

Biologie



Spektrum
AKADEMISCHER VERLAG

Sachbuch

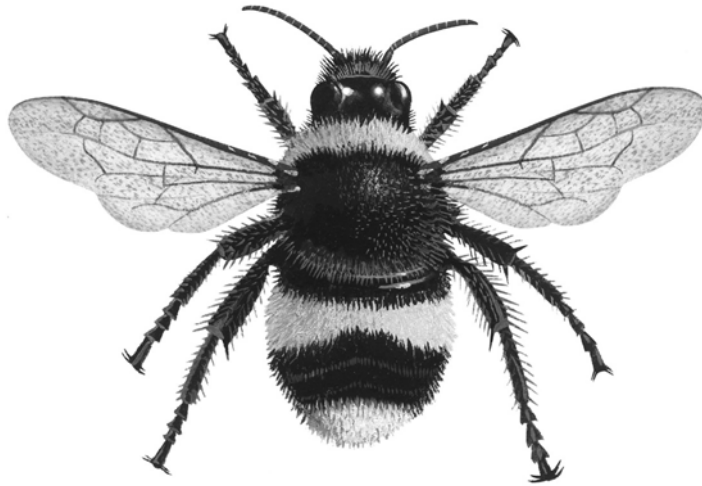
JV Chamary

50 **schlüssel**
ideen

JV Chamary

50 Schlüsselideen

Biologie



Aus dem Englischen übersetzt von Monika Niehaus

 Springer

Inhalt

Einleitung	3	27 Altern	108
01 Evolution	4	28 Stammzellen	112
02 Gene	8	29 Befruchtung	116
03 Die Zelle	12	30 Embryogenese	120
04 Der Ursprung des Lebens	16	31 Morphologie	124
05 Der Baum des Lebens	20	32 Farbmuster	128
06 Sex	24	33 Immunität	132
07 Vererbung	28	34 Homöostase	136
08 Rekombination	32	35 Stress	140
09 Mutation	36	36 Innere Uhren	144
10 Die Doppelhelix	40	37 Schlaf	148
11 Der genetische Code	44	38 Gedächtnis	152
12 Genexpression	48	39 Intelligenz	156
13 Proteinfaltung	52	40 Menschen	160
14 Junk-DNA	56	41 Bestäubung	164
15 Epigenetik	60	42 Die Rote Königin	168
16 Der Phänotyp	64	43 Ökosysteme	172
17 Endosymbiose	68	44 Natürliche Selektion	176
18 Zellatmung	72	45 Gendrift	180
19 Photosynthese	76	46 Das egoistische Gen	184
20 Zellteilung	80	47 Kooperation	188
21 Der Zellzyklus	84	48 Artbildung	192
22 Krebs	88	49 Aussterben	196
23 Viren	92	50 Synthetische Biologie	200
24 Prionen	96		
25 Vielzelligkeit	100	Glossar	204
26 Kreislauf	104	Index	206

Einleitung

Was ist Leben? Biologie ist das Studium des Lebens; bevor wir uns mit den wichtigsten Konzepten der Biologie beschäftigen, sollten wir daher wohl eine grobe Vorstellung davon haben, was „Leben“ eigentlich ist. Wenn man jedoch in einem Lexikon nachschlägt, beißt sich die Katze häufig in den Schwanz. Die dortigen Definitionen verwenden Begriffe wie „Lebewesen“ (mit anderen Worten: Leben), „Organismen“ (wieder Leben) und „Tiere und Pflanzen“ (stimmt, wieder Leben!).

Die Biologie ist eine Wissenschaft voller Ausnahmen, was verständlich macht, warum Leben so schwer zu definieren ist. Denken Sie beispielsweise an Viren: Viele Biologen betrachten Viren nicht als lebendig, weil sie sich außerhalb einer Wirtszelle nicht vermehren können. Aber damit ignorieren sie Fälle wie *Mycobacterium leprae*, einen intrazellulären Parasiten, der ebenfalls nicht unabhängig existieren kann. Kaum überraschend, dass sich Wissenschaftler nicht auf eine einzige Definition haben einigen können.

Während es in der Physik zahlreiche Gesetze gibt, hat die Biologie nur ein einziges, nämlich die Evolution – auch wenn die Fortpflanzung Gene erfordert und Organismen aus Zellen bestehen. Die ersten drei Kapitel dieses Buches beschäftigen sich mit diesen grundlegenden Themen, bevor wir uns dem Ursprung des Lebens – eigentlich der Chemie – und dem Stammbaum des Lebens zuwenden. Die folgenden Kapitel sind in vier Abschnitte zunehmender Organisationshöhe unterteilt: Gene (Kapitel 6 bis 16), Zellen (17 bis 24), Körper (25 bis 40) und Populationen (41 bis 50). Dabei werden wir Menschen ebenso wie die Viren mit einem eigenen Kapitel bedacht – was uns zu unserer großen Eingangsfrage zurückführt.

Es gibt zwei Möglichkeiten, Leben zu definieren: anhand dessen, was es *hat*, und anhand dessen, was es *tut* – Merkmale wie Zellen und Prozesse wie die Fortpflanzung. Meines Erachtens sind Viren lebendig; daher lassen Sie uns sagen, Leben „hat“ einen Behälter, um die Zelle und die virale Hülle aufzunehmen. Was das „Tun“ angeht, so repliziert (reproduziert) sich ein Körper, und Populationen passen sich durch eine Evolution mittels natürlicher Auslese an Umweltbedingungen an. Was also ist Leben? Hier meine Definition: Leben ist eine sich selbst enthaltende Einheit, die über die Fähigkeit verfügt, sich zu replizieren und anzupassen. Diese Definition funktioniert, ist aber nicht besonders griffig. Wenn Sie nach der Lektüre dieses Buches mit einer besseren aufwarten können, dann würde ich sie wirklich gerne hören.

01 Evolution

Sämtliche Organismen in Vergangenheit und Gegenwart sind durch die Evolution miteinander verbunden und stammen von einem gemeinsamen Vorfahr ab. Der Wandel im Lauf der Zeit wird durch genetische Mutationen und Anpassungen an Umweltbedingungen vorangetrieben. Dieser Prozess hat sich seit dem ersten Auftreten von Leben auf der Erde ununterbrochen fortgesetzt und zu der Artenvielfalt geführt, die wir heute sehen.

Leben bildet eine einzige große Familie, und Sie sind ein einzelnes Blatt an einem unvorstellbar großen Stammbaum. Die Menschen stammen zwar nicht von heute lebenden Affen ab, doch wir sind alle Primaten – also Vetter. Zu unseren weit entfernten Verwandten zählen alle Lebewesen von Bakterien bis zu Vögeln, und sämtliche Organismen stammen von einem gemeinsamen Vorfahr ab, einem Verband einfacher Zellen, die die Urahnen allen Lebens auf Erden waren. Aber auch wenn wir durch eine gemeinsame Abstammung miteinander verwandt sind, sind wir letztlich verschieden, denn jede gegebene Population – eine Familie, eine Art, das Tierreich – kann sich im Lauf der Zeit verändern. Das ist die eine Hälfte der Evolutionstheorie, oder wie Charles Darwin es nannte, die „Abstammung mit Abänderung“.

