

2. Die Replikatoren

Am Anfang war Einfachheit. Es ist schwierig genug zu erklären, wie ein auch nur einfaches Universum begann. Ich glaube, wir sind uns darin einig, daß es noch schwieriger wäre, das plötzliche Entstehen einer vollständig entwickelten komplexen Ordnung zu erklären – des Lebens oder eines Wesens, das in der Lage ist, Leben zu schaffen. Die Darwinsche Lehre von der Evolution durch natürliche Auslese ist überzeugend, weil sie uns einen Weg zeigt, wie aus der Einfachheit Komplexität werden konnte, wie sich ungeordnete Atome zu immer komplexeren Strukturen gruppieren konnten, bis aus ihnen schließlich Menschen entstanden. Darwin hat die bisher einzig gangbare Lösung für das unergründliche Problem unserer Existenz geliefert. Ich will versuchen, seine großartige Theorie auf eine allgemeinere Art und Weise als üblich zu erklären, und ich beginne mit der Zeit, bevor die Evolution selbst ihren Anfang nahm.

Darwins „Überleben der Bestangepaßten“ ist in Wirklichkeit ein Sonderfall des allgemeineren Gesetzes vom *Fortbestand des Stablen*. Das Universum ist voll von stabilen Gebilden. Ein stabiles Gebilde ist eine Ansammlung von Atomen, die beständig oder verbreitet genug ist, um einen Namen zu verdienen. Es kann eine einzigartige Ansammlung von Atomen sein wie beispielsweise das Matterhorn, das lange genug besteht, so daß es sich lohnt, ihm einen Namen zu geben. Oder es kann eine *Klasse* von Gebilden sein, beispielsweise Regentropfen, die in ausreichend großer Menge entstehen, um einen Sammelnamen zu verdienen, selbst wenn jeder einzelne Regentropfen nur kurze Zeit existiert. Alle Dinge, die wir um uns herum sehen und die unserer Meinung nach

eine Erklärung verlangen – Felsen, Galaxien, Meereswellen –, sind mehr oder weniger stabile Anordnungen von Atomen. Seifenblasen sind gewöhnlich rund, weil dies eine stabile Gestalt für dünne gasgefüllte Filme ist. In einem Raumschiff ist Wasser ebenfalls in kugelförmiger Gestalt stabil, doch auf der Erde, unter dem Einfluß der Schwerkraft, ist die stabile Oberfläche für stehendes Wasser flach und horizontal. Salzkristalle zeigen eine Tendenz zu würfelförmiger Gestalt, denn dies ist eine Form, in der Natrium- und Chloridionen stabil zusammengepackt sein können. Im Innern der Sonne verschmelzen die einfachsten aller Atome, die Wasserstoffatome, miteinander und bilden Helium, weil unter den dort herrschenden Bedingungen die Heliumstruktur stabiler ist. Andere, sogar noch komplexere Atome werden in Sternen überall im Universum gebildet, und sie entstanden beim „Urknall“, der nach der vorherrschenden Theorie den Anfang des Universums bildete. Auch die Elemente unserer Erde haben darin letztlich ihren Ursprung.

Wenn Atome zusammentreffen, verbinden sie sich gelegentlich in einer chemischen Reaktion miteinander und bilden Moleküle, die mehr oder weniger stabil sein können. Solche Moleküle können sehr groß sein. Ein Kristall wie beispielsweise ein Diamant kann als ein einziges Molekül betrachtet werden, ein sprichwörtlich stabiles in diesem Fall, aber auch ein sehr einfaches, da sich seine innere Atomstruktur endlos wiederholt. In den heute lebenden Organismen gibt es andere große Moleküle, die äußerst komplex sind und deren Komplexität sich auf verschiedenen Ebenen zeigt. Das Hämoglobin unseres Blutes ist ein typisches Proteinmolekül. Es ist aus aneinandergereihten kleineren Molekülen, den Aminosäuren, aufgebaut, von denen jede circa zwei Dutzend in einem bestimmten Muster angeordnete Atome enthält. Das Hämoglobinmolekül besteht aus 574 Aminosäuremolekülen. Diese sind in vier Ketten angeordnet, welche sich umeinander schlingen und eine kugelförmige dreidimensionale Struktur von verwirrender Komplexität bilden. Das Modell eines Hämoglobinmoleküls

