

## MENSCHEN

## Lynn Margulis: Symbiogenese-Theorie und Anti-Darwinismus

*Die Tatsache, dass kernhaltige Zellen (Eucyten) zu Organellen reduzierte Bakterien enthalten – wie beispielsweise Mitochondrien und Chloroplasten – und somit durch Kooperation und Integration entstanden sind, wurde von der Biologin Lynn Margulis mit entdeckt. Die Symbiogenese war ein Schlüsselereignis in der organismischen Evolution. Doch nicht alle Konzepte der Evolutionsbiologin Lynn Margulis sind so unumstritten, wie es die Endosymbiontentheorie heute ist – einige ihrer Gedanken werden ausgesprochen kontrovers diskutiert.*

Am 22. November 2011 verstarb die international renommierte Evolutionsbiologin und Buchautorin Lynn Margulis, Professorin der Geowissenschaften an der Universität von Massachusetts (Amherst, USA), im Alter von 73 Jahren infolge eines Schlaganfalls. Die Naturwissenschaftlerin wurde 1938 in Chicago geboren, wo sie bereits als 14-Jährige an der dortigen Universität ihr 1957 abgeschlossenes Studium begann. 1960 erwarb sie ihren Master of Science in Genetik/Zoologie (Universität Wisconsin) und 1963 wurde Margulis an der Universität von Kalifornien (Berkeley) promoviert (Ph. D. in Genetik). Nach einer Postdoc-Zeit an der Brandeis-Universität war die Biologin 22 Jahre lang an der Boston University tätig, bevor sie ihre Professur an der Universität von Massachusetts übernahm, die Margulis (Abbildung 1) bis zu ihrem Tod inne hatte. Lynn Margulis war Mutter von vier Kindern und hinterlässt neun Enkel.

### Eine abgelehnte Ursprungsarbeit

Im Jahr 1966 verfasste die 28-jährige Juniorprofessorin eine ihrer wichtigsten theoretischen Arbeiten. Das Manuskript mit dem Titel „Über den Ursprung sich durch Mitose teilender Zellen“ wurde allerdings, unter anderem wegen des „revolutionären Inhalts“, bei über zehn Fachzeitschriften abgelehnt, dann aber im *Journal of Theoretical Biology* veröffentlicht

[1, 6]. In dieser Publikation fasste die damals mit dem Astronomen Carl Sagan (1934–1996) verheiratete Autorin Literaturdaten zusammen und präsentierte ihre eigene Theorie zum Ursprung eukaryotischer Zellen. Da Margulis in dieser ersten Arbeit und in nachfolgenden Buchveröffentlichungen die Publikationen des russischen Biologen und Urvaters der Symbiogenese-Hypothese, Constantin Mereschkowsky (1855–1921), nur beiläufig erwähnte, wurde ihr später vorgeworfen, sie hätte die Ideen dieses Forschers übernommen und als Eigenleistungen dargestellt. Dieser Vorwurf ist jedoch nur teilweise gerechtfertigt, da Margulis weit über die Grundkonzepte der Urväter dieser Theorien hinausgegangen ist. Ihre Theorie der seriellen primären Endosymbiose (oder Endocytobiose) [1–11] wurde einige Jahre später weltweit anerkannt. Die Hauptaussage dieses Prinzips der Evolution durch Kooperation und Integration kann wie folgt zusammengefasst werden: Kernhaltige Zellen (Eucyten) sind zusammengesetzte Systeme aus Protocysten und hypothetischen Ur-Zellen, die zu Beginn weder Mitochondrien noch Chloroplasten enthalten haben. Über Phagozytose-Prozesse, die beispielsweise bei heutigen Amöben beobachtbar sind, wurden vor Jahrmillionen frei lebende Protocysten (zuerst ein aerobes Alpha-Proteobakterium, später ein Cyano-

bakterium) in das Cytoplasma aufgenommen und im Verlaufe langer Zeiträume „domestiziert“. Diese sind im Cytoplasma vermehrenden, auf Tochterzellen vererbaren Endosymbionten durchliefen eine reduktive Co-Evolution mit der sie umschließenden Wirtszelle und sind später zu Organellen (Mitochondrien, Chloroplasten) reduziert worden (Abbildung 2).