Mutation Bis ins 19. Jahrhundert nahm man allgemein an, Lebewesen bildeten fest umrissene, unveränderliche Arten. Dann, im Jahr 1809, stellte der französische Naturforscher Jean-Baptiste Lamarck seine Idee eines Artenwandels (Transmutation) vor. In seinem Buch *Philosophie Zoologique* stellte er die These auf, dass sich Arten aufgrund des Umweltdrucks verändern. Lamarck hatte recht, was den Grund für die Veränderung von Organismen anging, irrte sich aber, was den Modus betraf. Er nahm an, Anpassungen könnten im Lauf des individuellen Lebens erworben und an die nächste Generation weitergegeben werden – der Hals der Giraffe sei länger, weil ihre Vorfahren sich reckten, um die Wipfel hoher Bäume zu erreichen.

Lamarcks Theorie von der Vererbung erworbener Eigenschaften wurde verworfen, als Wissenschaftler erkannten, dass Körperzellen keine Merkmale weitergeben können. 1883 bezeichnete der deutsche Biologe August Weismann dies als Keimplasma-

Zeitleiste

1809

Lamarck stellt seine Theorie der Evolution vor, bei der sich die Arten im Lauf der Zeit verändern

1859

Darwins *Über die Entstehung der Arten* erklärt Anpassung durch natürliche Auslese

1865

Die Mendel'schen Vererbungsgesetze verweisen auf Gene als eigenständige Einheiten der Vererbung

theorie: Nur Keimzellen wie Spermien und Eizellen tragen Erbinformation. 1865 bewies der österreichische Mönch Gregor Mendel, dessen Kreuzungsexperimente mit Erbsen 1900 wiederentdeckt wurden, dass Merkmale in Form von einzelnen Teilchen – die wir heute Gene nennen – vererbt werden.

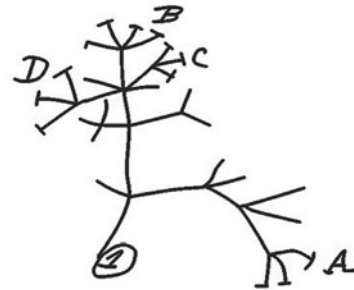
Heute denken wir bei „Mutation“ (wörtlich „Veränderung“) sofort an genetische Mutationen und ihren Einfluss auf die Merkmale eines Individuums, wie Stoffwechsel und Erscheinungsbild. Mutationen sind letztendlich die Quelle biologischer Variation und liefern der Natur den Rohstoff für die Eliminierung von Organismen, die nicht genügend an ihre Umwelt angepasst sind. Das ist die zweite Hälfte von Darwins Evolutionstheorie – die natürliche Auslese.

Anpassung (Adaptation) Darwin veröffentlichte *Über die Entstehung der Arten* 1859; in diesem Buch beschrieb er die Vielfalt des Lebens und die Mechanismen, die Populationen dazu treiben, sich an ihre Umwelt anzupassen: Evolution durch natürliche Selektion. Diese Theorie ist oft zu *survival of the fittest* vereinfacht worden, was ein wenig irreführend ist. Erstens spielt beim Begriff „Fitness“ offensichtlich nicht nur die körperliche Leistungsfähigkeit eine Rolle – in der Biologie meint Fitness die Fähigkeit zum Überleben und zur Fortpflanzung. Zweitens kürt der Umweltdruck, der die Natur – etwa beim Wettstreit um Ressourcen oder Geschlechtspartner – zur Wahl zwischen Individuen veranlasst, nicht unbedingt die Besten, sondern schiebt lediglich die schlechtesten aus. Besser stellt man sich die natürliche Auslese als „Eliminieren der am schlechtesten Angepassten“ vor.

Die natürliche Selektion ist die Haupttriebkraft der Evolution, aber sie ist nicht der einzige Faktor, der beeinflusst, wie sich Populationen verändern. Das Gegenteil der

Darwins Stammbaum des Lebens

Charles Darwins erste Skizze, in der die Beziehungen zwischen Organismen dargestellt sind, aus Notizbuch B über den „Artenwandel“ (1837). Diese frühe Zeichnung eines Stammbaums zeigt einen gemeinsamen Vorfahr (gekennzeichnet mit „1“). Äste, die mit einem „T“ enden (gekennzeichnet mit A, B, C und D) symbolisieren Lebewesen (rezente Gruppen), die anderen ausgestorbene Gruppen.



1883

Nach Weismann werden Merkmale nur durch Keimzellen weitergegeben

1910

Morgan und Studenten zeigen, dass genetische Mutationen die Quelle der Variation sind

1930er-Jahre

Die moderne Synthetische Evolutionstheorie kombiniert natürliche Auslese und Genetik

natürlichen Selektion ist die „negative Selektion“, ein Prozess, der unnötige Veränderungen verhindert, ganz nach dem Motto: Wenn's nicht kaputt ist, braucht man's auch nicht zu reparieren. Eine Mutation kann auch einen derart geringfügigen Einfluss auf

„... dass ... aus so einfachem Anfange sich eine endlose Reihe der schönsten und wundervollsten Formen entwickelt hat und noch immer entwickelt.“

Charles Darwin

ein Individuum haben, dass sie keinem Selektionseinfluss unterliegt; daher hängt das Schicksal einer Mutation im Genpool der Population vom Zufall oder von einer zufälligen „Gendrift“ ab. In den 1930er-Jahren ließen Populationsgenetiker solche Überlegungen in die Theorie der natürlichen Auslese einfließen und schufen so die moderne Synthetische Evolutionstheorie oder den „Neodarwinismus“.

Die Evolution lässt sich mit einem Auto auf einer leicht abschüssigen Straße vergleichen. Das Gefährt rollt, infolge von Fortpflanzung und Gendrift, langsam den Hang hinab. Um anzuhalten und die Szenerie rundum zu bewundern, treten Sie auf die Bremse (negative Selektion). Um zu beschleunigen und sich anzupassen, geben Sie Gas, mit Mutation und Variation als Treibstoff (natürliche Selektion).

Die Evolutionstheorie Missverständnisse hinsichtlich der „Evolutionstheorie“ hängen zum Teil mit dem Unterschied zwischen populärem und wissenschaftlichem Sprachgebrauch zusammen. Die Biologen sind sich einig, dass Evolution stattfindet – sie ist eine Tatsache, sie ist wahr –, doch über Details der zugrunde liegenden Mechanismen, also über die Theorie, kann man unterschiedlicher Meinung sein. Die Öffentlichkeit verwechselt „Theorie“ häufig mit „Hypothese“ (eine Hypothese ist eine prüfbare Vorhersage, eine Theorie ist das Gerüst für Ideen). Wie jede wissenschaftliche Theorie werden die Details ständig verfeinert – genauso, wie die Gravitationstheorie heute nicht mehr auf Newtons Gesetz einer universellen Schwerkraft beruht, sondern durch Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie erweitert wurde. „Evolution“ ist ein weiterer verwirrender Begriff. Er bedeutet so viel wie „Entfaltung“, womit jegliche graduelle Veränderung gemeint ist, wird aber oft gleichbedeutend mit Fortschritt oder Entwicklung verwendet.