sieht etwa wie ein dichter Dornbusch aus. Aber im Gegensatz zu einem wirklichen Dornbusch ist es nicht ein zufälliges, ungefähres Muster, sondern eine bestimmte, unwandelbare Struktur, die sich in identischer Gestalt mehr als sechstausend Trillionen Mal in einem menschlichen Körper wiederholt, wobei sich kein einziges Ästchen und keine einzige Biegung am falschen Platz befindet. Die exakte Dornbuschgestalt eines Eiweißmoleküls wie des Hämoglobins ist stabil in dem Sinne, daß zwei aus denselben Aminosäuresequenzen bestehende Ketten dazu tendieren werden, wie zwei Sprungfedern in genau derselben dreidimensionalen Spiralstruktur zur Ruhe zu kommen. Hämoglobin-Dornbüsche springen in unserem Körper mit einer Geschwindigkeit von 400 Billionen pro Sekunde in ihre „bevorzugte“ Gestalt, und andere werden mit der gleichen Geschwindigkeit zerstört.

Das Hämoglobin ist ein modernes Molekül, von mir benutzt zur Erläuterung des Prinzips, daß Atome dazu tendieren, stabile Strukturen zu bilden. Der entscheidende Punkt dabei ist, daß bereits vor der Entstehung des Lebens auf der Erde eine gewisse rudimentäre Evolution von Molekülen durch gewöhnliche physikalische und chemische Prozesse stattgefunden haben könnte. Es besteht keinerlei Notwendigkeit, sich dabei einen Plan, eine Absicht oder ein Gerichtetsein vorzustellen. Wenn eine Gruppe von Atomen unter Einwirkung von Energie eine stabile Struktur ausbildet, bleibt diese gewöhnlich stabil. Die früheste Form der natürlichen Auslese war einfach eine Selektion stabiler und ein Verwerfen instabiler Formen. Daran ist nichts Geheimnisvolles. Es mußte *per definitionem* geschehen.

Daraus folgt natürlich nicht, daß man die Existenz so komplexer Gebilde, wie der Mensch eines ist, allein mit diesen Prinzipien erklären kann. Der Versuch, die richtige Zahl von Atomen unter Zugabe von etwas Energie durcheinanderzuschütteln, bis sie zufällig die richtige Struktur einnehmen und Adam dabei herauskommt, hätte wenig Sinn. Man kann auf diese Weise vielleicht ein Molekül herstellen, das aus ein paar Dutzend Atomen besteht,

aber ein Mensch besteht aus über tausend Quadrillionen Atomen. Wollten wir versuchen, einen Menschen zu machen, so müßten wir unseren biochemischen Cocktailbecher so lange schütteln, daß uns das gesamte Alter des Universums demgegenüber nur wie ein Augenblick erschiene, und selbst dann würde es uns nicht gelingen. An diesem Punkt kommt uns Darwins Theorie in ihrer allgemeinsten Form zu Hilfe. Sie führt dort weiter, wo die Geschichte der langsamen Konstruktion der Moleküle endet.