An der Tatsache, dass Mitochondrien und Chloroplasten ehemals frei lebende Mikroben waren, zweifelt heute kein sachkundiger Evolutionsforscher mehr. Die Frage, wie diese vor circa 2000 bis 1400 Millionen Jahren abgelaufenen Prozesse zu rekonstruieren sind, ist jedoch noch immer Gegenstand der Forschung und zentrale Aussage der Endosymbiontentheorie(n) [1–11].

### „Wir sind die Kinder ertümlischer Bakterien“

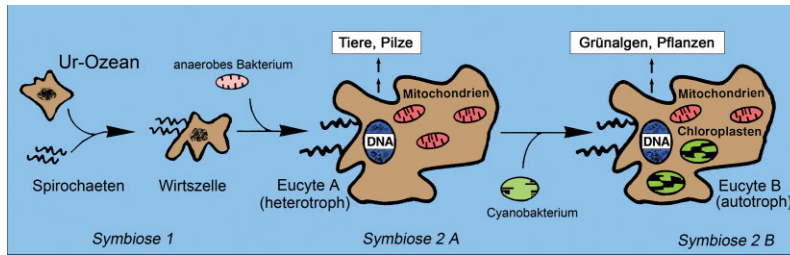
Lynn Margulis hat das von ihr wiederentdeckte und erweiterte Prinzip der *Symbiogenese*, der Entstehung komplexer Systeme durch Zusammenlagerung von Einzelbausteinen, analog der Endosymbiose in der Zell-Evolution (Abbildung 2), konsequent ausgebaut und nach und nach auf alle Teilbereiche der Biologie übertragen. Leider unterschied die Evolutionsforscherin in ihren populären Schriften nicht konsequent zwischen der Endocytobiose (d. h. Organellen-Entstehung über Phagozytose, s. Abbildung 2) und anderen, makroskopischen Symbiosen.

Der Begriff Symbiose wurde 1879 von Anton de Bary (1831–1888) als „die Entstehung des Zusammenlebens ungleichnamiger Organismen“ definiert und umfasste ursprünglich alle Abstufungen vom Parasitismus (Schmarotzertum) bis hin zum Mutualismus (beide Partner erzielen beim Zusammenleben einen Vorteil). Erst 1920 setzte sich die noch heute übliche Definition durch: Symbiosen sind Vereinigungen zweier un-



**ABB. 1** Lynn Margulis (1938–2011). Bild: Universität Massachusetts, Amherst, USA.

Ein ausführliches Porträt über Constantin Mereschkowsky erschien in BIUZ 2/2008, S. 132



**ABB. 2** Schema der seriellen primären Endosymbiose, wie sie von Lynn Margulis und anderen Forschern formuliert wurde. Die Symbiose 1 ist spekulativer Natur. Symbiosen 2 A und 2 B sind belegte Naturereignisse. Aus den Eucyten A (heterotroph) und B (photoautotroph) haben sich im Lauf der Jahrmillionen aus einzelligen Urformen die mehrzelligen Pilze und Tiere beziehungsweise die Grünalgen und Pflanzen entwickelt. Nach [3].

gleichartiger Lebewesen, wobei beide Partner von dieser Co-Existenz profitieren – wie dies beispielsweise bei den aus Pilzen und Grünalgen bestehenden Flechten der Fall ist [2].

In ihrem vor zehn Jahren veröffentlichten Buch *Das Erwerben von Genomen: Eine Theorie über den Ursprung der Arten*, das Margulis mit ihrem Sohn Dorion Sagan verfasst hatte, wurden die Prinzipien der Endocytobiose/Symbiose als die wichtigsten artbildenden Prozesse der Biosphäre bezeichnet [9]. Eine ausführliche Analyse der Argumente von Margulis und Sagan ergab jedoch, dass diese Schlussfolgerung nicht haltbar ist: So genannte Symbio-Speziationen, d. h. Artbildungs-Prozesse, die durch Symbiose-Ereignisse verursacht werden, konnten bisher nur in wenigen Ausnahmefällen nachgewiesen werden. Daraus folgt, dass die Hauptthese von Margulis und Sagan, Symbiosen seien wichtiger als „Darwinsche Variations-Selektions-Prozesse“, zurückgewiesen werden muss [2].