Natürliche Anpassungen sind so erstaunlich, dass man sich nur schwer vorstellen kann, wie sie durch zahlreiche evolutionäre Schritte entstanden sein können. Das führt zu falschen Schlüssen wie denen des christlichen Philosophen William Paley, der 1902 die Komplexität des Lebens mit der raffinierten Funktionsweise eines Uhrwerks verglich. Dieses kreationistische Denken, das heute in der Idee vom „Intelligent Design“ eine Renaissance erlebt, ist ein logischer Trugschluss, der auf einem „Argument aus Nichtwissen“ oder „Gott als Lückenbüßer“ beruht. In beiden Fällen gilt: Wenn, bei Laien oder Experten, eine Lücke im Verständnis vorliegt, etwa ein „fehlendes Glied“

Intelligent Design

Intelligent Design (ID) basiert auf der Vorstellung, Lebewesen seien so komplex, dass sie von einem intelligenten Designer geschaffen worden sein müssen, beispielsweise von Gott oder von Außerirdischen. ID benutzt zwei Hauptargumente: Das Konzept der „spezifizierten Komplexität“ besagt, die biologische Information, die für Muster und Merkmale codiert, sei so unglaublich komplex, dass eine zufällige Entwicklung praktisch ausgeschlossen sei. Im Gegensatz zu wissenschaftlichen Theorien macht dieses Konzept keine überprüfbaren Voraussagen, die sich bewahrheiten könnten oder falsifizieren ließen; vielmehr sucht es mithilfe von Algorithmen in abstrakten Beispielen intelligente

Muster zu entdecken. Mit „nichtreduzierbarer Komplexität“ wird behauptet, gewisse biologische Systeme seien zu komplex, um sich aus einfacheren Teilen entwickelt zu haben. Ein Beispiel ist das Flagellum (der peitschenartige „Schwanz“, den einige Bakterien zur Fortbewegung nutzen), das mit einer Mausefalle verglichen wird. In beiden Fällen gilt: Reduziert man das System auf eine Kombination seiner Teile, funktioniert es nicht mehr. Die evolutionäre Erklärung lautet, dass Teile eines Systems in einem Stufenprozess auftreten können. So benutzen manche Bakterien Teile des Flagellums, um sich an Oberflächen anzuheften oder um Proteine freizusetzen.

in der evolutionären Kette (wobei Wissenschaftler den Begriff „fossile Übergangsform“ vorziehen), wird angenommen, die Erklärung liege im Übernatürlichen.

Wenn man sich die Natur anschaut, kann man den Eindruck gewinnen, dass Arten perfekt an ihre Umwelt angepasst sind. Das führt zu eingängigen „hausgemachten“ Erklärungen für Merkmale wie den langen Hals der Giraffen. Die Lebewesen um uns herum sind jedoch ein Vermächtnis vergangener Anpassungen, nicht Adaptationen an unsere heutige Umwelt. Um die Merkmale des Lebens zu verstehen, müssen wir daher begreifen, warum sie sich überhaupt herausgebildet haben. Um den Genetiker Theodosius Dobzhansky zu zitieren: „Nichts in der Biologie ergibt einen Sinn außer im Licht der Evolution.“

Worum es geht
**Populationen mutieren und passen sich
 im Lauf der Zeit an ihre Umwelt an**

02 Gene

Gene übermitteln biologische Information von einer Generation zur nächsten und formen die Merkmale eines Organismus, vom Stoffwechsel bis zur äußeren Erscheinung. Ein vollständiger Satz an Genen – das Genom – legt die Anweisungen für den Bau eines Individuums fest und beeinflusst dessen Fähigkeit zu wachsen, zu überleben und sich fortzupflanzen.

Was ist ein Gen? Im Lexikon findet man eine lockere Definition wie „eine Einheit der Vererbung, die ein Merkmal bestimmt“. So verstehen viele von uns das Konzept, und deshalb sagen wir vielleicht auch, dass schöne Menschen „gute Gene“ haben, dass sportliche Fähigkeiten „in den Genen“ liegen oder dass Forscher „das Gen für“ ein bestimmtes Merkmal oder eine Krankheit gefunden haben.

Unterschiedliche genetische Varianten sind ebenfalls „Gene“. Daher kann man ein hypothetisches Gen für Intelligenz je nach dem Blickwinkel, den man einnimmt, als „Genie-Gen“ oder „Dummheits-Gen“ apostrophieren. Wissenschaftler tun dasselbe: So wird die Entwicklung der Taufliche von Genen wie *hunchback* (Buckel) und *wingless* (flügellos) kontrolliert – benannt nach der Auswirkung von Mutationen, nicht nach der normalen Funktion des Gens. Teilweise beruht die Verwirrung über die Natur von Genen auf der Tatsache, dass sich das Konzept in den letzten 150 Jahren beträchtlich verändert hat.

Einheiten der Vererbung Seit Jahrtausenden züchtet die Menschheit Tiere und Pflanzen, um erwünschte Merkmale zu verstärken, doch die richtige Erklärung, wie Merkmale vererbt werden, fand man erst 1865. Die Wissenschaft der Genetik wurde von dem österreichisch-tschechischen Mönch Gregor Mendel begründet, der untersuchte, auf welche Weise Merkmale wie Blütenfarbe und Samenform von einer Generation an die nächste weitergegeben werden. Seine Kreuzungsexperimente mit Erbsen erbrachten statistische Ergebnisse, aus denen er Vererbungsgesetze ableitete. Diese Prinzipien implizierten, dass die merkmalsbestimmenden „Faktoren“ separate Teilchen sind, eigenständige Einheiten der Vererbung, die wir heute als Gene bezeichnen.

