seinem Vortrag „Licht und Leben“ (1932), daß die Erscheinungen des Lebens auf Physik und Chemie reduzierbar sind. Bohr nahm an, daß Leben und Atomphysik in einem ähnlich komplementären Verhältnis zueinander stehen wie der Wellen- und Teilchenaspekt in der Quantenmechanik. Eine wichtige Grundlage von Schrödingers Überlegungen war ein Artikel von Timoféef-Ressovsky, Zimmer und Delbrück (1935) über Mutationsschäden bei Taufiegen durch Einwirkung von Röntgenstrahlen, in dem dargelegt wurde, daß Gene eine materielle Natur haben müssen und jedes Gen als Makromolekül von einer Größe von etwa 1000 Atomen anzusehen sei.

Schrödinger diskutierte zwei aus seinen Überlegungen zu Vererbung und Thermodynamik abgeleitete Prinzipien. Hinter dem Begriff „Ordnung aus Ordnung“ steht die Frage, wie Organismen Information von einer Generation zur nächsten weitergeben. Wie vermag ein Gen von der Größe eines Makromoleküls dem thermischen Zerfall zu widerstehen? Schrödinger schlug vor, daß ein Gen, um diesem Problem zu entgehen, sich möglicherweise als „aperiodischer Kristall“ verhalten könnte, in dessen Struktur die Information verschlüsselt niedergelegt ist. Dieser aperiodische Kristall stellte sich einige Jahre später als Desoxyribonukleinsäure-Molekül heraus.

Übrigens war Schrödinger nicht der einzige, der die Grundgeheimnisse des Lebens vor Entdeckung der DNA-Doppelhelix und des genetischen Codes entschlüsselte. 1948 legte John von Neumann in einem

Vortrag mit dem Titel „On the General and Logical Theory of Automata“ die Grundlagen einer funktionalen Theorie des Lebens. Er postulierte die Grundsätze für die Konstruktion einer Maschine, die imstande wäre, in einer mit den dafür notwendigen Rohstoffen ausgestatteten Umwelt sich selbst nachzubauen. Ein solches sich selbst reproduzierendes Objekt, ein „Zellularautomat“, enthält vier wesentliche Komponenten: „einen Bauplan, eine Fabrik, einen Kontrolleur sowie eine Dupliziermaschine. Im speziellen Fall der organischen Zelle sind dies die DNA, der Vorgang der Translation, die Replikase-Enzyme und der Prozeß der Replikation. Neumann postulierte dies für jede Lebensform abstrakten Eigenschaften fünf Jahre vor den Arbeiten von Watson und Crick, die sich mit dem Spezialfall des heute auf der Erde anzutreffenden Lebens beschäftigten. Die entschiedenen Funktionen des Lebens sind somit als logischer Strukturzusammenhang darstellbar, der im Prinzip den verschiedenartigsten materiellen oder energetischen Umwelten zugeordnet werden kann: Leben ist vorstellbar auf der Basis von Kohlenstoff, Silizium, elektromagnetischen Feldern, Gravitationsfeldern oder kristallinen Strukturen. Leben wäre auch denkbar als Simulation im Computer, wie John Conways Spiel „Life“: Die Ausgangsform ist eine Reihe von vier Zellen. Jede dieser Zellen überprüft ihre Nachbarzellen und sich selbst, anschließend wird aufgrund der einfachen Regeln des Spiels bestimmt, ob diese Zelle in der nächsten Generation lebt oder stirbt. Aus der Anfangskonfiguration entwickeln sich je nach Umweltkonstellation verschiedene Lebensmuster. Vielleicht mögen die Grundprinzipien der zellulären Automaten in ihrer ausschließlich lokalen Kommunikation simpler, identischer Teile als viel zu einfach erscheinen, um mit ihnen die Komplexität der Natur erfassen zu können. Doch die Möglichkeiten, die in ihnen schlummern, lassen sich am Beispiel von „Life“ erahnen.

Das zweite von Schrödinger formulierte Prinzip betrifft die „Ordnung aus Unordnung“: wie kann Leben aus unbelebter Materie entstehen, wie läßt sich die immens unwahrscheinliche, hochgeordnete Struktur der Organismen angesichts des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik erhalten. Schrödinger kam zu dem Schluß, daß Organismen ihre innere Ordnung schaffen, indem sie in ihrer unmittelbaren Umgebung Unordnung erzeugen. So erschuf er den Begriff der „negativen Entropie“ (Negentropie).

Die Thermodynamik, wie sie von Boltzmann ausgearbeitet wurde, betrachtet die Natur gemäß dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik als im Zerfall begriffen, auf dem Weg zu einer Art Tod in zufälliger Unordnung. Diese pessimistische Betrachtungsweise der Evolution natürlicher Systeme kontrastiert zu der darwinschen Ansicht, die von einer zunehmenden Komplexität, Spezialisierung und Organisation biologischer Systeme ausgeht. Die Erscheinungsweise vieler natürlicher Systeme zeigt, daß die Welt voll von zusammenhängenden Nichtgleichgewichtsstrukturen ist, etwa Konvektionszellen, autokatalytischen chemischen Reaktionen und dem Leben selbst. Lebende Systeme

stellen eine Fortentwicklung weg von Unordnung und Gleichgewicht dar hin zu hochorganisierten Strukturen, die in einigem Abstand vom Gleichgewicht existieren.

