

WISSEN

C.H.BECK

Thomas Junker
**GESCHICHTE DER
BIOLOGIE**



Die Wissenschaft
vom Leben

Obwohl es die Biologie, als eigenständige Wissenschaft von den Lebewesen, erst seit rund zweihundert Jahren gibt, hat sie eine erstaunliche Entwicklung genommen. Zweifelsohne zählt sie heute nicht nur zu den interessantesten, sondern vor allem zu den folgenreichsten Wissenschaften. Andererseits zählen Fragen wie «Was unterscheidet Organismen von unbelebter Materie?» oder «Gibt es ein allgemeines Lebensprinzip?» zum ältesten Bestand der Themen, mit denen sich Menschen beschäftigen, seit sie über die Natur nachdenken. Und so schlägt Thomas Junker in seinem Buch einen weiten Bogen von den ersten Anfängen der Biologie in der Antike, über die revolutionären Erkenntnisse von Charles Darwin bis hin zu den nicht minder weit reichenden Entdeckungen der modernen Molekularbiologie. Ein kurzer und sachkundiger Überblick über die vielleicht einflussreichste Wissenschaft der Moderne.

Thomas Junker lehrt als Privatdozent *Geschichte der Naturwissenschaften* an der Fakultät für Biologie der Universität Tübingen.

Thomas Junker

**GESCHICHTE
DER BIOLOGIE**

Die Wissenschaft vom Leben

Verlag C. H. Beck

Mit 25 Abbildungen

Originalausgabe
© Verlag C. H. Beck oHG, München 2004
Satz: Fotosatz Reinhard Amann, Aichstetten
Druck und Bindung: Druckerei C. H. Beck, Nördlingen
Umschlagentwurf: Uwe Göbel, München
Printed in Germany
ISBN 3 406 50834 0

www.beck.de

Inhalt

Die Biologie und ihre Geschichte 7

Urzeugung: Die Entstehung des Lebens 10

Urzeugung und Fortpflanzung	11
Die Erde als Mutter	15
Urzeugung und Evolution	17
Chemische Evolution	19

Systematik: Die Vielfalt der Arten 22

Aristoteles und die aristotelischen Klassifikationen	23
Linnaeus und die Entstehung der wissenschaftlichen Systematik	25
Die Kette der Wesen	27
Natürliches System und gemeinsame Abstammung	29
Biologische Arten	31

Vergleichende Anatomie und Morphologie:

Der Bauplan der Organismen 35

Anatomie	36
Die verborgenen Ähnlichkeiten der Tiere	38
Die Urpflanze und die Idee des Tieres	42
Gemeinsame Abstammung	44

Physiologie: Die Wissenschaft der Lebensvorgänge 47

Die Säftelehre der Antike	48
Organismen als Maschinen	49
Animismus und Lebenskraft	53
Die Entstehung der modernen Physiologie	54

Embryologie: Die Entwicklung der Individuen	58
Von eingeschachtelten Keimen zum Bildungstrieb	59
Vergleichende Embryologie	63
Das Biogenetische Grundgesetz	65
Embryologie und Zellentheorie	67
Experimentelle Embryologie	68
Zellentheorie und Endosymbiose: Warum kooperieren Organismen?	70
Monaden und Zellen	71
Von der freien Zellbildung zur Einheit der Biologie	72
Zellenstaat und Familienselektion	75
Endosymbiose und bedingte Kooperation	77
Genetik: Vererbung und Variation	81
Samentheorien	82
Stammbaum und Züchtung	83
Biologische Arten und die Grenzen der Variabilität	84
Das unsterbliche Keimplasma	85
Rekombination und Mutation	87
Von Mendel zur DNS	88
Paläontologie und Evolutionstheorie: Die Geschichte der Arten	98
Katastrophen und unbekannte Kräfte	99
Lamarck: Höherentwicklung und Vererbung erworbener Eigenschaften	ioi
Darwin: Gemeinsame Abstammung und Selektion	103
Paläontologie und Evolution	106
Die Zweite Darwinsche Revolution	109
Fortschritte und Erfahrungen	112
Anhang	
Weiterführende Literatur	119
Register	126