Zeitleiste

1865

Eigenständige Einheiten der Vererbung: Mendels Experimente sprechen dafür, dass Gene Teilchen sind

1910

Eindeutige Lage: Morgan und Studenten zeigen, dass Gene auf Chromosomen liegen

1941

Blaupause für ein Protein: Beadle und Tatum weisen nach, dass Mutationen Enzyme verändern

Anlage via Umwelt

Es gibt keine „Anlage versus Umwelt“-Debatte, zumindest nicht unter Biologen. Weil Auseinandersetzungen auflagenfördernd sind, stellen Journalisten Anlage und Umwelt – d. h. genetische und äußere Einflüsse – oft als Gegensätze dar. In Zeitungsberichten werden genetische Entdeckungen auch gern mit Formulierungen wie „das Gen für“ irgendwas beschrieben, was impliziert, dass ein Merkmal vollständig von seinen Anlagen bestimmt wird. Auf der anderen Seite behaupten einige Sozialwissenschaftler, vor allem Psychologen, dass Verhalten allein von Umwelteinflüssen abhängt. Wie so oft liegt

die Wahrheit in der Mitte. Nehmen wir zum Beispiel Übergewicht beim Menschen: Gene kontrollieren unsere Prädisposition zur Gewichtszunahme durch genetische Varianten, die unseren Energiestoffwechsel festlegen und bestimmen, wie unser Körper auf körperliche Aktivität reagiert (Anlage). Fit und gesund zu bleiben, bedeutet jedoch auch, nicht zu viele Kalorien zu sich zu nehmen und regelmäßig Sport zu treiben (Umwelt). Daher sind die Merkmale eines Organismus und sein Verhalten fast immer das Ergebnis eines Wechselspiels zwischen seinen Genen und seinem Umfeld – Anlage via Umwelt.

Als der amerikanische Genetiker Thomas Hunt Morgan 1910 eine Taufliege mit einer Mutation entdeckte, die deren Augenfarbe von rot nach weiß veränderte, wandelte sich das Gen von einem abstrakten zu einem konkreten Objekt. Morgans Kreuzungsexperimente zeigten, dass Vererbungsmuster mit dem Geschlecht verknüpft sind (bestimmt durch unterschiedliche Geschlechtschromosomen) und dass die Chromosomen die materiellen Strukturen sind, die die Gene tragen. Weiterhin konnten Morgan und seine Studenten nachweisen, dass Gene an einem bestimmten Ort auf einem Chromosom liegen, und so wurde das Gen zu einem physischen Objekt an einem individuellen „Locus“.

Chromosomen bestehen aus zwei Typen von Molekülen: Proteinen und DNA (Desoxyribonucleinsäure). Welches ist das genetische Material? 1944 zeigte das kanadisch-amerikanische Trio Oswald Avery, Colin MacLeod und Maclyn McCarty, dass sich nicht-virulente Bakterien in Anwesenheit von DNA, nicht aber von anderen Zellelementen, in einen tödlichen Stamm verwandeln lassen, und bewiesen damit, dass die DNA das Molekül ist, das die Gene trägt. Zuvor war angenommen worden, Proteine seien die Träger der Erbinformation, weil ihre chemischen Bausteine – die Aminosäuren – variabler sind als die vier Basen in der DNA, was sie zu besseren Kandidaten für

1944

Stoffliche Moleküle: Avery, MacLeod und McCarty beweisen, dass DNA das genetische Material ist

1961

Transkriptionscode: Crick und Kollegen zeigen, dass der genetische Code auf Triplet-Folgen beruht

1995

Gen-Annotation: DNA-Sequenzen werden benutzt, um Gene, einschließlich RNA, vorauszusagen

die Codierung biologischer Information macht. Diese Sichtweise änderte sich, nachdem die Struktur der DNA 1953 von James Watson und Francis Crick aufgeklärt wurde und die Paarung zwischen Basen in der Doppelhelix einen Weg aufzeigte, Information zu kopieren. Das Gen wurde zu einem stofflichen Molekül.

Proteincodierende Sequenzen Proteine verrichten den größten Teil der harten Arbeit im Körper, von der Bildung des Zellskeletts bis zur Funktion als Signalmoleküle zwischen Geweben. Und vor allem dienen viele Proteine als Enzyme und katalysieren die chemischen Stoffwechselreaktionen, die das Leben in Gang halten. Der Einfluss eines Gens auf die Merkmale eines Organismus – den Phänotyp – ist nicht immer sichtbar, ergibt sich aber letztlich aus der Art und Weise, wie der Genotyp des Organismus die biochemische Aktivität innerhalb der Zellen beeinflusst. 1941 setzten die amerikanischen Genetiker George Beadle und Edward Tatum einen Schimmelpilz Röntgenstrahlung aus und zeigten, dass Mutationen an bestimmten Stellen des Stoffwechselwegs Enzymveränderungen verursachten. Das führte zu der „Ein-Gen-ein-Enzym“-Hypothese (später „Ein Gen, ein Protein“), wobei man Gene als Bauanleitungen zur Herstellung eines funktionierenden Moleküls betrachtete. Speziell wurde das Gen zur Blaupause für ein Protein.

Nach Aufklärung der DNA-Struktur begannen Wissenschaftler zu entschlüsseln, wie die Zellen die Anweisungen der DNA umsetzen und der genetische Code in die Sprache der Proteine übersetzt wird. So konnten Francis Crick und Kollegen 1961 zeigen, dass Gene Drei-Buchstaben-Wörter, sogenannte Triplets, verwenden. In den nächsten fünf Jahren wurde deutlich, dass jedes Triplet einen Code zur Herstellung einer bestimmten Aminosäure in einer Proteinkette darstellte. Doch bevor eine Sequenz von DNA-Buchstaben in eine Aminosäurefolge übersetzt werden kann (Translation), muss sie in Messenger-RNA (m-RNA) transkribiert – abgelesen und kopiert – werden. Daher müssen Gene für eine ununterbrochene Folge von Triplets codieren: einen „offenen Leserahmen“. Diese Gedankenkette führte zur Sequenzierung des ersten Gens eines Virus, des Bakteriophagen MS 2, die dem belgischen Molekularbiologen Walter Fiers 1971 gelang.

Der amerikanische Genetiker J. Craig Venter leitete ein Team, das 1995 die erste DNA-Sequenz für einen kompletten Organismus (das Bakterium *Haemophilus influenzae*) veröffentlichte – die Forscher sagten die Lage potenzieller Gene voraus, indem sie die Sequenz nach offenen Leserahmen durchsuchten. Das Genom war nun eine Computerdatei und das Gen eine annotierte genomische Einheit.

Es ist wahrscheinlich, dass die gesamte Erbinformation in allen Organismen von Nucleinsäuren getragen wird – meistens von DNA.

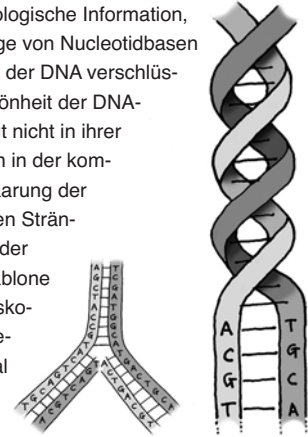
Francis Crick

Funktionale Produkte Der Protein-zentrische Blick auf das Gen ist nach wie vor die populärste Sichtweise zur Erklärung seiner Funktion. Die DNA verfügt jedoch auch über die Blaupausen zur Herstellung von RNA. Kleine „Transfer-RNA“-Moleküle dienen dazu, den genetischen Code während der Translation zu entschlüsseln, wohingegen zum Beispiel die Maschine, die die Aminosäuren zu einem Protein verknüpft – das Ribosom – rund um die „ribosomale RNA“ gebaut ist. Seit den 1980er-Jahren hat man verschiedene andere Typen „nichtcodierender RNA“ entdeckt, die bestimmte Aspekte genetischer Aktivität kontrollieren.