Schrödinger erkannte, daß lebende Systeme in einer Welt von Energie- und Materialflüssen existieren. Ein Organismus bleibt in seinem hochorganisierten Zustand am Leben, indem er hochwertige Energie von außerhalb seiner selbst bezieht und in seinem Inneren umwandelt, so daß ein stärker organisierter Zustand zustandekommt. Leben ist ein System fernab vom Gleichgewicht, das seinen lokalen Organisationsgrad um den Preis eines höheren globalen Entropieinhalts erhält. Schrödinger war der Ansicht, daß die Untersuchung lebender Systeme vom Standpunkt des Nichtgleichgewichts aus die biologische Selbstorganisation mit der Thermodynamik in Einklang bringen würde.

Boltzmann erkannte bereits früher den offensichtlichen Widerspruch zwischen dem Wärmetod des Universums und der Existenz des Lebens, bei dem Systeme wachsen, komplexer werden und evolvieren. Er begriff, daß der von der Sonne ausgehende Energiegradient den Lebensprozeß antreibt. Ein Organismus bleibt in seinem hochorganisierten Zustand am Leben, indem er Energie hoher Qualität von außen aufnimmt und sie „degradiert“, sie in geringerwertige Energie umwandelt, um die Organisationsstruktur des Systems zu unterstützen.

Wenn wir die Erde als ein offenes thermodynamisches System mit einem enormen von der Sonne aufgedrückten Gradienten betrachten, so ist anzunehmen, daß das System diesen Gradienten verkleinert, indem es alle verfügbaren physikalischen und chemischen Prozesse nutzt. Leben existiert auf der Erde als ein Mittel, um den sonneninduzierten Gradienten auszugleichen. So ist der Ursprung des Lebens die Entwicklung einer weiteren Route für den Ausgleich induzierter Energiegradienten.

Leben ist eine Antwort auf den thermodynamischen Imperativ, Gradienten auszugleichen. Thermodynamische Gradienten treiben eine Selbstorganisation voran. Chemische Gradienten haben dissipative autokatalytische Reaktionen zur Folge, Beispiele finden sich bei der Proteinbiosynthese, bei Phosphorylierungs-, Polymerisations- und Hydrolysereaktionen. Ein Versuch, die Sonnenenergie einzufangen und nutzbare Gradienten auszugleichen, ist das Pflanzenwachstum.

So stellt Leben ein Gleichgewicht dar zwischen den Imperativen von Überleben und Energienutzung. Leben entsteht, weil die Thermodynamik Ordnung aus Unordnung fordert, wann immer ausreichende thermodynamische Gradienten und Umweltbedingungen vorliegen. Aber wenn das Leben fortbestehen soll, erfordern dieselben Regeln, daß es fähig sein muß nachzuwachsen, das heißt Ordnung aus Unordnung zu erschaffen. Für den Fortbestand des Lebens ist es entscheidend, ob die Information darüber, was funktioniert und was nicht, bewahrt wird. Das genau ist die Rolle des Gens und, in einem größeren Maßstab, der biologischen Vielfalt, den Genpools, nämlich als Informationsdatenbanken der funktionierenden Strategien der

Selbstorganisation zu wirken. Gene sind ein Protokoll erfolgreicher Selbstorganisation; Gene stellen nicht den Entwicklungsmechanismus dar, der Mechanismus ist die Selbstorganisation.

Leben ist Negentropie, Evolution demnach ein negentropischer Impuls. Mit den Begriffen Energie, Ordnung und Information läßt sich das Phänomen Leben einkreisen, verstanden werden könnte es wohl erst in einer umfassenden Theorie, welche die Gesetzmäßigkeiten der Physik als auch des Bewußtseins umfaßt.

Obige Überlegungen wurden in der Science Fiction nur selten explizit angestellt. Die „VALIS“-Trilogie von Philip K. Dick ist ein religiös angehauchtes Werk über eine transzendente göttliche Macht. VALIS (Vast Active Living Intelligence System) ist eine Störung des Realitätsgefüges, durch die ein spontanes, sich selbst kontrollierendes negentropisches Wirbelfeld erzeugt wird, das immer mehr dazu tendiert, seine Umwelt in sein Informationsmuster einzuordnen.

Ein solches „negentropisches Wirbelfeld“ erinnert an die „Kosmonukleotide“, jene Bausteine der Doppelhelix des Moralischen Codes, mit der Willi Voltz die Perry Rhodan-Serie endgültig über den Status des Groschenheftromans heraushob. Im „Frostrubin“ wurden Informationspools beschrieben, welche die Naturgesetze und Naturkonstanten definieren; die Informationen aus den Pools werden dem Universum durch sogenannte „Messenger“ einprogrammiert. In „DORIFER“, einem anderen Kosmonukleotid, wirken Myriaden psionischer Informationsquanten, aus denen in buntem Reigen Informationsketten entstehen, die Gußformen für potentielle Zukünfte und Vergangenheiten darstellen.

Ist der Moralische Code als kosmisches Schöpfungsprogramm ein kompakter Algorithmus, der den Kosmos generiert? Ein Wirklichkeitsgenerator, welcher aus dem Pool von potentiellen Realitäten die aktuelle Realität erzeugt, ähnlich wie aus durch den Kollaps der Schrödingerschen Wellengleichung unsere beobachtete Wirklichkeit aus dem quantenphysikalischen Schattenreich geboren wird?