Die Biologie und ihre Geschichte

Das vorliegende Buch ist als allgemeine Einführung gedacht. Man wird vieles finden, manches vermissen. Es soll einen ersten Eindruck von der vielfältigen Geschichte der Biologie vermitteln und zeigen, dass sie mehr Aufmerksamkeit verdient, als man ihr gemeinhin zuspricht. Gerade in Deutschland führt die Biologiegeschichte seit einiger Zeit ein Schattendasein, was auch daran liegt, dass Biologen und Biologiestudenten oft wenig Interesse an der Geschichte ihres Faches zeigen. Zu Unrecht, wie ich meine. An den Universitäten hat sich die Situation in den letzten Jahren sogar noch verschlechtert, von den wenigen Professuren wurden einige gestrichen (Marburg und München) oder, wie kürzlich in Hamburg, mit einem Astronomiehistoriker neu besetzt. Als positive Entwicklung ist die Gründung einer eigenen Organisation zu nennen, der *Deutschen Gesellschaft für Geschichte und Theorie der Biologie*, die mittlerweile auf eine mehr als zehnjährige Tradition zurückblicken kann. Erfreulich war auch die vor wenigen Jahren erfolgte Gründung eines Museums für Biologiegeschichte, des *Biohistoricums* in Neuburg an der Donau, in dem regelmäßig Ausstellungen zu vielfältigen Themen stattfinden.

Die Biologie gibt es als eigenständige, allgemeine Wissenschaft von den Lebewesen erst seit etwa zweihundert Jahren. Noch im 18. Jahrhundert wurde das, was wir heute Biologie nennen, von zwei nur lose miteinander verbundenen Gebieten vertreten, der Naturgeschichte und der Medizin. In der Naturgeschichte wurde alles Wissenswerte über die einzelnen Objekte aus den drei Naturreichen – Gesteine, Pflanzen und Tiere – zusammengetragen. Zur Entstehung der Biologie als übergreifende Wissenschaft von den Lebewesen kam es erst im 19. Jahrhundert. Eine wichtige Voraussetzung war die klare Unterscheidung zwischen lebenden und nicht lebenden Objekten.

Dass Organismen grundlegend verschieden sind von unbelebten Dingen, wurde Ende des 18. Jahrhunderts allgemein anerkannt. Welche konkreten Eigenschaften aber machen ihre Besonderheit aus? Unterscheiden sich Organismen nur durch die spezielle Art und Anordnung ihrer Bestandteile von Maschinen, oder gibt es ein eigenes Lebensprinzip?

Mit der Überzeugung, dass es ein spezielles Lebensprinzip oder einzigartige Eigenschaften der Lebewesen gibt, entstand auch das Bedürfnis nach einer eigenen Wissenschaft. Und man suchte nach einem Namen für sie. Einer der Vorschläge war *«Biologie»*, womit aber zunächst noch kein Sammelname für alle biologischen Disziplinen gemeint war. In der frühesten entsprechenden Verwendung des Wortes *«Biologie»* bei *Karl Friedrich Burdach* (1776–1847), *Gottfried Reinhold Treviranus* (1776–1837) und *Jean Baptiste de Lamarck* (1744–1829) sollten nur die damals modernen biologischen Wissenschaften, vor allem vergleichende Anatomie, Physiologie und Embryologie, so bezeichnet werden. Ausgeschlossen waren dagegen die älteren Fächer Systematik und klassische Naturgeschichte. Im Lauf des 19. Jahrhunderts gewann der Begriff *«Biologie»* dann immer mehr an Umfang, bis er zum reinen Kollektivbegriff wurde, der alle naturwissenschaftlichen Disziplinen umfasst, die sich mit Lebewesen beschäftigen. Dies spiegelt sich auch in dem heute zunehmend verwendeten Ausdruck *«Biowissenschaften»* wider.

Auch wenn die Biologie als wissenschaftliche Disziplin also relativ jung ist, so gilt dies nicht für ihre Themen. Ganz im Gegenteil: Seit der Entstehung der Wissenschaft in der griechischen Antike waren Organismen ein bevorzugter Gegenstand der Forschung. Für welche ihrer Eigenschaften man sich besonders interessierte, hat sich im Laufe der Jahrhunderte stark gewandelt. Es gab aber immer eine überschaubare Anzahl großer Themen, die zu allen Zeiten das Interesse der Wissenschaftler geweckt haben: Die Entstehung der Organismen, ihre äußere Form und innere Struktur, ihre Funktionen und Verhaltensweisen, Fortpflanzung, Vererbung und Wachstum sowie Vielfalt, Zusammenleben und Geschichte der Arten.

In den Kapiteln dieses Buches werde ich die Geschichte der

Leitmotive biologischer Forschung schildern. Anhand von Originalzitate wichtiger Autoren werden die übergreifenden Problemstellungen, Theorien und Methoden der Biologie exemplarisch dargestellt. Dabei ist das Schicksal von Ansichten, die nach heutiger Sicht falsch sind, oft aufschlussreicher als die Entstehung und Durchsetzung zutreffender Theorien. Auf die Benutzung spezieller Fachbegriffe habe ich soweit wie möglich verzichtet, die fremdsprachigen historischen Zitate werden in Übersetzung wiedergegeben (aber nach den Originalstellen zitiert). Die Kapitel sind in sich abgeschlossen und können je nach Interesse auch einzeln gelesen werden. Sie ergänzen sich aber, nehmen den Faden auf, wo andere Kapitel enden, und geben zusammen einen übergreifenden Eindruck von der Geschichte der Biologie.