Während die Genome bei Organismen wie Bakterien hauptsächlich aus proteincodierenden Genen bestehen, enthalten die Genome vieler Arten überwiegend nichtcodierende DNA – rund 98 Prozent des menschlichen Genoms codiert nicht für Proteine. Das „Zeitalter des Genoms“ hat gezeigt, dass Gene häufig aus mehreren Stücken bestehen, die sich über ein Chromosom verteilen und manchmal miteinander überlappen. Die DNA ist voller funktionaler Elemente, etwa Schaltern zur Genkontrolle, die weit von den Genen entfernt liegen können, für die sie zuständig sind. 2007 entwickelten Biologen der Yale University, die am ENCODE-Projekt (Encyclopaedia of DNA Elements) beteiligt waren, eine neue, recht voluminöse Definition: „Ein Gen ist eine Vereinigung genomischer Sequenzen, die für eine zusammenhängende Menge potenziell überlappender funktionaler Produkte codiert.“

Die Doppelhelix

Gene tragen biologische Information, die als eine Folge von Nucleotidbasen (Buchstaben) in der DNA verschlüsselt ist. Die Schönheit der DNA-Doppelhelix liegt nicht in ihrer Spirale, sondern in der komplementären Paarung der Basen auf beiden Strängen. So kann jeder Strang als Schablone oder Sicherheitskopie für den anderen dienen, ideal für das Speichern genetischer Anweisungen.



Worum es geht
**Vererbungseinheiten codieren
 für funktionale Biomoleküle**

03 Die Zelle

Die Basiseinheit des Lebens kann als eigenständiger Organismus fungieren oder Teil eines vielzelligen Körpers sein, und jede Zelle ist mit verschiedenen Reaktionsräumen (Kompartimenten) ausgestattet, in denen die zahllosen Reaktionen des Stoffwechsels ablaufen. Daher entbehrt es nicht einer gewissen Ironie, dass Zellen nach leeren Räumen benannt wurden.

Im Jahr 1665 veröffentlichte der englische Universalgelehrte Robert Hooke seine *Micrographia*, eine Sammlung von Beobachtungen, die er mit Mikroskopen und Teleskopen gemacht hatte. Unter den zahlreichen Insekten und astronomischen Objekten findet sich die detaillierte Zeichnung und Beschreibung einer wabenförmigen Struktur in einer dünnen Korkscheibe. Er nannte die luftgefüllten leeren Räume „Zellen“.

Der niederländische Naturforscher Antonie van Leeuwenhoek war der Erste, der durch sein Mikroskop lebende Zellen sah. Ab 1673 begann er, seine Beobachtungen in Briefen an die Royal Society in London zu schildern. Er beschrieb winzige, sich bewegende Teilchen und nannte sie in der Annahme, Bewegung bedeute Leben, „Animalcules“. Van Leeuwenhoek entdeckte viele mikroskopische Organismen, darunter einzellige Protisten, Blutzellen, Spermien und sogar Bakterien im Zahnbelag, doch dann verlangsamte sich der Fortschritt und nahm erst wieder im 19. Jahrhundert Fahrt auf, als optische Mikroskope und neue Techniken zur Gewebepräparation ermöglichten, ins Zellinnere zu schauen.

Die Zelltheorie Der Erste, der erklärte, alles Leben bestehe aus Zellen, war wohl 1824 der französische Pflanzenphysiologe Henri Dutrochet. Gewöhnlich wird diese Erkenntnis jedoch zwei Deutschen zugeschrieben: dem Botaniker Matthias Schleiden und dem Zoologen Theodor Schwann. 1838 erklärte Schleiden, sämtliche Pflanzenstrukturen bestünden aus Zellen oder deren Produkten, während Schwann dasselbe für das Tierreich formulierte.

Die Zelltheorie von Schleiden und Schwann basiert auf drei Grundsätzen: Alle Lebewesen bestehen aus Zellen, die Zelle ist die Grundeinheit des Lebens, und Zellen bilden sich durch Kristallisation. Heute wissen wir, dass Letzteres falsch ist: Zellen

Zeitleiste

1673

Van Leeuwenhoek beobachtet erstmals Mikroorganismen, einschließlich Bakterien

1824

Dutrochet erklärt, dass alle Lebewesen aus Zellen bestehen, die Stoffwechsel betreiben

1831

Brown erkennt, dass alle Pflanzenzellen einen Zellkern haben

Die Keimtheorie

Heute wissen wir, dass Krankheiten von pathogenen Keimen ausgelöst werden können, die für das bloße Auge unsichtbar sind, doch früher nahm man allgemein an, Krankheiten würden durch „Miasmen“ (üble Dünste) oder Befleckung (Verunreinigung oder direkten Kontakt) verbreitet. Der niederländische Naturforscher Antonie van Leeuwenhoek entdeckte unter dem Mikroskop Organismen, die das bloße Auge nicht zu erkennen vermochte, doch es blieb unklar, ob die Mikroben, die mit einer Erkrankung einhergingen, Symptom oder Ursache waren. Schließlich zeigte der fran-

zösische Chemiker und Mikrobiologe Louis Pasteur in den 1850er-Jahren, dass Bier, Wein und Milch Zellen enthielten, die sich vermehrten und zum Verderben von Lebensmitteln führten. Durch Erhitzen der Flüssigkeiten wurden die Keime abgetötet; diese Behandlung bezeichnet man heute als Pasteurisierung. Mit seinen Experimenten konnte Pasteur die Vorstellung widerlegen, dass sich Leben per „Urzeugung“ spontan aus anorganischer Materie bilden kann. Daraus, dass Mikroben zu Fäulnis führen, zog er den Schluss, sie könnten auch Krankheiten auslösen.

erwachsen nicht durch eine spontane Urzeugung aus anorganischer Materie, sondern entstehen, wenn sich eine bereits existierende Zelle in zwei Zellen teilt. Diesen Vorgang beobachtete der Belgier Barthélemy Dumortier 1832 bei Algen und der Pole Robert Remak 1841 bei tierischen Zellen.

Im Jahr 1882 beschrieb der deutsche Biologe Walther Flemming die Zellteilung im Detail. Nach der Einführung von Ölimmersions-Linsen und neuen Farbstoffen, die die Zellstrukturen deutlicher erkennen ließen, benutzte Flemming Indigo zur Anfärbung von Chromosomen und zeigte, dass sie kopiert und in zwei Tochterzellen gezogen wurden. Dieser Vorgang, den man als Mitose bezeichnet, wird nicht von allen Zellen durchgeführt – nur von solchen, deren Chromosomen in einer Kernhülle liegen.