Das Mutter-und Sohn-Team Margulis/Sagan [9] zog dennoch wichtige allgemeine Schlussfolgerungen von großer Tragweite, die sich als korrekt erwiesen haben: Unter den fünf Organismen-Reichen (Bacteria, Protoctista, Fungi, Animalia, Plantae, s. Abbildung 3) sind die Bakterien, d. h. aus Protoctyten bestehende Mikroben, einschließlich der Archaea und Cya-

nobakterien, die ältesten Organismen der Erde, gefolgt von den Protoctista (Algen, Meeresplankton usw.). Eine zentrale These von Margulis, dass wir „alle die Kinder von Bakterien sind“ und letztlich ohne diese Mikroorganismen nicht lebensfähig wären, konnte in vollem Umfang durch weiterführende Forschungsarbeiten bestätigt werden [3, 4, 5].

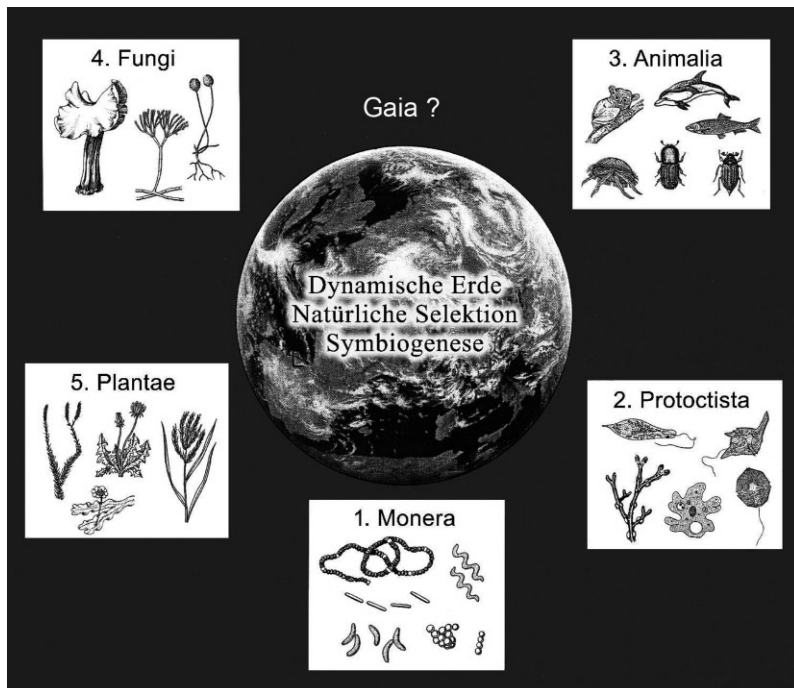
### Kritik am Neo-Darwinismus und die Folgen

Aus Gründen, die schwer nachvollziehbar sind, hat sich die Evolutionsforscherin bereits vor über 20 Jahren als selbsternannte „Anti-Darwinistin“ in eine Position gebracht, aus der sie bis zu ihrem Lebensende nicht mehr heraus kam. Wie ihr großer Vorgänger, Constantin Mereschkowsky, übte sie Kritik am Variations-Selektions-Prinzip von Darwin und Wallace. Diese Ablehnung eines vielfach bestätigten Naturgesetzes führte in ihrem populären Buch *Das Erwerben von Genomen* [9] zu seltsamen Äußerungen. So argumentierte sie gegen die Wirkung der natürlichen Selektion, die nur Individuen vernichten soll, und schrieb beispielsweise „es gibt keine Belege, dass Zufallsmutationen zu Artbildungsprozessen führen“. Weiterhin lesen wir „die meisten Evolutionsbiologen ignorieren die Zellbiologie, Mikrobeforschung, oder sogar die geologischen Fossilienabfolgen“ [9].