Eine thematisch aufgebaute Geschichte der Biologie hat Vorteile, sie hat aber auch den Nachteil, dass sie die Autoren, ihre Fragestellungen, Theorien und Methoden aus dem jeweiligen historischen Zusammenhang reißt. Die übergreifenden Ideen einer bestimmten Epoche, der kulturelle und wissenschaftliche Zeitgeist, kommen so zu kurz. Ähnliches gilt für die biographische Dimension sowie die Sozial- und Institutionengeschichte der Biologie. Zu diesen und weiteren Aspekten sei auf die im Literaturverzeichnis genannten, anders angelegten Geschichten der Biologie verwiesen.

Das Buch ist im Wintersemester 2002-03 entstanden, als ich ein Heynehaus-Fellowship und einen Lehrauftrag am Institut für Wissenschaftsgeschichte der Universität Göttingen wahrnahm. Nicolaas A. Rupke herzlichen Dank für die Einladung, seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, Wolfgang Böker, Elisabeth Eck und Marita Hübner, für ihre Hilfe. Ebenso den Studentinnen und Studenten, die meine Vorlesung zur Geschichte der Biologie mit Fragen und Diskussionen begleitet haben. Mein besonderer Dank geht an Armin Geus, Christin Gumbinger, Jürgen Haffer, Uwe Hoffeld, Anna Jakovljevic, Ulrich Kutschera, Ernst Mayr und Sabine Paul für vielfältige Unterstützung, Ermutigung und Anregung.

Urzeugung: Die Entstehung des Lebens

Organismen unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht von unbelebten Objekten. Eine ihrer auffälligsten, bis heute Phantasie und Wissbegierde gleichermaßen anregenden Eigenschaften ist die Fähigkeit, sich fortzupflanzen, d. h., ihnen ähnliche Wesen hervorzubringen. Schon früh in der Geschichte der Menschen muss rudimentäres Wissen um diese Zusammenhänge verbreitet gewesen sein. Sehr viel schwieriger zu erkennen war dagegen, ob die Fortpflanzung ein unerlässliches Merkmal aller Organismen ist oder nur von manchen. Gibt es Lebewesen, die zu manchen Zeiten oder unter bestimmten Bedingungen unabhängig von anderen Organismen, d. h. ohne Eltern, entstehen können? Von der Antike bis weit ins 19. Jahrhundert wurde diese Frage von vielen Naturforschern bejaht, und sie hielten die Urzeugung, die *generatio spontanea* oder *aequivoca* (‹freiwillige› oder ‹unklare› Zeugung), wie man auch sagte, für eine Selbstverständlichkeit. Dies gilt im Prinzip noch heute, und nur das genaue ‹Wie?› der ursprünglichen Entstehung der Organismen ist eine der großen offenen Fragen der Biologie.

Um den historischen ebenso wie den modernen Theorien zur ursprünglichen Entstehung der Organismen gerecht zu werden, ist es wichtig zu verstehen, dass die Urzeugung als Erklärung für zwei voneinander weitgehend unabhängige Phänomene diente. Zum einen war sie eine Alternative zur Fortpflanzung, wobei man annahm, dass die elternlose Entstehung bei bestimmten Organismen den normalen Modus darstellt. Die Urzeugung wäre demnach ein auch in der Gegenwart häufig zu beobachtender Vorgang. Diese Vorstellung war seit der Antike weit verbreitet, ab dem 17. Jahrhundert wurde sie dann langsam zurückgedrängt und verschwand um 1860 als wissenschaftlich ernst zu nehmendes Konzept aus der Biologie. Zum anderen sollte die Urzeugung die ursprüngliche Entstehung der ersten

Lebewesen jeder Art oder der frühesten Organismen überhaupt erklären. Dies bleibt aber ein besonderes Ereignis, da sich die so entstandenen Tiere und Pflanzen im weiteren Verlauf in üblicher Weise fortpflanzen sollen. Auch diese Vorstellung wurde bereits von antiken Autoren vertreten und erlebte vom 17. Jahrhundert bis in die Gegenwart mehrfache Blütezeiten, bis sie schließlich nach tiefgreifendem Wandel zu einem der spannendsten Felder moderner biologischer Forschung wurde. Die so verstandene Urzeugung war historisch eine Alternative oder Ergänzung zur Evolutionstheorie. – Zur Geschichte der Urzeugungstheorien vgl. Lippmann 1933, Farley 1977.