Der Zellkern Der schottische Botaniker Robert Brown ist vor allem wegen seiner Beschreibung der zufälligen Bewegung von Teilchen in einer Flüssigkeit – der Brown'schen Molekularbewegung – bekannt, doch lieferte er auch wichtige Beiträge zur Zellbiologie. In einem Aufsatz, den er 1831 vor der Linnean Society verlas, beschrieb Brown „eine runde Aureole ... oder Kern der Zelle“, den er in verschiede-

1838–1839

Schleiden und Schwann entwickeln die Zelltheorie

1884

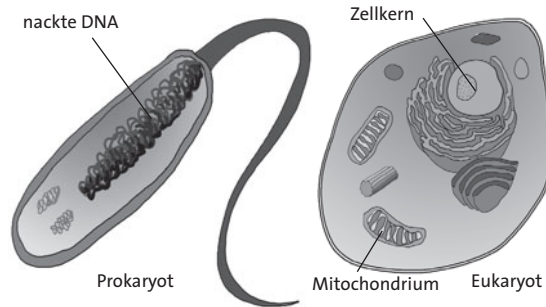
Möbius bezeichnet eine Struktur in einem einzelligen Organismus als „Organell“

1962

Stanier und van Niel machen die Unterscheidung zwischen Pro- und Eukaryoten populär

Prokaryoten und Eukaryoten

Lebewesen lassen sich je nach Fehlen oder Vorhandensein eines Zellkerns (Nucleus) in der Zelle in Prokaryoten und Eukaryoten unterteilen. Die DNA von Prokaryoten wie Bakterien liegt im Cytoplasma, während das genetische Material von Eukaryoten in einer Kernhülle eingeschlossen ist. Eukaryotische Zellen sind komplexer und enthalten membrangebundene Kompartimente wie Mitochondrien und Chloroplasten.



nen Blattgeweben von Orchideen gefunden hatte, was ihn vermuten ließ, es handele sich um eine allgegenwärtige – und daher wichtige – Zellstruktur.

Der Zellkern ist jedoch nicht unverzichtbar für Leben: Bakterien haben kein Problem damit, ihre DNA – ein ringförmiges Chromosom und oft auch ein paar „Plasmide“ – frei im Cytoplasma treiben zu lassen. Das kann von Vorteil sein, denn es erlaubt eine rasche Reaktion auf metabolische Bedürfnisse: Genetische Information wird von der DNA abgelesen und dann interpretiert, um nützliche Proteine gleichzeitig herzustellen, statt die Prozesse zu entkoppeln, die nötige Information im Kern abzulesen (Transkription) und im Cytoplasma in Proteine zu übersetzen (Translation).

Organismen werden danach eingeteilt, ob sie einen Zellkern besitzen oder nicht: Eukaryoten haben einen Kern, Prokaryoten nicht – eine Unterscheidung, die 1962 von den Mikrobiologen Roger Stanier und Cornelis Bernardus van Niel populär gemacht wurde. Eukaryoten (griechisch für „echte Nuss“) umfassen alles von einzelligen Protisten bis zu vielzelligen Organismen wie Tiere und Pflanzen; zu den Prokaryoten („Vornuss“) zählen Bakterien und Archaeen. Wie hat sich der Zellkern eigentlich entwickelt? Dazu gibt es ein Dutzend Hypothesen, die sich in zwei Lager teilen: Diejenigen, die einen externen Ursprung vermuten, bringen einen Mikroorganismus ins Spiel, der sich zum Zellkern entwickelt; diejenigen, die an einen internen Ursprung glauben, nehmen an, dass eine Zelle ihre Zellmembran einstülpte und auf diese Weise eine Kernhülle bildete. Externe Szenarien gehen von einer symbiotischen Beziehung aus, bei der eine Zelle in einer anderen lebt, von einem Archaeer, umgeben von einer Gemeinschaft von Bakterien, die später fusionierten, oder von einer Infektion mit einem komplexen Virus.

Organellen Im Jahr 1884 beschrieb der deutsche Zoologe Karl Möbius die reproduktive Struktur eines einzelligen Protisten als „Organula“ (kleines Organ). Mittlerweile beschreibt der Begriff „Organell“ jede beliebige Struktur mit einer bestimmten Funktion in eukaryotischen Zellen. Viele sind sogar Organen im menschlichen Körper analog: Mitochondrien entsprechen der Lunge und veratmen Sauerstoff, um Energie freizusetzen, das Cytoskelett ähnelt Muskulatur und Knochengerüst, die Bewegung und Halt ermöglichen, die Plasmamembran gleicht der Haut und bildet eine weitgehend undurchlässige Barriere, und der Zellkern ist dem Gehirn vergleichbar, wenn man davon absieht, dass er Erinnerungen an die genetischen Vorfahren statt vergangene Erfahrungen speichert.

Prokaryoten haben noch kleinere Organe. Während eukaryotische Zellen über subzelluläre Reaktionsräume verfügen, die von einer oder mehreren Membranen umgeben sind, sind prokaryotische Organellen in Schalen auf Proteinbasis eingeschlossen.

Einige Bakterien können beispielsweise mit einer Kette von „Magnetosomen“ das Erdmagnetfeld wahrnehmen, während andere mithilfe von „Carboxysomen“ das Enzym RuBisCO konzentrieren, das zur Synthese von Kohlenhydraten dient. Eukaryotische Zellen verfügen ebenfalls über proteingebundene Kompartimente, geheimnisvolle Mini-Organellen unbekannter Funktion, die als *Vaults* (engl. für Gruft, Tresor) bezeichnet werden.

Auch wenn eukaryotische Mechanismen komplexe Zellen besitzen und große, vielzellige Körper bilden können, machen Prokaryoten die Mehrheit der irdischen Lebensformen aus. Die ältesten Mikrofossilien eukaryotischer Zellen sind rund 1,5 Milliarden Jahre alt, doch einfache Mikroorganismen gab es schon 2 Milliarden Jahre früher. Komplexität ist kein Maß für evolutionären Erfolg. Und größer ist nicht zwangsläufig besser.

Wenn man die extreme Einfachheit dieser erstaunlichen Struktur mit der extremen Vielfalt ihrer innersten Natur vergleicht, wird deutlich, dass sie die Grundeinheit des organisierten Zustands darstellt; in der Tat leitet sich letztlich alles von der Zelle ab. ◀

Henri Dutrochet

Worum es geht
Zellen sind die strukturellen und physiologischen Bausteine sämtlicher Organismen

04 Der Ursprung des Lebens

Als unser Planet noch jung war, war er eine dampfende Hölle. Doch bereits vor 3,5 Milliarden Jahre gab es Leben – den Beweis liefern Abdrücke zellartiger Fossilien in uraltem australischem Gestein. Wie hat sich das Leben auf der Erde aus abiotischen, anorganischen Prozessen entwickelt und Schlüsselmerkmale wie Gene, Stoffwechsel und eine Zellmembran hervorgebracht?