In diesen und anderen Äußerungen werden zwei Fakten ignoriert: 1. die sexuelle Reproduktion, verbunden mit der meiotischen Rekombination, ist der entscheidende „Variationengenerator“ in Populationen, und 2. nur die gerichtete (dynamische), nicht jedoch die stabilisierende (erhaltende) natürliche Selektion ist für den Artenwandel von Bedeutung. Der Vorwurf der Autoren Margulis und Sagan, dass viele „darwinistisch denkende“ Evolutionsforscher zellbiologische und geologische Befunde in ihrem Selektionsmodell weitgehend ausklammern, ist allerdings gerechtfertigt. Weiterhin verwendet Margulis in verschiedenen Schriften den Begriff „Neo-Darwinismus“. Sie bezieht sich aber hierbei auf die Synthetische Theorie der biologischen Evolution in ihrer erweiterten Form („Expanded Synthesis“, s. Kapitel 3 in Kutschera 2008 [3]); das Wort „Neo-Darwinismus“ umschreibt jedoch die von August Weismann (1834–1914) begründete Version der Darwinschen Abstammungstheorie. Diese und andere ungeschickte Formulierungen führten dazu, dass Lynn Margulis in den USA zu einer (ungewollten) Kronzeugin der Kreationisten und Intelligent Design (ID)-Theoretiker erhoben wurde. War die „Anti-Selektionistin“ und Vertreterin des Prinzips der Evolution durch „Koperation und Integration“ [1, 3] eine bibeltreue Evolutionskritikerin?

### Distanzierung von Kreationismus und ID

In ihren Büchern [8, 9], insbesondere aber im letzten, nur wenige Monate vor Margulis Tod veröffentlichten Interview im *Discover Magazine* (April-Ausgabe, freie Online-Publikation am 17. Juni 2011) [12], kritisierte die Biologin das Darwin-Wallace-Prinzip der natürlichen Selektion in den oben zitierten Worten. Sie erkannte aber die Gesamtleistung der britischen Na-



**ABB. 3** Ein Bild unserer Erde mit repräsentativen Vertretern aller fünf Organismen-Reiche – eine Klassifizierung, die unter anderem von Lynn Margulis propagiert wurde. Die Symbiogenese, die natürliche Selektion und die dynamische Erde sind drei zentrale Prozesse, welche die Stammesentwicklung aller Organismen vorangetrieben haben (Synade-Modell der Makroevolution) [4, 5]. Die Frage, ob die Gaia-Theorie im Lichte unseres derzeitigen Wissens noch akzeptabel ist, sei dahingestellt. Nach [4].

turforscher in vollem Umfange an. Obwohl Charles Darwin mit seinen fünf Artenbuch-Theorien teilweise falsch lag (beispielsweise mit seiner Vorstellungen von der Vererbung erworbener Eigenschaften), haben sich die *Hauptaussagen* dennoch durch zahllose weiterführende Forschungsarbeiten bestätigt: Alle heute lebenden Organismen sind die Nachfahren gemeinsamer Urformen, die sich über Ausleseprozesse im Verlauf unzähliger Generationen-Abfolgen auseinander entwickelt haben und unsere Biosphäre bilden [3, 4, 5]. Lynn Margulis hat das Charles Darwin und Alfred R. Wallace unbekannte Prinzip der Symbiogenese als wichtigsten „Motor“ der Artbildungsprozesse interpretiert und hierbei die vielfach bestätigten Darwinschen Thesen ausgeblendet. Im Kreise der ID-Kreationisten in den USA wurden diese Aussagen mit Genugtuung aufgenommen –

man unterstellte der Darwin-kritischen Biologin unter anderem, sie sei eine „Anti-Evolutionistin“ bzw. „Design-Theoretikerin“.

Im oben erwähnten Interview [12] wurde die Forscherin zu dieser Behauptung befragt. Die Antwort von Lynn Margulis war eindeutig: „Alle Wissenschaftler stimmen überein, dass Evolution stattgefunden hat – dass alle Lebensformen aus gemeinsamen Vorläufern hervorgegangen sind, dass es Aussterbe-Ereignisse gegeben hat und dass neue biologische Organismengruppen entstanden sind.“ Margulis sagte hiermit unmissverständlich aus, dass Evolution eine Tatsache ist, jedoch die Frage nach den Antriebskräften der Arten-Transformationen noch Gegenstand der Forschung sei. Sie wandte sich somit ausschließlich gegen das von ihr einseitig interpretierte Selektionsprinzip (Gleichsetzung der stabilisierend/konser-