Die Darstellung, die ich vom Ursprung des Lebens geben werde, ist zwangsläufig spekulativ; definitionsgemäß war niemand in der Nähe, der hätte sehen können, was geschah. Es gibt eine Reihe rivalisierender Theorien, doch haben sie alle bestimmte Züge gemein. Meine vereinfachte Darstellung ist wahrscheinlich nicht allzuweit von der Wahrheit entfernt.¹

Wir wissen nicht, welche chemischen Rohstoffe vor der Entstehung des Lebens auf der Erde vorherrschten, zu den plausiblen Möglichkeiten gehören jedoch Wasser, Kohlendioxid, Methan und Ammoniak: alles einfache Verbindungen, von denen man weiß, daß sie auf zumindest einigen der übrigen Planeten in unserem Sonnensystem vorhanden sind. Die Chemiker haben versucht, die chemischen Bedingungen der jungen Erde zu imitieren. Sie haben diese einfachen Substanzen in ein Reaktionsgefäß gegeben und eine Energiequelle, beispielsweise ultraviolettes Licht oder elektrische Funken, zugefügt – die Simulation eines Urgeitters. Nach ein paar Wochen findet man in dem Gefäß gewöhnlich etwas Interessantes: eine dünne braune Suppe, die eine Vielzahl von Molekülen enthält, welche komplexer sind als die ursprünglich hineingegebenen. Insbesondere hat man Aminosäuren gefunden – die Bausteine der Proteine, eine der zwei großen Klassen biologischer Moleküle. Vor Durchführung dieser Experimente hätte man natürlich vorkommende Aminosäuren als Zeichen für die Existenz von Leben angesehen. Wären sie beispielsweise auf dem Mars entdeckt worden, so hätte man es für so gut wie sicher gehalten, daß auf diesem Planeten Leben existiert.

Heute jedoch braucht ihre Existenz lediglich das Vorhandensein ein paar einfacher Gase in der Atmosphäre sowie einiger Vulkane, etwas Sonnenlichtes oder gewitterreichen Wetters zu bedeuten. In jüngerer Zeit bildeten sich in Laborversuchen, in denen die chemischen Bedingungen auf der Erde vor der Entstehung des Lebens simuliert wurden, organische Substanzen, die man als Purine und Pyrimidine bezeichnet. Diese sind Bausteine des genetischen Moleküls, der Desoxyribonucleinsäure (DNA) selbst.

Analog verlaufende Prozesse müssen zur Entstehung der sogenannten Ursuppe geführt haben, aus der, wie Biologen und Chemiker glauben, vor ungefähr drei bis vier Milliarden Jahren die Meere bestanden. Die organischen Substanzen konzentrierten sich an einigen Stellen, vielleicht in dem trocknenden Schaum an den Ufern oder in winzigen, fein verteilten Tröpfchen. Unter dem weiteren Einfluß von Energie, beispielsweise ultravioletttem Sonnenlicht, verbanden sie sich zu größeren Molekülen. Heutzutage würden große organische Moleküle nicht lange genug bestehen, um bemerkt zu werden: Sie würden schnell von Bakterien oder anderen Lebewesen absorbiert oder aufgespalten werden. Doch die Bakterien und wir anderen Lebewesen kamen erst sehr viel später; zu jener Zeit konnten große organische Moleküle ungestört durch die immer dicker werdende Brühe dahintreiben.

Irgendwann bildete sich zufällig ein besonders bemerkenswertes Molekül. Wir nennen es **Replikator**. Es war vielleicht nicht unbedingt das größte oder komplizierteste Molekül ringsumher, aber es besaß die außergewöhnliche Eigenschaft, Kopien seiner selbst herstellen zu können. Es mag uns sehr unwahrscheinlich vorkommen, daß sich ein derartiger Zufall ereignet haben soll. Und das war es auch. Es war sogar mehr als unwahrscheinlich. Während eines Menschenalters können Dinge, die derart unwahrscheinlich sind, als praktisch unmöglich angesehen werden. Deshalb gelingt uns nie ein Haupttreffer im Fußballtoto. Aber bei unseren menschlichen Begriffen davon, was wahrscheinlich ist und

was nicht, sind wir nicht gewohnt, mit Hunderten von Jahrmillionen zu rechnen.

Würden wir hundert Millionen Jahre lang jede Woche unseren Lottozettel ausfüllen, so würden wir sehr wahrscheinlich mehrere Male den Haupttreffer machen.