Im Mittelpunkt der Star Wars - Saga steht die mysteriöse Macht: eine Kraft, welche aus den Lebewesen des Universums stammt und die in ihrer Gesamtheit ein universumspannendes Energienetz bildet, welches das kosmische Gefüge stabil hält. Alle Dinge des Universums sind durch die Kraft miteinander verwoben. Diese „Macht“ kann von den sogenannten Jedi-Rittern dazu benutzt werden, um das „Gute“ im Kosmos durchzusetzen. Allerdings müssen sich diese Ritter vor den dunklen Seiten der Macht hüten: wenn sie sich negativen Kräften wie Aggression, Zorn, Haß oder Neid hingeben, werden sie auf die böse Seite verschlagen. Diese Schicksal ereilte einst auch den Vater von Luke Skywalker, der einst zum „Darth Vader“ degenerierte.

Gibt es sie also doch, die mysteriöse „Lebensenergie“, die einen negentropischen Impuls ausstrahlt? Tobte im Universum von Anbeginn an ein Kampf zwischen den

Mächten der Ordnung und denen des Chaos, und bezog der Kosmos seine Kraft aus diesem ewigen Kampf heraus? Licht und Schatten, Leben und Tod, Yin und Yang - diese gegensätzlichen, aber doch voneinander abhängigen und komplementären Kräfte müssen in einer Balance stehen, damit die Entwicklung und Evolution des Kosmos weitergeht.

Schrödingers Frage „Was ist Leben?“ beantwortete der große Physiker am Schluß seines Buches in dem Kapitel „Die Beziehung zwischen Uhrwerk und Organismus“: „...Die Ähnlichkeit (zwischen einem Uhrwerk und einem Organismus) beruht ganz einfach darin, daß der Organismus ebenfalls in einem festen Körper verankert ist - dem aperiodischen Kristall, der die Erbsubstanz bildet und der Unordnung aus Wärmebewegung weitgehend entzogen ist. Man werfe mit aber nicht vor, ich hätte die Chromosomen einfach als „Zahnräder der organischen Maschine“ bezeichnet - zumindest nicht ohne auf die tiefgründigen physikalischen Theorien hinzuweisen, auf denen der Vergleich beruht... Die kennzeichnenden Wesensmerkmale sind: Erstens die merkwürdige Verteilung der „Zahnräder“ in einem vielzelligen Organismus... und zweitens die Tatsache, daß das einzelne Zahnrad nicht ein plumpes Menschenwerk ist, sondern das feinste Meisterstück, das jemals nach den Leitprinzipien von Gottes Quantenmechanik vollendet wurde.“

Leben = Materie + Information ?

Die Information der Lebewesen läßt sich wie das Magnetband eines Computers linear ablesen; an jeder Stelle des Bandes liegt eine Grundeinheit der Information, ein Nukleotid. Für die genetische Information ist entscheidend, an welcher Stelle der DNA-Doppelhelix welches Nukleotid sitzt. Man versteht inzwischen die genauen chemischen Abläufe der Kommunikations- und Kontrollprozesse, mit denen die DNA über andere komplexe Moleküle und zelluläre Strukturen wie messenger-DNA, transfer-DNA und Ribosomen die Reproduktion steuert. Der Informationsspeichermechanismus ist einfach. Getragen von einem spiralförmigen Rückgrat aus Zucker und Phosphat, enthält ein DNA-Molekül mehrere Millionen Sprossen die als Codierung jeweils einem der vier Buchstaben des genetischen Alphabets entsprechen, welches die vier Basenpaare Adenin-Thymin, Thymin-Adenin, Cytosin-Guanin und Guanin-Cytosin umfaßt. Mit den vier Buchstaben A, T, G, C beschreibt jede Sprosse die Information zweier Binärstellen in einem digitalen Code. Die digitale Speicherung des menschlichen Lebens sowie der meisten anderen Lebensformen auf der Erde kommt also mit nur vier Basenpaare aus. Die Ribosomen produzieren Proteinketten, indem sie jeweils drei Basenpaare zusammenstellen, die dann Sequenzen aus nur zwanzig linksdrehenden Aminosäuren auswählen. Diese Proteinketten bestimmen dann die Strukturen der Knochenzellen, die Eigenschaften der Muskelzellen, die komplexen biochemischen Reakti-

onsprozesse in Organismen oder die Struktur und Funktionsweise der Nervenzellen des Gehirns.

Ein wichtiger Unterschied zwischen den Prokaryoten (Mikroorganismen wie Bakterien) und den Eukaryoten (insbesondere höhere Tiere und Pflanzen) betrifft die „Redundanz“ der DNA. Das Genom der Prokaryoten enthält kaum ein Nukleotid, das nicht zur Codierung oder Genregulation beiträgt. Im Gegensatz dazu besteht das Genom der Eukaryoten zum größten Teil aus nichtcodierender DNA ohne erkennbare Funktion, die deshalb „junk-DNA“ genannt wird. Beim Menschen haben nur ungefähr fünf Prozent der DNA Codierungsfunktionen. Die codierenden Abschnitte, Exons genannt (weil sie exprimiert werden in Proteine) sind durch die intervenierenden Sequenzen oder Introns getrennt. Die Nukleotide scheinen zu DNA-Modulen zusammengefaßt zu werden, die sich dann unterschiedlich kombinieren lassen. Möglicherweise traten die Exons an die Stelle der früheren, kürzeren RNA-Module und wurden dann im Genom zu einer großen Zahl von Mosaikgenen zusammengestellt, so daß sich wesentlich mehr Möglichkeiten zur Entstehung neuer Vielfalt boten. Tatsächlich dienen die gleichen Exons als Bausteine verschiedener Gene, so daß bestimmte „Motive“ einer Peptidsequenz in unterschiedlichem Zusammenhang immer wieder auftauchen, ganz ähnlich wie die Schalter und Mikrochips, die man zu unterschiedlichen elektronischen Geräten zusammenbauen kann.