vierenden Auslese mit der dynamischen Selektion), und setzte diesem nicht korrekt dargestellten „Darwinschen Modus“ das Konzept einer universellen Symbiogenese entgegen. Diese These, d. h. das Denken in der Alternative „Symbiogenese oder natürliche Auslese“, ist noch heute unter manchen Endosymbiose-Forschern verbreitet. Die beiden Konzepte schließen sich jedoch nicht aus, sondern sie ergänzen sich [3, 4, 5]. Weiterhin wurde Margulis gefragt, ob denn ihre Kritik an der natürlichen Selektion nicht mit jener der ID-Kreationisten übereinstimmen würde. Sie antwortete darauf, dass Kritik immer berechtigt sei, jedoch die Schöpfungs-Anhänger „nichts zu bieten hätten als Intelligentes Design, oder das Motto ‚Gott machte es‘ – sie haben keine wissenschaftlichen Alternativen“. Mit diesen eindeutigen Worten ist die Frage, ob Lynn Margulis Sympathisantin des Kreationismus gewesen sei, definitiv mit „nein“ zu beantworten. Die Tatsache, dass Margulis keine (ID)-Kreationistin war, sondern wissenschaftlich fundierte Alternativen zum Selektionsprinzip suchte, wird auch darin deutlich, dass sie über Jahrzehnte hinweg das *National Center for Science Education* (NCSE) in Oakland, Kalifornien (USA) unterstützt hat. Diese Organisation verteidigt die Evolutionsbiologie gegen die Angriffe der (ID)-Kreationisten und verbreitet in den Vereinigten Staaten das Prinzip des methodischen Naturalismus: Götter, Geister und Designer haben in den Naturwissenschaften nichts verloren. Trotz dieses klaren Bekenntnisses zur wissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweise hat Lynn Margulis Positionen vertreten, die ihren Ruf als seriöse Wissenschaftlerin bis heute nachhaltig beeinträchtigt haben.

### Die Gaia-Hypothese und kontroverse Diskussionen

Im Jahr 1972 formulierte die damals 34jährige Lynn Margulis ge-

meinsam mit dem britischen Chemiker und Erfinder James Lovelock (geb. 1919) eine erweiterte Version der Gaia-Hypothese. Der Begriff *Gaia* kommt aus dem Griechischen und bedeutet „Land“ beziehungsweise „Erde“. Dieses später zu einer Theorie ausgebaut Aussage-System kann wie folgt zusammengefasst werden: Die Erde, mit all ihren Organismen und unbelebten Bestandteilen (Gesteine, Wasser usw.) ist ein komplexes, sich selbst regulierendes System, in welchem die lebensfreundlichen Bedingungen aufrecht erhalten werden. Anders formuliert, nach der Gaia-Theorie soll die Erde ein großer, homeostatischer Super-Organismus sein, d. h. die Biosphäre steuert die Umweltverhältnisse des Planeten und erhält sich gewissermaßen von selbst (man postuliert komplexe Interaktionen). Diese Vorstellung wurde zunächst von Umweltschützern begrüßt, aber von den Fachwissenschaftlern weitgehend ignoriert. In ihrem Buch *Der Symbiotische Planet* [8] widmete Margulis das letzte Kapitel der von ihr mit begründeten Gaia-Theorie. Dort stellte die Biologin klar, dass Gaia als „eine Serie interagierender Ökosysteme“ zu interpretieren sei, welche an der Oberfläche des Planeten „ein einziges, großes Ökosystem ergibt“. Margulis verglich diese Biosphären-Oberfläche auch mit einem „physiologischen System“ und somit mit einem Lebewesen. Weiterhin stellte die Evolutionsforscherin Verbindungen zwischen der Gaia-Theorie und den (Endo)-Symbiosen der Organismen her. Diese Betrachtungen [8] sind jedoch bestenfalls als Spekulationen zu bewerten.

Die von Lovelock und Margulis formulierte und popularisierte Gaia-Theorie wurde ab 1980 von verschiedenen Fachwissenschaftlern kritisiert, unter anderem wegen der versteckten teleologischen Formulierungen. Eine Zielgerichtetheit der Evolution oder eine

übernatürliche Planung (Design) sei in den Thesen der Gaia-Vertreter herauszulesen, so argumentierten die Kritiker. Aus diesen Gründen sei die „Erde als Organismus-Analogie“ unwissenschaftlich. Es stellt sich auch die Frage, ob das Gaia-Konzept im Lichte der Massenvermehrung der Spezies *Homo sapiens*, der Teil der evolvierten Biosphäre ist, heute noch zutrifft.