Tatsächlich ist ein Molekül, das Kopien seiner selbst herstellt, nicht so schwer vorstellbar, wie es zunächst scheint, und es brauchte auch nur ein einziges Mal vorzukommen. Denken wir uns den Replikator als eine Gußform oder eine Schablone. Stellen wir ihn uns als ein großes Molekül vor, das aus einer komplexen Kette verschiedener Arten von Bausteinmolekülen besteht. Die kleinen Bausteine waren in der den Replikator umgebenden Suppe reichlich vorhanden. Nehmen wir nun an, daß jeder Baustein eine Affinität für seine eigene Art besitzt. Dann werden in der Suppe schwimmende Bausteine, die in die Nähe eines Replikarteiles geraten, für das sie eine Affinität besitzen, wahrscheinlich daran hängenbleiben. Die sich auf diese Weise anheftenden Bausteine werden automatisch in einer Reihenfolge angeordnet, die diejenige des Replikators nachahmt. Es ist nicht schwer, sich als nächstes vorzustellen, daß sie sich genau wie bei der Bildung des ursprünglichen Replikators zu einer stabilen Kette verbinden. Dieser Prozeß könnte sich als ein fortwährendes Aufstapeln, Schicht um Schicht, fortsetzen. So entstehen Kristalle. Andererseits können sich die beiden Ketten auch voneinander lösen; in diesem Fall haben wir zwei Replikatoren, die beide weitere Kopien produzieren können.

Eine kompliziertere Möglichkeit ist die, daß die einzelnen Bausteine keine Affinität für ihre eigene Art besitzen, sondern daß eine wechselseitige Affinität zwischen jeweils zwei verschiedenen Arten besteht. Dann würde der Replikator nicht als Schablone für eine identische Kopie, sondern für eine Art Negativ dienen, das seinerseits wieder eine genaue Kopie des ursprünglichen Positivs herstellen würde. Für unsere Zwecke ist es gleichgültig, ob der ursprüngliche Kopiervorgang positiv-negativ oder positiv-po-

sitiv verlief; es ist allerdings erwähnenswert, daß die modernen Äquivalente des ersten Replikators, die DNA-Moleküle, positiv-negativ kopieren. Entscheidend ist, daß plötzlich eine neue Art von „Stabilität“ auf die Welt kam. Bis dahin gab es wahrscheinlich kein bestimmtes komplexes Molekül, das sehr reichlich in der Suppe vorkam, weil jede Molekülart davon abhängig war, daß die Bausteine sich zufällig zu einer bestimmten stabilen Gestalt zusammenfügten. Sobald der Replikator geboren war, muß er seine Kopien rasch über alle Meere verbreitet haben, bis die kleineren Bausteinmoleküle zu einer knappen Ressource wurden und sich immer seltener andere große Moleküle bildeten.

Damit scheinen wir zu einer großen Population von identischen Kopien zu gelangen. Doch jetzt müssen wir eine wichtige Eigenschaft jedes Kopiervorgangs erwähnen: Er ist nicht vollkommen. Es kommen Fehler vor. Ich hoffe, daß es in diesem Buch keine Druckfehler gibt, wenn der Leser aber genau darauf achtet, wird er vielleicht einen oder zwei finden. Sie werden die Bedeutung der Sätze wahrscheinlich nicht ernstlich verzerren, weil es sich bei ihnen um „Fehler in der ersten Generation“ handelt. Doch denken wir an die Zeiten, als der Buchdruck noch nicht erfunden war und solche Bücher wie die Evangelien handschriftlich kopiert wurden. Jedem Schreiber, so sorgfältig er auch sein mag, unterläuft ab und an ein Fehler – und nicht jeder ist dagegen gefeit, eine kleine bewußte „Verbesserung“ anzubringen. Würden alle von einem einzigen Original abschreiben, so würde die Bedeutung nicht sehr entstellt. Werden aber Kopien von Kopien hergestellt, die ihrerseits von anderen Kopien gemacht wurden, so fangen die Fehler an, sich zu häufen und gravierend zu werden. Wir halten unzuverlässiges Kopieren gewöhnlich für etwas Schlechtes, und was unsere menschlichen Dokumente betrifft, kann man sich in der Tat schwer ein Beispiel denken, bei dem Fehler als Verbesserungen gelten könnten. Ich denke, man kann von den Gelehrten, die die Septuaginta (die älteste griechische Übersetzung des Alten Testaments) verfaßt haben, zumindest sagen, daß sie etwas in