So waren in der Evolutionsgeschichte nur wenige, für sich genommen einfache Grundprinzipien - über lange Zeiträume und auf zahllose Individuen angewendet - erforderlich, um aus primitiven Urorganismen die heutige Vielfalt des Lebens hervorbringen. Populationen genetisch verwandter Individuen wurden einer natürlichen Auslese in Form von Umweltbedingungen unterworfen. Es kam zu einer Wechselwirkung der jeweiligen Genpools mit der physiko-chemischen Umwelt, die zu Veränderungen beider Komponenten führte. Aber sind Genpool, Biomasse oder Biosphäre allein Produkte einer zufälligen Selektion, oder sind in ihnen tiefere Informationen gespeichert?

Statistisch gesehen würde die Optimierung auch nur eines kurzen Erbmoleküls durch eine Folge zufälliger Mutationen so lange dauern, daß eine Evolution niemals stattgefunden hätte. Nach Manfred Eigen liegt der molekularen Evolution jedoch kein blindes Probieren zugrunde, sondern ein sehr effektiver Optimierungsmechanismus. Das Erscheinen optimaler Moleküle ist bereits nach wenigen Kopierschritten programmiert. Die Selektion beim Wettbewerb evolvierender Nucleinsäuren begünstigt danach nicht nur die „Stammsequenz“, also den am besten der Umwelt angepaßten Typ, sondern auch verwandte, fast genauso effektive Mutanten, deren Zahl meist ungleich höher ist als die der Stammsequenz-Mitglieder. Nach der „Neutraltheorie der Evolution“ von Motoo Kimura besitzen viele Mutanten weder Vor- noch Nachteile, weswegen man sie als „neutral“ bezeichnet. Die Mitglieder der

Stammsequenz und die Mutanten bilden die vielfältige Gesellschaft der „Quasispezies.“

Eine Schlüsselrolle in der Evolution spielt die Genauigkeit der Replikation. Wäre die Vervielfältigung des Erbmaterials stark fehleranfällig, so daß die einzelnen Kopien ihrer Elternsequenz in keiner Weise mehr ähneln, dann würde die Genom-Information „verdampfen“, und die Spezies treibt in den Abgrund. Eine zu geringe Mutationsrate, also perfekt kopierte Nucleinsäuren, wären das Ende aller Evolution: Organismen könnten sich verändernden Umweltbedingungen nicht mehr anpassen und müßten aussterben. Es gibt eine optimale Fehlerrate der Replikation, welche die Quasispezies auszeichnet. Biologisch ist die Quasispezies der eigentliche Angriffspunkt der Selektion.

Selektiert wird also keineswegs nur ein einziges, bestangepaßtes Programm, sondern ein Spektrum von Varianten. In letzter Konsequenz könnte so die Artenvielfalt, auf genetischer Ebene der umfangreiche Genpool, der Garant für den Erhalt der Biosphäre sein.

Der Ursprung des Lebens

Wo nahm das Leben seinen Anfang? Könnte das Leben aus dem Weltraum auf die Erde gekommen sein? Die Idee vom außerirdischen Ursprung des irdischen Lebens wurde um die Jahrhundertwende von dem schwedischen Chemiker Svante Arrhenius vertreten; er prägte den Begriff „Panspermie“ für seine Überzeugung, daß Samen des Lebens überall im Weltraum vorhanden sind und ständig auf die Erde regnen. Auch die Astronomen Fred Hoyle und Chandra Wickramasinghe treten für eine abgewandelte Form dieser Theorie ein: demnach entstünden Viren und Bakterien ständig in den Schweifen der Kometen und fielen mit den Teilchen des Kometenstaubs auf die Erde. Manche dieser Keime könnten entscheidend die Evolutionsgeschichte verändert haben. Francis Crick, der Entdecker der Doppelhelixstruktur der DNA; und Leslie Orgel äußerten sogar die Vermutung, die ersten Keime des Lebens könnten mit einem Raumschiff auf die Erde gelangt sein, das von einer weit entfernten Zivilisation geschickt wurde.

Für ein Raumschiff oder seine Entsender gibt es allerdings keine Indizien. Anders sieht es allerdings mit organischen Molekülen im Weltraum aus. Der interstellare Staub enthält eine Reihe potentiell lebenserzeugender Moleküle, vor allem sehr reaktionsfreudige Verbindungen von Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, manchmal auch Schwefel und Silizium. Kometen bestehen vorwiegend aus Staub und Eis, angereichert mit verschiedensten organischen Verbindungen. Und der Murchinson-Meteorit, der 1969 in Australien niederging, enthielt eine Menge von Aminosäuren, die in Art und Mengenverhältnissen bemerkenswert denjenigen in Millers Experiment von 1953 ähnelten: Miller und Urey erzeugten elektrische Entladungen in einem luftdicht verschlossenen Gefäß, das eine Gasmischung aus Methan, Ammoniak und Wasserstoff enthielt; der Versuch sollte eine Simulation der Verhältnisse auf der Urerde darstellen. Nach einigen

Tagen hatten sich mehrere Aminosäuren und andere organische Moleküle gebildet, die für Lebewesen charakteristisch sind.