Neben dieser Gaia-Kontroverse hat sich Lynn Margulis wiederholt für Außenseiter-Positionen eingesetzt und wurde dafür heftig kritisiert. Diese kontroversen Debatten hat die Evolutionsforscherin in der Regel recht uneinsichtig, manchmal sogar dogmatisch-starrsinnig geführt. In ihrem letzten Interview sagte sie dementsprechend, ihre Ideen seien nicht kontrovers, „sondern ich betrachte sie als korrekt“ [12].

### Symbiogenese und Makroevolution

Die verstorbene Evolutionsforscherin Lynn Margulis hat mit ihren originellen Forschungsarbeiten, theoretischen Fachartikeln und populären Büchern die *Life Sciences* entscheidend vorangebracht. Das von ihr wiederentdeckte und ausgebaut, in vielen Schriften dargestellte Konzept der primären seriellen Endo-Cytobiose zählt heute zum gesicherten Wissen des Theoriensystems Evolutionsbiologie [1–11]. Weiterhin hat sich ihre These, die Biosphäre werde von Bakterien und eukaryotischen Mikroben (Amöben, Algen, Meeresplankton usw.) dominiert, im Lichte aktueller Forschungen als korrekt erwiesen [4, 5]. Allerdings hat die Biologin auch extreme Positionen vertreten, die problematisch sind.

Heute wissen wir, dass die *Symbiogenese* (primäre und sekundäre Endosymbiose-Prozesse), die gerichtete *natürliche Selektion* und die auch von Lynn Margulis propagierte *dynamische Erde* (Platten-Tektonik, Vulkanismus

usw.) zentrale Prozesse sind, welche die Evolution der Organismen aller fünf Reiche vorangetrieben haben. Dieses „Synade-Modell der Makroevolution“ [4, 5] ist in Abbildung 3 in eine Erdkugel eingezeichnet. Der Begriff „Synade“ ist ein Kunstwort, abgeleitet aus *Symbiogenese*, *natürliche Selektion* und *dynamische Erde*.

Die Frage, ob unser Planet in der Tat, wie im Gaia-Konzept angenommen, als ein sich selbst regulierendes System zu betrachten ist, kann derzeit nicht schlüssig beantwortet werden und zählt zu den offenen Fragen der Evolutionsforschung, die uns die verstorbene Biologin hinterlassen hat.

- [1] A. Geus, E. Höxtermann (Hrsg.), Evolution durch Kooperation und Integration – Zur Entstehung der Endosymbiontentheorie in der Zellbiologie. Basiliskens-Presse, Marburg, 2006.
- [2] U. Kutschera, K. J. Niklas, Endosymbiosis, cell evolution, and speciation. *Theory Biosci.* 2005, 124, 1–24.
- [3] U. Kutschera, *Evolutionsbiologie*. 3. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 2008.
- [4] U. Kutschera, *Tatsache Evolution*. Was Darwin nicht wissen konnte. Deutscher Taschenbuch Verlag, München (3. Auflage 2010).
- [5] U. Kutschera, From the scala naturae to the symbiogenetic and dynamic tree of life. *Biology Direct* 2011, 6 (33), 1–20.
- [6] L. Margulis, On the origin of mitosing cells. *J. Theoret. Biol.* 1967, 14, 225–274.
- [7] L. Margulis, *Origin of Eukaryotic Cells*, Yale University Press, New Haven, 1970.
- [8] L. Margulis, *Symbiotic Planet: A New Look at Evolution*. Basic Books, New York, 1998.
- [9] L. Margulis, D. Sagan, *Acquiring Genomes. A Theory of the Origin of Species*. Basic Books, New York, 2002.
- [10] W. Martin, Evolutionary origins of metabolic compartmentalization in eukaryotes. *Phil. Trans. R. Soc. B* 2010, 365, 847–855.
- [11] W. Martin, M. Mentel, The origin of mitochondria. *Nature Education* 2010, 3, 58.
- [12] D. Teresi, *Discover Interview Lynn Margulis says she's not controversial, she's right* (<http://discovermagazine.com/2011/apr/16-interview-lynn-margulis>)

Ulrich Kutschera  
Universität Kassel/Stanford (USA)  
[www.evolutionsbiologen.de](http://www.evolutionsbiologen.de)