Gang gesetzt haben, was weite Kreise ziehen sollte, als sie das hebräische Wort für „junge Frau“ in das griechische Wort für „Jungfrau“ übersetzten und zu der Prophezeiung gelangten: „Siehe, die Jungfrau wird schwanger werden und einen Sohn gebären ...“.² Wie dem auch sei, wir werden noch sehen, daß bei den biologischen Replikatoren fehlerhaftes Kopieren zu realen Verbesserungen führen kann und daß eine gewisse Anzahl von Fehlern für die fortschreitende Evolution des Lebens notwendig ist. Wir wissen nicht, wie exakt die ursprünglichen Replikatormoleküle ihre Kopien machten. Ihre modernen Abkömmlinge, die DNA-Moleküle, sind im Vergleich zu den genauesten Kopiervorgängen des Menschen erstaunlich wiedergabegetreu, aber sogar ihnen unterlaufen gelegentlich Fehler, und letzten Endes sind es diese Fehler, die eine Evolution möglich machen. Wahrscheinlich waren die ursprünglichen Replikatoren bei weitem unzuverlässiger; jedenfalls können wir sicher sein, daß Fehler vorkamen, und diese Fehler waren kumulativ.

In dem Maße, wie falsche Kopien hergestellt und verbreitet wurden, füllte sich die Ursuppe mit einer Population, die nicht aus identischen Kopien, sondern aus mehreren Varianten sich replizierender Moleküle bestand, die alle von dem gleichen „Vorfahren“ abstammten. Ob wohl einige Varianten häufiger waren als andere? Fast mit Sicherheit ja. Bestimmte Moleküle dürften von Natur aus besonders stabil gewesen sein. Nachdem sie einmal gebildet waren, brachen sie mit geringerer Wahrscheinlichkeit wieder auseinander als andere. Falls es solche Typen gab, mußten sie in der Ursuppe relativ zahlreicher werden, nicht nur als eine unmittelbare logische Folge ihrer „Langlebigkeit“, sondern auch deshalb, weil sie viel Zeit zur Verfügung hatten, um Kopien von sich herzustellen. Die Zahl der langlebigen Replikatoren dürfte daher zugenommen haben, und falls die übrigen Umstände unverändert blieben, mußte es in der Molekülpopulation einen „evolutionären Trend“ zu größerer Langlebigkeit geben.

Doch die übrigen Umstände blieben wahrscheinlich nicht gleich, und eine weitere Eigenschaft, die eine erfolgreiche Replikatorvariante gehabt haben dürfte und die sogar von noch größerer Bedeutung für ihre Verbreitung in der Population gewesen sein muß als die Langlebigkeit, ist die Reproduktionsgeschwindigkeit oder „Fruchtbarkeit“. Wenn die Replikatormoleküle des Typs A sich durchschnittlich einmal pro Woche reproduzieren, diejenigen des Typs B dagegen einmal pro Stunde, so läßt sich unschwer erkennen, daß die Moleküle des Typs A ziemlich bald zahlenmäßig unterlegen sein werden, selbst wenn sie viel länger „leben“ als B-Moleküle. Daher dürfte es in der Ursuppe einen „evolutionären Trend“ zu höherer „Fruchtbarkeit“ der Moleküle gegeben haben. Ein drittes Charakteristikum von Replikatormolekülen, das positiv selektiert worden wäre, ist die Kopiergenauigkeit. Wenn Moleküle vom Typ X und vom Typ Y die gleiche Lebensdauer haben und die gleiche Reproduktionsrate aufweisen, X jedoch bei einer von zehn Kopien einen Fehler macht, während Y nur bei jeder hundertsten Kopie ein Fehler unterläuft, so wird Y offensichtlich zahlreicher werden. Das X-Kontingent in der Population verliert nicht nur die abweichenden „Kinder“ selbst, sondern auch alle ihre – tatsächlichen oder potentiellen – Nachkommen.