Es gibt also zahlreiche Hinweise, daß sich unter den Bedingungen der Urerde, im Weltraum sowie auf den Kometen und Meteoriten mehrere lebenserzeugende Verbindungen von selbst bilden können. So könnte man folgendes Bild von der Geburt des Lebens vor vier Milliarden Jahren zeichnen: Die Keimzellen des Lebens entstanden im Weltraum und in der Atmosphäre in Form verschiedener Verbindungen aus Kohlenstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Schwefel. Unter dem Einfluß elektrischer Entladungen, verschiedener Strahlungen und anderer Energiequellen wurden die Atome in diesen Verbindungen so umgeordnet, daß Aminosäuren und andere biologische Grundbausteine entstanden.

Die Produkte dieser chemischen Umlagerungen gelangten mit dem Regen sowie durch Kometen und Meteoriten auf die Erde und bildeten auf der leblosen Oberfläche des jungen Planeten eine organische Schicht. Dieser kohlenstoffreiche Film war verschiedensten Einflüssen ausgesetzt: den Einschlägen von Himmelskörpern, den Stoßwellen der Erdbeben, den Dämpfen und Flammen der Vulkanausbrüche, den Unwägbarkeiten des Klimas und einer starken ultravioletten Strahlung. Flüsse und Bäche trugen das organische Material in die Meere, wo es sich ansammelte, bis die Urozeane die Zusammensetzung einer heißen, dünnen Suppe hatten, wie es der britische Genetiker J.B.S. Haldane formulierte. In den schnell verdunstenden Binnenseen und Lagunen verdickte sich die Suppe zu einem gesättigten Püree. In manchen Bereichen sickerte sie ins Erdinnere, um als dampfspeisende Geyshire oder heiße Unterwasserströmung sehr heftig wieder hervorzubrechen. Alle diese Einflüsse bewirkten vielfältige chemische Veränderungen und Reaktionen der ursprünglichen Bestandteile, die vom Himmel herabgeregnet waren.

Früher nahm man an, die Aminosäuren bildeten die Proteine, die wiederum die ersten Enzyme hervorbrachten, die die Entstehung des Lebens weiter vorantrieben. Praktisch jede der vielen tausend chemischen Reaktionen, die in jeder lebenden Zelle ablaufen, wird von einem Enzym katalysiert. Heut nimmt man an, daß die ersten Katalysatoren keine Proteine waren, sondern Ribonukleinsäure (RNA). Der wichtigste Grund für diese Annahme ist, daß RNA-Moleküle sowohl den katalytischen Apparat liefern als auch die Information für den Zusammenbau der Aminosäuren zu Proteinen. 1980 stellten Cech und Altman fest, daß manche RNA-Moleküle katalytische Eigenschaften haben, aber Gilbert prägte dafür den Begriff der „RNA-Welt“. Gilbert beschreibt die RNA-Welt als eine Zwischenstufe in der Frühgeschichte des Lebens, bei der RNA-Moleküle und Cofaktoren als Enzymausstattung ausreichten, um alle chemischen Reaktionen auszuführen, die für die ersten zellartigen Strukturen erforderlich waren.

RNA-Moleküle sind lange, kettenförmige Gebilde aus vielen Komponenten, den Nukleotiden. Jedes Nukleotid besteht aus drei Teilen: Phosphat, Ribose und einer Base. Von den Basen gibt es vier Typen: Adenin, Gua-

min, Cytosin und Uracil. Die Basen dienen in allen RNA-Molekülen als Informationsträger; sie sind die vier Buchstaben, aus denen sich die „Worte“ der RNA zusammensetzen. Wie aber entstanden die ersten RNA-Moleküle?

In der heutigen Biochemie wirken viele Enzyme mit der Unterstützung einer anorganischen Hilfssubstanz, meist eines Metallatoms wie Eisen, Kupfer, Calcium, Magnesium, Zink, Molybdän, Kobalt oder Mangan. Metalle brauchen meist eine Trägerstruktur, in der Regel ein Proteingerüst, damit sie mit den Molekülen in Wechselwirkung treten können, deren Reaktion sie katalytisch unterstützen. Deshalb gewannen mineralische Oberflächen, die das notwendige Gerüst bilden können und vielleicht selbst als Katalysatoren wirken, große Aufmerksamkeit. Ton gibt es in verschiedenen mikrokristallinen Formen, und manche davon zeigen tatsächlich katalytische Aktivität. Bestimmte Tonarten wie „Montmorillonit“ erleichtern die Zusammenlagerung vorbereiteter Nukleotide zu kurzen RNA-Ketten.

Der Chemiker Günter Wächtershäuser entwickelte ein Modell dafür, wie ein Protostoffwechsel auf der Oberfläche von Pyritkristallen entstanden sein könnte. Pyrit ist ein Mineral aus Eisen und Schwefel. Seine Katalysatorfunktion verdankt er der Tatsache, daß Gegenstände einander anziehen, wenn sie elektrisch entgegengesetzt geladen sind. Der positiv geladene Pyrit stellt eine Oberfläche zur Verfügung, an die sich negativ geladene Moleküle durch elektrostatische Anziehung binden, so daß sie dann in verschiedenartige Wechselwirkungen treten können. Pyritkristalle könnten die Entstehung von Eiweißverbindungen katalysiert haben. Beim Wachstum dieser Kristalle könnte so viel Energie freigesetzt worden sein, daß aus Kohlendioxid und Wasserstoff organische Moleküle entstanden sind.