In den 1920er-Jahren vermuteten der russische Biochemiker Alexander Oparin und der britische theoretische Biologe J.B.S. Haldane unabhängig voneinander, das Leben habe sich in einer Ursuppe entwickelt. Danach führten chemische Reaktionen zwischen einfachen Molekülen im Meer vielleicht mithilfe der Sonnenenergie zu immer komplexeren organischen Verbindungen und schufen eine „heiße verdünnte Suppe“, wie Haldane es ausdrückte. Der berühmteste Test dieser Hypothese ist das Miller-Urey-Experiment: Dabei versuchte der amerikanische Chemiker Stanley Miller, der im Labor von Harold Urey an der University of Chicago arbeitete, Bedingungen herzustellen, wie sie nach damaligen Vermutungen auf der jungen Erde geherrscht hatten. 1953 gab Miller eine Reihe von Gasen – Methan, Ammoniak, Wasserstoff und Wasserdampf sowie Kohlenmonoxid (keinen Sauerstoff) – in eine Glasapparatur und setzte sie elektrischen Entladungen aus, um Blitze zu simulieren. Die Lösung, die sich bildete, enthielt organische Vorläufer wie Cyanwasserstoff, Aldehyde und einfache Aminosäuren, aber keine Polymere. Eine dünne Suppe schafft offenbar nicht ganz die nötigen Voraussetzungen für die Herstellung von Biomolekülen – das erfordert eine Suppenschale, um die Ingredienzien des Lebens konzentriert zu halten.

Wiegen der Schöpfung Im Jahr 1871 schrieb Charles Darwin, er hoffe, der erste Organismus sei „in einem warmen kleinen Tümpel“ entstanden. Seitdem sind zahlreiche Lokalitäten als Ursprungsorte des Lebens vorgeschlagen worden – einige Forscher vermuten, das Leben habe in heißen geothermalen Quellen begonnen, andere glauben,

Zeitleiste

1920er-Jahre

Oparin und Haldane schlagen die Ursuppentheorie vor

1953

Das Miller-Urey-Experiment lässt organische Moleküle im Labor entstehen

1982

Cech entdeckt das erste Ribozym (ein katalytisches RNA-Enzym)

es habe sich in den Poren von großen treibenden Flößen aus Bimsstein entwickelt, der von Vulkanen ausgespuckt wurde.

Viele Wissenschaftler sind jedoch der Ansicht, das Leben sei unter Wasser geboren worden – zum Teil, weil die junge Erde noch keine wesentlichen Landmassen aufwies, zum Teil auch deshalb, weil der Regen jede Suppe in terrestrischen Tümpeln verdünnt hätte. Die Theorie, die gegenwärtig die meisten Anhänger hat, vermutet die Wiege des Lebens an alkalischen hydrothermalen Schloten ähnlich denen, die auf dem Mittelatlantischen Rücken gefunden wurden; dort steigt überhitztes, eisen- und schwefelreiches Wasser durch Spalten im Meeresboden nach oben, woraufhin Minerale ausfallen und poröse Kamine bilden. Das umgebende Wasser kann den Siedepunkt erreichen, ist aber rundum kühl genug, um ein Ökosystem zu unterhalten. Dem britischen Geochemiker Michael Russell zufolge, der diese Theorie 1997 vorschlug, vereinigen solche Schlote an ein und demselben Ort zwei Faktoren, die eine Voraussetzung für Leben sind: Energie und Material.

Genetik oder Stoffwechsel? Über den ersten Schritt auf dem Weg des Lebens herrscht nach wie vor kein Konsens. Bis Mitte des 20. Jahrhunderts nahmen viele Wissenschaftler an, Proteine bildeten das genetische Material. Oparin und Haldane glaubten beide, Proteine enthielten Instruktionen zur Herstellung von organischen Tröpfchen, sogenannten Koazervaten, die sich nach Assimilation anderer organischer Moleküle mithilfe eines primitiven Stoffwechsels replizierten. Oparin hielt genetische Information für den ersten Schritt zum Leben, Haldane hingegen nahm an, an erster Stelle habe eine metabolische Reaktion gestanden. Auch heute noch neigen die meisten Wissenschaftler dem einen oder dem anderen Lager zu: zuerst die Genetik oder zuerst der Stoffwechsel.

Die Meinungsverschiedenheit dreht sich letztlich darum, wie Energie und Materialien genutzt werden. Genetik-zuerst-Anhänger vertreten die Ansicht, dass sich alles Leben repliziert. Daher müsse ein präbiotisches System die Anweisung zur Herstellung von Produkten – wie Enzymen – codiert haben, sodass sich Gene kopieren können. Stoffwechsel-zuerst-Protagonisten argumentieren, dass Leben ein Prozess ist, der Energie benötigt, und daher Stoffwechselprozesse nötig sind, um Energie zu gewinnen und Moleküle zusammenzubauen.

Genetik-zuerst-Anhänger fragen: Wie werden Materialien angehäuft? Stoffwechsel-zuerst-Protagonisten fragen: Wo kommt die nötige Energie her? Die Tiefseeschlot-

1997

Russell vermutet, dass der Stoffwechsel an hydrothermalen Schloten entstand

2002

Joyce schafft selbstreplizierende Ribozym-Moleküle

2004

Szostak erzeugt Proto-Zellen, die bei der Kopie von RNA helfen

Panspermie

Der Panspermie-Hypothese zufolge sind die Samen des Lebens im ganzen Universum verstreut. 1903 vermutete der Physikochemiker Svante Arrhenius, Mikroorganismen könnten vom Sonnenwind durchs All getrieben werden. Ein ungeschützter Transport ist unwahrscheinlich, weil genetisches Material zerstört würde; eine „Zustellung“ via interplanetarer Körper wie Meteoriten ist jedoch theoretisch möglich, da Dutzende terrestrischer Arten es geschafft haben, Reisen in den Raum zu überleben, darunter Bakterien und winzige Vielzeller, die Bärtierchen. Die meisten Überlegungen sind reine Spekulation. So setzt eine „gerichtete Panspermie“ beispielsweise eine gezielte Intervention durch Außerirdische voraus, während die

Astronomen Fred Hoyle und Chandra Wickramasinghe annahmen, einige Krankheitsausbrüche seien Erregern aus dem All zu verdanken gewesen. Die einzige Hypothese, die auf wissenschaftlichen Belegen basiert, ist die „Pseudo-Panspermie“, die annimmt, dass nicht einfache Lebewesen, sondern nur organische Bausteine aus dem All stammen. Chemische Analysen von Objekten wie dem Murchison-Meteoriten haben Fett- und Aminosäuren sowie Nucleinbasen nachgewiesen. Einer Theorie zufolge gelangten viele Bausteine des Lebens während des Großen Bombardements vor rund 4 Milliarden Jahren auf die Erde, als regelmäßig große Asteroiden auf der Erde einschlugen.