Wenn der Leser bereits etwas über Evolution weiß, wird er den letzten Punkt vielleicht ein wenig paradox finden. Können wir den Gedanken, daß Kopierfehler eine wesentliche Voraussetzung für das Stattfinden von Evolution sind, mit der Behauptung in Einklang bringen, daß die natürliche Auslese eine höhere Wiedergabetreue begünstigt? Die Antwort ist, daß Evolution zwar in irgendeinem vagen Sinne „etwas Gutes“ zu sein scheint – vor allem da sie uns Menschen hervorgebracht hat –, daß aber tatsächlich keinerlei „Wunsch“ nach Evolution besteht. Evolution ist etwas, das wohl oder übel geschieht, ungeachtet aller Anstrengungen der Replikatoren (und heutzutage der Gene), sie zu verhindern. Jacques Monod machte dies in seiner Herbert-Spencer-Vorlesung recht deutlich, nachdem er boshaft bemerkt hatte: „Ein weiterer

seltsamer Aspekt der Evolutionstheorie ist der, daß jedermann denkt, er verstehe sie!“

Kehren wir zur Ursuppe zurück: Sie muß zunehmend von stabilen Molekülvarianten bevölkert worden sein; stabil insoweit, als die einzelnen Moleküle entweder langlebig waren oder sich schnell oder genau replizierten. Es bestand eine Art evolutionärer Trend zu diesen drei Arten von Stabilität: Hätte man zu zwei verschiedenen Zeiten Stichproben aus der Suppe entnommen, so hätte die spätere Stichprobe einen höheren Prozentsatz von Varianten mit höherer Langlebigkeit/Fruchtbarkeit/Wiedergabegenauigkeit enthalten. Dies entspricht im wesentlichen dem, was ein Biologe mit Evolution meint, wenn er von Lebewesen spricht, und der Mechanismus ist der gleiche: natürliche Auslese.

Sollten wir dann die ursprünglichen Replikatormoleküle als „lebendig“ bezeichnen? Wen kümmert das schon? Ich könnte zu jemandem sagen: „Darwin war der größte Mensch, der jemals gelebt hat“, und er könnte antworten: „Nein, das war Newton“, aber ich hoffe, wir würden die Diskussion nicht fortsetzen. Tatsache ist, daß unsere Diskussion, wie auch immer sie ausginge, nichts Wesentliches ändern würde. Die Fakten in bezug auf Leben und Leistung von Newton und Darwin bleiben völlig unverändert davon, ob wir sie „groß“ nennen oder nicht. Gleichermaßen hat sich die Geschichte der Replikatormoleküle wahrscheinlich ungefähr so abgespielt, wie ich sie schildere, ohne Rücksicht darauf, ob wir beschließen, diese Moleküle als „lebendig“ zu bezeichnen oder nicht. Wieviel menschliches Leid hat es gegeben, weil zu viele von uns nicht begreifen können, daß Worte nur Werkzeuge sind, die wir benutzen, und daß die bloße Existenz eines Wortes wie „lebendig“ in unserem Lexikon nicht zwangsläufig bedeutet, daß es sich auf etwas Bestimmtes in der realen Welt beziehen muß. Ganz gleich, ob wir die frühen Replikatoren lebendig nennen oder nicht, sie waren die Vorläufer des Lebens, sie waren unsere Stammväter!



<http://www.springer.com/978-3-642-55390-5>

Das egoistische Gen

Mit einem Vorwort von Wolfgang Wickler

Dawkins, R.

2007, XL, 489 S., Softcover

ISBN: 978-3-642-55390-5