Ähnliche Vorstellungen hat der Chemiker A.G. Cairns-Smith. Die Mikrokristalle von Tonmineralien wachsen und schwinden schon bei den geringfügigsten Veränderungen der Außenbedingungen. Die Ketten der Stränge der Silikate im Ton, die sich auch zu flächenhaften Gebilden verbinden können, bilden eine ideale Matrix. An ihnen könnte sich die Strukturbildung und -festigung vollzogen haben, die zu den ersten einfachen Informationsträgern führte. Die meisten Lehme bestehen aus mehreren Schichten Sauerstoffionen, zwischen denen jeweils eine Schicht positiv geladener Ionen (meist Silizium oder Aluminium) liegt. In vielen solcher Lehme kann eine Ionenart durch eine andere ersetzt werden, ohne daß die Wachstumsfähigkeit darunter leidet. Solche Substitutionsmuster können sehr kompliziert sein und die Oberflächenmuster des Lehms zu einer komplexen chemischen Struktur machen. Die Vererbung geschieht entweder durch direkte Angleichung des Musters, oder sie involviert die Bildung einer Art „Komplementär-Schicht“. „Kristallgene“ könnten also auf mechanische und chemische Weise Informationen hervorbringen und weitergeben; so konnten neue Generationen von kristallinen Formen entstehen.

Im Laufe der Evolution konnten organische Verbindungen in Lehmkristallen auf mehrere Arten dienen:

sie boten mechanische Stützung,, absorbierten unerwünschte Ionen, kontrollierten Größe und Struktur der Kristalle, halfen beim Einfangen anorganischer Ionen. Irgendwann verdrängten die ursprünglich als „Helfer“ fungierenden kohlenstoffgestützten Einheiten als kristallines Leben, als einige organische Formen innerhalb der Kristallstrukturen sich schneller zu reproduzieren begannen als ihre kristallinen Wirte. Sobald die Kristalle den ersten Strang einer sich selbst reduplizierenden und autokatalytischen RNA gebildet hatten,, konnten nukleinsäuregestützte Gene das kristalline Leben ablösen. So sind die Spiralstrukturen der RNA und DNA vielleicht nur Kopien eines kristallinen Originals, das den ursprünglichen Initiationskeim des Lebens darstellte.

Den Viren kommt in diesem Zusammenhang eine interessante Bedeutung zu. Außerhalb ihrer Wirtszelle verhalten sie sich wie unbelebte Kristallstrukturen, erst innerhalb eines Wirtsorganismus können sie sich durch Umstellung von dessen genetischem Apparat vermehren. Darüber hinaus kann sich virale RNA oder DNA im Genom vieler Lebewesen integrieren und so dessen Bestandteil werden. Einige Viren rekombinieren mit ihren Wirtsorganismen nehmen Teile davon auf und übertragen sie in andere Zellen oder Lebewesen. So haben Viren die einmalige Fähigkeiten, RNA und DNA über Artgrenzen hinweg zu übertragen. Viren dienen mittels ihrer RNA- und DNA-Moleküle der Informationsspeicherung und -weitergabe, beides wichtige Kennzeichen des Lebens.

Die Frage ist weiterhin, ob Nukleinsäuren oder Proteine die entscheidenden Faktoren in der Frühzeit des Lebens darstellten. Freeman Dyson ging in seinem Buch über „Die zwei Ursprünge des Lebens“ (1988) von der Grundannahme aus, daß Stoffwechsel und Informationsträger unabhängig voneinander entstanden sind. Es fand dann eine Übernahme statt, bei welcher die Informationsträger (DNA- und RNA-Moleküle) in urtümliche Zellen (Proteinkomplexe) eingedrungen sind, die zwar einen mehr oder minder kompletten Stoffwechsel aufwiesen, aber keine feste und beliebig replizierbare Information. Aus der Fusion von Stoffwechsel und Information wäre eine neue Qualität entstanden - Leben.

Dieser Vorgang war eine Form der Symbiose. Die Zellbiologin Lynn Margulis geht davon aus, daß die Bausteine der Erbinformation chemisch dem Molekül ATP (Adenosintriphosphat), der „Energiewährung der Zelle“, sehr ähnlich ist. ATP ist an den meisten wichtigen Umsetzungen von Energie in der Zelle beteiligt. Die Überschüsse aus dem ATP-Stoffwechsel könnten sich zunächst zu kurzkettigen DNA-Fragmenten verbunden haben, die wie Krankheitserreger auf den Stoffwechsel wirkten. Aufgrund massiver Abwehrreaktionen des Stoffwechsel schweißten die kleinen DNA-Bruchstücke zu größeren Einzeilen zusammen, die sich nun vermehrten und einer Art Parasiten entsprachen. Später wurden aus ihnen Symbionten. Damit wären keine unterstützenden anorganischen Grundstoffe wie Tonminerale oder Pyritkristalle notwendig, die

als oberflächengebende und informationsaufnehmende Struktur für das Genom dienten.

Die Gene, welche die Syntheseanweisungen für die Herstellung bestimmter Enzyme geben oder in andere funktionelle Abläufe im Organismus eingreifen, brauchen den Stoffwechsel und den Energieumsatz nicht für ihre Existenz. Sie nutzen ihn dazu, Kopien von sich selbst herzustellen, also für die Vermehrung der Gene. Der Gewinn neuer Informationen, die über Generationen weitergegeben werden können, und die Bewahrung der vorhandenen macht das Wesen der Gene in der Evolution aus.