Urzeugung und Fortpflanzung

Erst in den letzten drei Jahrhunderten tauchten Zweifel an der Entstehung von Lebewesen aus den Elementen, bestimmten Stoffen oder der Erde auf. Das scheinbar von Alltagsbeobachtungen bestätigte Phänomen der Urzeugung wurde zudem von keiner geringeren Autorität als Aristoteles gestützt und so für mehr als 2000 Jahre weithin als Tatsache gesehen. Meist waren es die jeweils kleinsten bekannten oder scheinbar einfach gebaute Organismen, die man für Produkte der Urzeugung hielt: Bakterien, Infusorien, Insekten und parasitische Würmer wurden ebenso genannt wie Algen und Pilze.

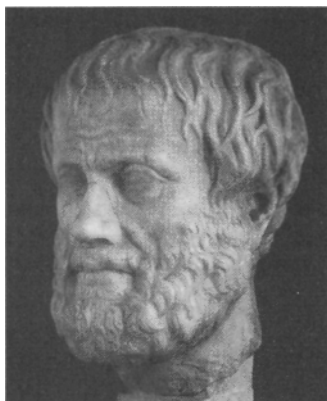
Aristoteles (384–322 v. u. Z.) hatte scharf zwischen sexueller Fortpflanzung und Urzeugung unterschieden. Jede Tierart soll entweder auf die eine oder auf die andere Weise entstehen, sowohl Zeugung als auch Urzeugung sind aber natürliche Vorgänge. Bei den Tieren beispielsweise lässt er Aale über Regenwürmer aus faulendem Tang hervorgehen. Auch Pflanzen wachsen teils «aus Samen, teils vollzieht die Natur bei ihnen eine Urzeugung, sie wachsen aus faulender Erde oder gewissen Pflanzenteilen» (*Aristoteles, De generatione animalium: 715b*). Die Entstehungsweise soll davon abhängen, ob es bei einer bestimmten Art Männchen und Weibchen gibt. Ist dies der Fall, dann vermehren sie sich ausschließlich durch sexuelle Fortpflanzung. Ist es nicht der Fall, so entstehen die Lebewesen durch Urzeugung.

Der Stoff, nach Aristoteles das weibliche Prinzip, ist aus sich allein heraus nicht in der Lage, ein Lebewesen zu bilden, sondern es wird noch ein männliches, seelisches Prinzip benötigt. Das seelische Prinzip wird bei der sexuellen Fortpflanzung durch den Samen des Männchens übermittelt, bei der Urzeugung durch die überall vorhandene «seelische Wärme»: «Es entstehen in der Erde und im Wasser Tiere und Pflanzen, weil in der Erde Feuchtigkeit, im Wasser Lebensluft und überall seelische Wärme ist». Der Erde als mütterlichem Prinzip stehen nach Aristoteles Himmel und Sonne als männliche Prinzipien gegenüber (Aristoteles, *De generatione animalium*: 762a, 716a).

Als mit der Renaissance das Interesse an der Natur neu erwachte, wurde die eigene Beobachtung wieder als Grundlage wissenschaftlichen Forschens geschätzt. Zugleich orientierte man sich an den Texten der Antike. Beides nun schien für die Urzeugung zu sprechen, und so galt sie weiterhin als ebenso natürlich wie die Fortpflanzung.

Der Glaube an häufige Urzeugungen wurde erst im 17. Jahrhundert mit der Verbreitung der frühen Mikroskope zunehmend in Zweifel gezogen. Man konnte nun zeigen, dass sich zahlreiche Tiere aus Eiern entwickeln, von denen man vermutet hatte, dass sie durch Urzeugung aus faulenden Substanzen entstehen. 1651 prägte *William Harvey* (1578–1657) hierfür das Schlagwort «*Omne animal ex ovo*» («Alle Tiere aus dem Ei»). 1668 konnte dann *Francesco Redi* (1626–1697) durch vielfach variierte Experimente nachweisen, dass sich an Fleischstücken, die in sorgfältig verschlossenen Gläsern aufbewahrt wurden, keine Würmer bilden, sondern dass diese aus Eiern entstehen, die von Insekten auf dem Fleisch abgelegt wurden. Zugleich entdeckte man unter dem Mikroskop aber die zuvor unbekannte Welt der Infusorien, winziger, für das bloße Auge unsichtbarer Organismen, die eine Brücke zwischen Lebewesen und der unbelebten Natur zu schlagen schienen. Dass zumindest diese kleinsten Lebewesen durch Urzeugung entstehen, schien durch ein einfaches Experiment beweisbar: Weichte man Heu, Körner oder Fleischstückchen in Wasser auf, so war dieses nach wenigen Tagen voll von mikroskopisch kleinen Organis-

Abb. 1: Aristoteles, 384–322 v. u.Z.
(Archiv für Kunst und Geschichte,
Berlin)



men. So erklärt sich auch der Name «Infusorien» für Mikroorganismen (von lat. *infusum* «Aufguss»).