Hypothese ist ein Stoffwechsel-zuerst-Szenario: Meerwasser ist saurer als die alkalische Flüssigkeit, die aus den Schloten quillt, woraufhin zwischen verbundenen Poren in einem Schlot von Mineralien ein elektrochemischer Gradient entsteht; daher wandern Protonen (H^+) in saurem Meerwasser längs ihres Konzentrationsgefälles in Richtung Schlotinneres. Genauso, wie Wasserdruck in einem Wasserkraftwerk Turbinen antreibt, erzeugt dieses Gefälle Energie, die von Molekülen zwischen den Poren genutzt werden kann.

RNA-Welt In einer Hinsicht sind sich die Wissenschaftler einig: Das erste genetische System sah sicherlich nicht so aus wie das heutige. Moderne Zellen speichern Information in ihrer DNA und verwenden Proteine, um enzymatische Funktionen wie die Katalyse von Reaktionen durchzuführen. Doch da die DNA Proteine herstellt, läuft das Ganze auf ein Henne-Ei-Problem hinaus. Ein Schlüssel liegt jedoch im Zentrum des Ribosoms, der molekularen Maschine, die die Zelle zur Synthese von Proteinen benutzt; dort findet man ein enzymartiges „Ribozym“ aus RNA. 1982 entdeckte der amerikanische Chemiker Thomas Cech Ribozyme, die als unabhängige katalytische RNA arbeiten, und 2002 stellte der Molekularbiologe Gerald Joyce ein RNA-Enzym her, das sich selbst kopieren kann, was ein exponentielles Wachstum und eine sich selbst erhaltende Evolution ermöglicht. Das stützte eine Hypothese der britischen Wis-

senschaftler Francis Crick und Leslie Orgel aus den 1960er-Jahren, der zufolge alle präbiotischen Systeme auf RNA basiert haben könnten – die sogenannte RNA-Welt-Hypothese.

Warum aber RNA und kein anderes Molekül? Ein Hinweis kam 2009 von den britischen Chemikern Matthew Powner und John Sutherland, die eine Suppe unter „präbiotisch plausiblen“ Bedingungen brauten. Bei Ultraviolettbestrahlung wandelten sich die Bestandteile der Suppe in Cytosin und Uracil um, zwei der vier Buchstaben der RNA. Das spricht dafür, dass das erste genetische System einer Evolution via „Sonnenlichtselektion“ entsprang.

» Vor dem Beginn des Lebens müssen sich so lange [organische Verbindungen] angesammelt haben, bis die Urmeere die Konsistenz einer heißen, verdünnten Suppe angenommen hatten. «

J.B.S. Haldane

Proto-Zellen Die Zelle ist der Grundbaustein des Lebens, ein Kompartiment, das Gene und Stoffwechsel von der Umgebung trennt. Moderne Zellen sind von einer doppelartigen Phospholipidmembran umgeben, doch frühe Proto-Zellen benutzten wahrscheinlich eine Blase aus Fettsäuren. Wie Öltröpfchen in Wasser ordnen sich Fettsäuren selbstständig zu Kugeln an. Der kanadische Biologe Jack Szostak hat untersucht, wie sich selbst replizierende RNA Proto-Zellen beeinflusst. Da Membranen für kleine Moleküle durchlässig sind, wandern die RNA-Bausteine in eine Blase, werden dort aneinandergereiht und sind schließlich zu groß, um wieder hinauszugelangen. 2004 stellte Szostak fest, dass die Flüssigkeit im Inneren einer Proto-Zelle konzentrierter wird und osmotisch Wasser nachzieht, sodass die Blase anschwillt, bis sie platzt und die Fettsäuren sich neu zusammenbauen müssen. Der Ursprung von Zellwachstum und Teilung könnte daher das Ergebnis physikalischer Kräfte sein, angetrieben von selbstreplizierender RNA.

Wissenschaftler können präbiotische Suppen zusammenbrauen, die primitive Bedingungen simulieren, oder Ökosysteme entdecken, in denen grundlegende Prozesse stattfinden. Dennoch werden wir vielleicht nie genau wissen, wie das Leben begonnen hat. Wie es auch immer entstanden ist – irgendwann verließen die ersten selbstreplizierenden Blasen ihre behaglichen Poren und wurden zu freilebenden Zellen: zu den ersten Organismen.

05 Der Baum des Lebens

Die Evolutionsgeschichte wird häufig als Baum dargestellt, wobei die Zweige die Abstammung von gemeinsamen Vorfahren darstellen und seine Wurzeln aus den ersten Zellen entspringen. Die verwandtschaftliche Beziehung zwischen Lebewesen, vor allem Mikroorganismen, kann jedoch ziemlich kompliziert sein, was dafür spricht, dass möglicherweise nicht alles Leben auf diese Weise darstellbar ist.

Die ersten Zellen entstanden vor 3,5 bis 4 Milliarden Jahren, doch der Begründer allen Lebens, das sich gegenwärtig auf der Erde tummelt – der letzte gemeinsame Vorfahr (*last universal common ancestor*) oder LUCA – ähnelte wahrscheinlich modernen

Bakterien oder Archaeen. Ein Indiz dafür ist das System des genetischen Codes, das allen Organismen gemeinsam ist. Von diesen Wurzeln ausgehend, verzweigt sich der Baum des Lebens jedoch zu allen lebenden und toten Arten. Dies ist eine ausdrucksstarke Metapher für die Evolutionsgeschichte – aber trifft sie auch zu?

Indem man die Doktrin der gemeinsamen Abstammung infrage stellt, stellt man zwangsläufig den universellen Stammbaum infrage. Dieses eindrucksvolle Baum-Bild ist tief in unserem Verständnis der Biologie verwurzelt.

Carl Woese

Die Leiter des Lebens Die Evolution wird manchmal fälschlicherweise als Prozess angesehen, der von primitiven zu immer perfekteren Formen fortschreitet, wobei der Mensch die Krone der Schöpfung ist. Diese Vorstellung stammt von Aristoteles und seiner *scala naturae*, der „großen Kette des Seins“. Um 350 v. Chr. ordnete der griechische Philosoph alles – ob belebt oder unbelebt – auf einer Leiter an, wobei Steine ganz unten standen und der Mensch an der Spitze (die Bibel sollte uns später ein wenig zurückstufen und unter Gott und den Engeln platzieren). Aristoteles war weder ein Kreationist (der glaubt, das Leben sei plötzlich aufgetreten) noch ein Evolutionist (der annimmt, dass Arten von einem gemeinsamen Vorfahr abstammen). Tatsächlich war er

Zeitleiste

ca. 350 v. Chr.

Aristoteles ordnet alles auf einer Leiter des Lebens an

1735

Linné teilt Tiere und Pflanzen aufgrund ähnlicher Merkmale in Gruppen ein

1859

In Darwins *Über die Entstehung der Arten* findet sich eine Skizze vom Baum des Lebens