Nach Richard Dawkins geht es bei der Evolution nicht um Individuen, sondern nur um Gene. Demnach sind wir alle konstruiert als Überlebensmaschinen unserer Gene. Aus der Perspektive des Gens sind wir automatische Überlebensmaschinen, und da Gene nicht fangen, essen oder herumlaufen können, müssen sie Stellvertreter haben: sie müssen Organismen bauen, die dies für sie tun. Diese Maschinen sind im voraus programmiert. Evolutionserfolg ist die Schaffung von Programmen, die nicht abstürzen; und dies stellen die Gene dar.

Der Verlauf der Evolution ist nicht durch eine Tendenz zur Höherentwicklung charakterisiert und ist erst recht nicht auf ein Ziel ausgerichtet. Die scheinbare Zunahme der Komplexität rührt allein daher, daß die ersten Organismen aus physikalischen und chemischen Gründen gerade so kompliziert waren wie zur Aufrechterhaltung der Lebensprozesse unbedingt notwendig. Höherentwicklungen und Komplexitätssteigerungen aufs Ganze gesehen sind selten und sporadisch. Bakterien haben ihren Komplexitätsgrad nie verändert, sondern nur ihre Verbreitung und Vielfalt erhöht. Während immer wieder einmal ein neues Zufallsprodukt in den höheren Sphären der Komplexität auftaucht und ein meist nur kurzes Zwischenspiel gibt, halten die Bakterien die ganze Zeit über ihre Position und erweitern ihre Vielfalt kontinuierlich. Ihre Ausbreitung ist das wirkliche Erfolgsgeheimnis der Evolution. Bakterien haben mehr Lebensräume besetzt und verfügen über ein breiteres biochemisches Repertoire als jede andere Organismengruppe.

Die Evolution - Zufall oder Notwendigkeit ?

Die Doppelhelix der DNA und der genetische Code stellen den heiligen Gral des Lebens dar. Die Basensequenzen mit den vier Bausteinen Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin codieren fast alle Lebensprozesse in den irdischen Organismen. Der genetische Code, wonach jeweils ein Triplet von drei Nukleinsäurebasen für eine Aminosäure codieren, gilt für fast alle auf der Erde existierende Organismen, für Mikroben, Pflanzen, Tiere und Menschen.

Nachdem die Doppelhelixstruktur der DNA und der genetische Code bereits in den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts entschlüsselt und in den 70er und 80er Jahren gentechnische Methoden mittels Restriktionsen-

zymen und der Polymerasekettenreaktion realisiert wurden, gingen schließlich Molekularbiologen und Geningenieure daran, die vollständige Basensequenz des menschlichen Genoms mit seinen etwa 100 000 Genen und 3 Milliarden Nukleotidbasen zu analysieren. Dieses „Human Genom Projekt“ ist multidisziplinär angelegt: Physiker und Ingenieure entwickeln Maschinen, mit denen die Entschlüsselung automatisiert und schnell vorangetrieben wird. Molekularbiologen und Genetiker ordnen die Daten ein und interpretieren sie. Informatiker erarbeiten Programme, die einen schnellen Zugriff auf die Daten und den Vergleich verschiedener Sequenzen innerhalb kurzer Zeit erlauben. Teil des Genomprojekts ist auch die Entschlüsselung der Genome sogenannter Vergleichsorganismen, wozu Mikroorganismen, Pflanzen und Tiere gehören.

Bereits 1995 wurde erstmals die komplette Genomsequenz eines Bakteriums entschlüsselt. Nach den zwei Eubakterien *Haemophilus influenzae* und *Mycoplasma genitalium* folgten bald die eukaryotische Bierhefe *Saccharomyces cerevisiae* und das Archaeobakterium *Methanococcus jannaschii*. Weitere Sequenzierungen gelangen unter anderem bei *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Mycoplasma pneumoniae*, *Helicobacter pylori*, *Borrelia burgdorferi* und *Mycobacterium tuberculosis*. Viele dieser Mikroben sind als Krankheitserreger bekannt: sie verursachen Lungenentzündungen, Magengeschwüre, die Lyme-Borreliose nach Zeckenstichen oder die Tuberkulose.

Die Größe des prokaryotischen Genoms beträgt zwischen 0,6 und 4,7 „Megabase“ (Millionen Nukleotidbasen). Verschiedene Cluster von duplizierten Genen kommen in verschiedenen Genomen vor. Ähnlichkeiten in der Gensequenz diverser Mikroben weisen auf eine evolutionäre Verwandtschaft hin.

Alle lebenden Organismen sind das Resultat einer enormen genetischen Expansion. Neue Gene entstehen aus alten Genen auf dem Weg der Duplikation und Modifikation (daneben gibt es auch eine Genschrumpfung durch Gendeletion). DNA-Abschnitte werden vervielfacht, abgewandelt und mit anderen verknüpft. Dieser rekombinatorische Austausch von Genabschnitten stellt die Essenz der Evolution dar. Diese Veränderungen gehen so langsam vor sich, daß verwandte Gene allein an der Basensequenz erkennbar sind. Das Naturgesetz, das auch den Menschen hervor gebracht hat, lautet, Bestehendes zu variieren und das Neue immer wieder der Selektion zu unterwerfen.