Aus verschiedenen Gründen wurde die Entstehung der Organismen aus unbelebter Materie aber zunehmend kritisch betrachtet. So betonte man zum Ende des 18. Jahrhunderts aus weltanschaulichen und philosophischen Gründen die Unterschiede zwischen belebten und unbelebten Objekten. Immanuel Kant (1724–1804) beispielsweise kritisierte die «generatio aequivoca, worunter man die Erzeugung eines organisierten Wesens durch die Mechanik der rohen unorganisierten Materie versteht», als ungereimt und vernunftwidrig (Kant 1799: B 371 Fn.).

Die Verbesserung der mikroskopischen Technik in den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts trug ein Übriges bei. Auch In-

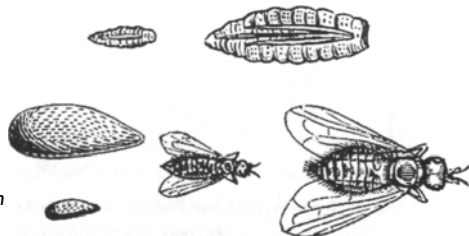


Abb. 2: Entwicklung
einer Fliege aus den Larven
(Redl 1668: 187)

fusorien, so zeigte sich, weisen eine innere Struktur auf. Der Berliner Naturforscher *Christian Gottfried Ehrenberg* (1795–1876) sprach ihnen 1838 in seiner Schrift *Die Infusionsthierchen als vollkommene Organismen* sogar eine ähnliche innere Organisation wie den vielzelligen Organismen einschließlich Darmkanal und Mägen zu. Auch wenn Ehrenberg hier über das Ziel hinausschoss, so ließ sich die Erkenntnis, dass auch die kleinsten Lebewesen einen komplexen Bau haben, nicht mehr abweisen. Jedenfalls hatte sich gezeigt, dass es sich überall dort, wo man die Entstehung eines Organismus genau zu beobachten im Stande gewesen war, um Fortpflanzung gehandelt hatte. Urzeugungen dagegen hatte man nie direkt beobachtet.

Auch die Geschichte der Wissenschaft sprach gegen die Urzeugung: Hatte man ursprünglich auch Wirbeltiere auf diese Weise entstehen lassen, waren es später Insekten und Würmer, schließlich die Infusorien. Bei jedem Fortschritt der mikroskopischen und experimentellen Technik hatte sich die Grenze verschoben, indem man jeweils die Entstehung durch Fortpflanzung nachweisen konnte. Die Urzeugung war offensichtlich weniger eine Erklärung als das Eingeständnis, dass man sich die Entstehung eines Organismus (noch) nicht begreiflich machen konnte. Nun, da echte, auf genaue Beobachtungen gestützte Erklärungen in Reichweite waren, sah man in der Urzeugung ein Hindernis der Forschung, das von einer Untersuchung des Lebenszyklus mikroskopischer Organismen ablenkte.

So war die Lehre von der Urzeugung Mitte des 19. Jahrhunderts, als *Louis Pasteur* (1822–1895) seine berühmten Experimente durchführte, bereits weitgehend unglaublich gewor-

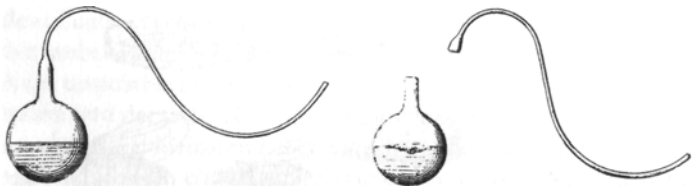


Abb. 3: Versuchsgefäß von Pasteur zur Widerlegung der Urzeugung
(Pasteur 1861:260–61)

den. Pasteur zeigte, dass in einer Flüssigkeit, die für einige Zeit gekocht worden war und sich in einem Behälter mit langem, horizontalem, S-förmigem Endrohr befindet, auch nach Wochen und Monaten weder Fermentation stattfindet noch Mikroorganismen zu finden sind. Sobald der ‹Schwanenhals› gebrochen wird, kommt es sehr schnell zur Fermentation (Pasteur 1861). Obwohl Pasteur eigentlich nur gezeigt hatte, dass es in zucker- und eiweißhaltigen Flüssigkeiten bei Zimmertemperatur nicht zur Neubildung von Organismen aus lebloser Substanz kommt, galten diese und weitere Experimente am Ende eines langen Erosionsprozesses als überzeugende Beweise für die generelle Unmöglichkeit der Urzeugung.