So entstand das Dogma, daß alle Kreaturen auf der Erde von einem gemeinsamen Urahn abstammen und einen fundamentalen Satz von Genen teilen. Zum Beispiel sind die Aminosäuresequenzen des Enzyms Triose-Phosphat-Isomerase von Menschen und dem Bakterium *E.coli* zu 45 Prozent identisch.

Das menschliche Genom mit seinen ungefähr 100 000 Genen ist viel größer als das etwa von *E.coli*, dem Hefepilz, dem Nematodenwurm *Caenorhabditis elegans* oder der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster*. Trotz dieser quantitativen Unterschiede zeigte sich, daß

sich die Lebewesen der Erde qualitativ sehr ähnelten; vor allem, als das Verständnis von Gen-Duplikationen wuchs, und „Genfamilien“ identifiziert wurden. Heute schon finden Forscher dieselben Gene im Menschen wie im Grippevirus oder in Bakterien, die heißem Wasser auf Vulkanschloten am Meeresgrund siedeln. Und alle Menschen untereinander sind zu über 99,9 Prozent identisch.

Eine wichtige Rolle in der Evolution spielten auch der horizontale Gentransfer und die Virusintegration, die ebenfalls für genetische Vielfalt sorgten. Virale RNA oder DNA kann sich im Genom vieler Lebewesen integrieren und so dessen Bestandteil werden. Einige Viren rekombinieren mit ihren Wirtsorganismen, nehmen Teile davon auf und übertragen sie in andere Zellen oder Lebewesen. So haben Viren die einmalige Fähigkeiten, RNA und DNA über Artgrenzen hinweg zu übertragen.

In Eukaryoten wird die codierende Information oft unterbrochen durch nichtcodierende Intron-Sequenzen. Nur etwa 5 Prozent der Genom-DNA codiert für ein Protein, die restlichen DNA-Sequenzen sind organisch gesehen genetischer Müll („junk-DNA“) ohne erkennbare Funktion. Was ist das Geheimnis der Introns?

Nahezu 100 Prozent der Bakterien-DNA codiert für Proteine, bei höheren Organismen liegt dieser Prozentsatz deutlich geringer, bei den Wirbeltieren wie dem Mensch bei unter 10 Prozent. Möglicherweise geht das Genom der höheren Lebewesen aus Duplikationen, Abwandlungen und Verknüpfungen bakterieller und viraler DNA hervor. Werden durch diese DNA-Rekombinationsprozesse Informationen generiert, die eine verschlüsselte Botschaft über die tiefen Geheimnisse der Natur darstellen? Und stellen die 90 Prozent junk-DNA in höheren Lebewesen das eigentliche Rätsel der Evolution dar, während 10 Prozent der DNA ausreichen, um einen anpassungs- und lebensfähigen Körper zu erschaffen, die in der jeweiligen Umwelt überleben kann?

Die Ordnung, in der Gene auf einem bakteriellen Chromosom erscheinen, ist nicht vollständig zufällig. „Operons“ sind Cluster von Genen, die mit derselben physiologischen Funktion assoziiert sind und die auf einem einzigen messenger RNA transkribieren. Die Hypothese des „selfish operon“ besagt, daß horizontal transferierte Gene viel besser funktionieren, wenn sie begleitet sind von anderen Genen, mit deren Produkten sie interagieren.

Lange Zeit glaubte man, daß das Spiel des Lebens durch eine Tendenz zur Höherentwicklung gekennzeichnet war. Aus dem Zusammenwirken von Nukleinsäurepartikeln und Proteinen entstanden erste lebende Organismen. Neben Prokaryoten (zu denen viele Bakterien gehören und Archaeobakterien (die häufig einen exotischen Stoffwechsel haben und extreme Lebensräume bewohnen) kamen bald die Eukaryoten mit einem abgegrenzten Zellkern. Aus Einzellern wurden

Vielzeller, und Organismen wie Weichtiere, Insekten oder Wirbeltiere entstanden.

Aber war die Evolution wirklich durch eine Höherentwicklung charakterisiert, was einen „Plan“ oder eine „Lenkung“ implizierte? Viele Forscher meinen inzwischen, daß die scheinbare Zunahme der Komplexität allein daher rührt, daß die ersten Organismen aus physikalischen und chemischen Gründen gerade so kompliziert waren wie zur Aufrechterhaltung der Lebensprozesse unbedingt notwendig. Höherentwicklungen und Komplexitätssteigerungen aufs Ganze gesehen sind selten und sporadisch. Bakterien haben ihren Komplexitätsgrad nie verändert, sondern nur ihre Verbreitung und Vielfalt erhöht.

Während immer wieder einmal ein neues Zufallsprodukt in den höheren Sphären der Komplexität auftaucht und ein meist nur kurzes Zwischenspiel gibt, halten die Bakterien die ganze Zeit über ihre Position und erweitern ihre Vielfalt kontinuierlich. Ihre Ausbreitung ist das wirkliche Erfolgsgeheimnis der Evolution. Bakterien haben mehr Lebensräume besetzt und verfügen über ein breiteres biochemisches Repertoire als jede andere Organismengruppe.

So stellt die genetische Vielfalt und Varianz das wesentliche Kennzeichen des Lebens dar. Die Biosphäre ist eine Art evolvierender Superorganismus. Die Gene sind die eigentlichen Akteure auf der Bühne des Lebens, die phänotypischen Ausformungen der Organismen stellen nur Überlebensmaschinen der Gene dar.