Die Urzeugung war nun als Alternative zur Fortpflanzung endgültig obsolet geworden, aber unter anderen Vorzeichen erlebte sie eine Renaissance und wurde zu einem grundsätzlichen Problem. Selbst wenn Organismen in der Gegenwart nicht aus unbelebter Materie gebildet werden, so müssen sie doch irgendwann entstanden sein. Auch Darwins Evolutionstheorie, 1859 erstmals veröffentlicht, konnte dieses Problem zunächst nicht lösen. Darwin hatte zwar eine Erklärung für Evolution und gemeinsame Abstammung, nicht aber für die ursprüngliche Entstehung der ersten Organismen vorgelegt.

Die Erde als Mutter

Eine Urzeugung im Sinne einer ersten Entstehung der Lebewesen ist, wenn man nicht annehmen will, dass sie ewig leben, eine logische Notwendigkeit. Wie aber ist die erste Entstehung von Organismen zu erklären, auch solcher, die sich nun fortpflanzen? Mit ‹Urzeugung› ist in diesem Zusammenhang also kein alternativer Modus zur Fortpflanzung gemeint, sondern es geht um den ursprünglichen Beginn der ersten Organismen jeder Art. Die bis ins 19. Jahrhundert verbreitetste Erklärung war die religiöse: Man glaubte, dass die Lebewesen zu Beginn der Welt oder zu späteren Zeiten von Gott erschaffen wurden. Für Naturforscher war diese mythische Erzählung wenig befriedigend, da sie wundersame Ereignisse voraussetzte, die der wis-

senschaftlichen Erkenntnis nicht zugänglich sind und eher als Zeichen der Unwissenheit denn als Erklärung gelten mussten.

Schon bei den Ionischen Naturphilosophen der Antike gab es Versuche, die erste Entstehung der Organismen auf natürliche Weise zu erklären. Aufbauend auf diesen frühen Spekulationen hat der aus der Schule der Epikureer stammende römische Dichter und Philosoph *Lukrez* (97–55 v.u.Z.) in seinem Lehrgedicht *De rerum natura* (*Vom Wesen des Weltalls*) ein grandioses Bild der Natur entworfen, das die Phantasie der Naturforscher und Philosophen anregte und erst im 19. Jahrhundert durch die Evolutionstheorie ersetzt wurde. Er glaubte, dass die heutige Vielfalt der Arten dadurch zu erklären ist, dass Organismen unmittelbar durch Urzeugung entstehen. Die Lebewesen sind «auf ganz natürliche Weise entstanden», indem «Urkörper sich von allein und zufällig trafen, vielfältig, blindlings, unnützlich, vergeblich zusammen sich ballten, schließlich nach jäher Vereinigung miteinander verwachsen» (Lukrez, *De rerum natura*, II: 1057–63). Als die Erde noch jünger war, habe sie, gleichsam zur Probe, auch Scheusale und Wundergeschöpfe erschaffen, die aber zugrunde gingen, da sie nicht zur Fortpflanzung fähig waren oder nicht aus eigener Kraft überleben konnten. Für Lukrez werden die Arten von der Erde geboren, sie sind durch diesen gemeinsamen Ursprung miteinander verwandt, haben aber ihre jeweils eigene Entstehung und können sich nicht ineinander verwandeln:

«Sie [die Erde] schuf die Gattung des Menschen,
ließ auch in annähernd regelmäßigen Fristen die Tiere
aufwachsen, die überall im hohen Gebirge sich tummeln,
gleichzeitig auch in den Lüften die vielgestaltigen Vögel.
Doch weil sie einmal aufhören muß mit Gebären, so brachte
sie nicht mehr Neues hervor, wie ein Weib, ermattet vom Alter»
(Lukrez, *De rerum natura*, V: 821–29).

Im Gegensatz zu Aristoteles glaubte Lukrez, dass die Erde, die er auch Mutter nennt, die Lebewesen aus sich heraus ohne ein väterliches Prinzip erschaffen kann. Gemeinsam ist beiden Naturphilosophen der Antike, dass sie sich die Urzeugung analog

zur Fortpflanzung bei Menschen und Tieren, d. h. als Zeugung und Geburt, vorstellten.

Lukrez' Ideen prägten noch die Diskussionen um die Entstehung der Lebewesen im 18. Jahrhundert. So hat *Denis Diderot* (1713–1784) vermutet, dass die jeweils ersten Organismen einer Art durch Gärung entstehen. Genügend Zeit vorausgesetzt, sei es nicht unplausibel anzunehmen, dass auch der «Elefant, diese riesige Masse von organischem Bau, ein plötzliches Produkt der Gärung» ist. Wer weiß, fährt er fort, «ob die Gärung und ihre Produkte erschöpft sind? Wer weiß, in welchem Zeitpunkt der Aufeinanderfolge jener Tiergeschlechter wir uns jetzt befinden?» (Diderot 1769: 93).

Wie unzulänglich die spekulativen Ideen von Lukrez und seinen Nachfolgern aus heutiger Sicht auch sein mögen, sie stellten doch einen entscheidenden Schritt zur modernen wissenschaftlichen Erklärung dar. Obwohl sie im Detail kaum weniger wundersam waren als der religiöse Mythos, unterscheidet sich ihre Methode und Weltanschauung grundlegend: Die Forderung, sich auf natürliche Erklärungen zu beschränken und mit bekannten Kräften und Stoffen auszukommen, erwies sich als der zwar schwierigere, aber im Endeffekt erfolgreichere Weg. Aus heutiger Sicht ist offensichtlich, dass die Lösung des Problems der Entstehung komplexer Organismen nicht in einer plötzlichen Urzeugung bestehen kann, sondern einen langandauernden Wandlungsprozess voraussetzt.

Urzeugung und Evolution

Mit dem Aufkommen der Evolutionstheorie wurde die Idee der Urzeugung zunächst nicht verdrängt, sondern man kombinierte beide Vorgänge. Für Lamarck, der 1809 die erste echte Evolutionstheorie im Sinne einer allmählichen und unbegrenzten Umgestaltung von Arten postulierte, war die Urzeugung ein notwendiger Bestandteil seines Modells. Wenn man, so argumentierte er, davon ausgeht, dass die Lebewesen Erzeugnisse der Natur sind, dann muss die Natur die Fähigkeit haben, einige von ihnen direkt zu bilden (Lamarck 1809, Bd. 2: 456–57). Da

Lamarck eine zwangsläufige Höherentwicklung annimmt, benötigt er einen Mechanismus, der die ständige Neuproduktion der einfachsten Organismen gewährleistet. Das heißt, nur ständige Urzeugungen und Evolution gemeinsam erklären das Nebeneinander von Organismen mit unterschiedlicher Organisationshöhe. Die höchstentwickelten Organismen sind die ältesten, da sie am meisten Zeit hatten, ihre Entwicklungsstufe zu erreichen, die primitivsten die jüngsten.

Charles Darwins *Origin of Species* (1859) führte auch bei der Frage der Entstehung der ersten Organismen zu einer neuen Sichtweise. Sein Evolutionsmechanismus, die natürliche Auslese, kam ohne eine notwendige ständige Höherentwicklung aus. Komplexität ist nicht generell, sondern nur unter bestimmten Umweltbedingungen vorteilhaft. Wenn ein Organismus beispielsweise als Einzeller Überlebens- und Fortpflanzungsmöglichkeiten hat, so wird er sich nicht unbedingt in einen Vielzeller verwandeln. Darwin musste also keine Urzeugungen in der Gegenwart annehmen, was den Konflikt mit den im selben Jahr veröffentlichten Ergebnissen Pasteurs entschärfte. Die Frage nach den ursprünglichsten Organismen war damit aber noch nicht gelöst. Darwin vermutete, dass die Tiere von höchstens vier bis fünf Urformen abstammen, die Pflanzen von einer ähnlichen Zahl. Man könnte, so führte er aus, weiter folgern, dass sich auch diese auf einen gemeinsamen Vorläufer zurückführen lassen, also «alle organischen Wesen, die jemals auf dieser Erde gelebt haben, von einer einzigen ursprünglichen Form abstammen, in die das Leben zuerst eingehaucht wurde» (Darwin 1859: 484). Letzteres war natürlich keine echte Erklärung, was Darwin auch zugestand, aber in der Öffentlichkeit wollte er sich zu dem Thema nicht weiter äußern. Später hat er dann folgendes Szenario gezeichnet:

«Man hat oft gesagt, dass alle Bedingungen für die erste Entstehung eines lebenden Organismus jetzt vorhanden sind, die jemals vorhanden gewesen sein konnten. Aber wenn (und o! was für ein großes Wenn!) wir in irgend einem kleinen warmen Tümpel, mit allen Arten von Ammoniak und phosphorsauren Salzen, Licht, Wärme, Elektrizität U.S.W., wahrnehmen könnten, dass eine Proteinverbindung

gebildet wurde, bereit noch kompliziertere Veränderungen einzugehen, so würde heute eine solche Substanz augenblicklich verschlungen oder absorbiert werden, was nicht der Fall gewesen wäre, bevor lebende Geschöpfe gebildet wurden» (Darwin 1887, Bd. 3: 17).

In diesem Sinne speulierte auch der Jenaer Zoologe *Ernst Haeckel* (1834–1919) über höchst einfache Organismen, die «Moneren», die «weiter nichts darstellen als ein strukturloses Körnchen oder Klümpchen einer eiweißartigen Kohlenstoffverbindung» und sich in einem Urzeugungsprozess aus «Urschleim» gebildet haben sollen (Haeckel 1911: 365). Als *Thomas Henry Huxley* (1825–1895) in Materialproben vom Boden des Ozeans eine gallertartige Masse fand, glaubte er, Organismen an der Schwelle zum Leben identifiziert zu haben. Bald stellte sich aber heraus, dass es sich bei diesem *Bathybius haeckelii* genannten «Uroorganismus» um ein anorganisches Artefakt handelte.

So kam es in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu einem fast völligen Zurückdrängen der Urzeugung. Als Alternative zur Fortpflanzung hatte sie ausgedient. Auch als Erklärung für die Entstehung der Arten wurde sie sukzessive durch die Idee der Evolution ersetzt. Während Lamarck die einfachsten Lebewesen auch in der Gegenwart auf diese Weise entstehen lässt, ist bei Darwin nur noch von einer einzigen Urform die Rede. Aber dieser Beginn, diese Entstehung der ersten Uroorganismen, wurde nun erst recht zu einem offenen Problem.

Chemische Evolution

Eine Lösung rückte erst im 20. Jahrhundert in den Bereich des Möglichen, als man das neue chemische und biologische Wissen zusammen mit den von Darwin gefundenen Prinzipien Evolution und Selektion konsequent auf den Ursprung des Lebens anwandte. An drei Punkten kam es dabei zu einer grundlegenden Neuformulierung der Problemstellung. Die ersten beiden Voraussetzungen waren schon von den Naturforschern des 19. Jahrhunderts benannt worden: Zunächst sei nicht auszu-

schließen, «dass in jener ältesten unvordenklichen Urzeit» andere chemische und physikalische Bedingungen herrschten als in der Gegenwart (Haeckel 1911: 362). Ebenso wichtig war Darwins Beobachtung, dass es heute nicht mehr zur Urzeugung kommen kann, da die existierenden Organismen frühe Stadien sofort zerstören. Und drittens schließlich musste man die Entstehung der ersten Organismen als einen langsamen, über viele Zwischenstufen verlaufenden Prozess verstehen. Die Lösung bestand also darin, Darwins Modell eines graduellen, allmählichen Optimierungsprozesses, der unter konkreten Umweltbedingungen abläuft, auch auf die erste Entstehung der Lebewesen anzuwenden. Wenn Pasteur die Unmöglichkeit von Urzeugungen in einer kurzen Zeitspanne und unter bestimmten chemischen und physikalischen Reaktionsbedingungen nachgewiesen hatte, dann war das Leben eben vielleicht unter anderen Umständen und über lange Zeiträume entstanden.

1936 stellte der russische Biologe *Aleksander Oparin* (1894-1980) ein entsprechendes Modell vor, das die mehr oder weniger plötzlichen Urzeugungen durch das Konzept der chemischen Evolution ersetzte. Er nahm an, dass die Erdatmosphäre ursprünglich keinen freien Sauerstoff enthalten hatte. Dieser sei erst später durch den Stoffwechsel von Organismen entstanden. Unter dieser Bedingung konnten in der «Ursuppe» organische Moleküle wie Aminosäuren, Zucker und organische Basen durch chemische Reaktionen produziert werden und sich in weiteren Schritten zu Makromolekülen verbinden. An geeigneten Stellen sammelten sich diese Proteine und Nukleinsäuren in Tröpfchen und bildeten so Protozellen. Oparin nahm an, dass es schon bei dieser chemischen Evolution zu einem der natürlichen Auslese analogen Vorgang kommt, der stetige Verbesserung ermöglicht.

In den 1950er Jahren führten Stanley Miller und andere Forscher dann Experimente durch, die zeigten, dass in Gas-mischungen aus CH_4 , NH_3 und H_2O -Dampf, die die Atmosphäre der frühen Erde nachbilden, nach elektrischen Entladungen organische Moleküle (unter anderem einige Aminosäuren) entstehen. Später konnten weitere Stufen der chemischen Evo-