

Markus Knoflacher

Relativität der Evolution



Stadt
Wien

Kultur



CLUB
OF
VIENNA



Springer



Relativität der Evolution

Markus Knoflacher

Relativität der Evolution

Markus Knoflacher
Club of Vienna
Wien, Österreich

ISBN 978-3-662-63936-8 ISBN 978-3-662-63937-5 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-63937-5>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung der Verlage. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Covermotiv: © Autor Covergestaltung: deblik, Berlin

Planung: Stefanie Wolf

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Geleitwort von Professor Elmar Heinzle

Wo kommen wir her? Wo gehen wir hin? Das sind zwei ganz große Fragen, die uns Menschen – und speziell die Forscher unter uns – seit jeher umfassend beschäftigen. Religionen geben uns Erklärungen zur ersten Frage mit ihren jeweiligen Schöpfungsgeschichten. Seit Charles Darwin steht aber die Evolution im Zentrum unserer Erklärungsversuche. Fossile Spuren, Baupläne von Pflanzen und Tieren sowie das Verhalten und die Anpassung von Tieren und Pflanzen unterstützen diese Theorie. Wenn man genauer hinsieht, und das tut Markus Knoflacher in seinem Buch *Relativität der Evolution*, kann man sehr bald erkennen, dass unser Wissen speziell mit Unterstützung durch die Molekularbiologie, die Ökologie und die Systembiologie enorm gewachsen ist und weiter in einem atemberaubenden Tempo wächst. Dies lässt uns den Blick auf evolutionäre Prozesse erweitern. Es gibt jedoch trotzdem viele offene Fragen gerade bei entscheidenden Schritten, und es entstehen auch laufend neue. Solche Fragen sind: Wie entstanden die ersten organischen Moleküle, die heute Bausteine von Organismen sind? Wie kam es zu der Art von Chiralität biologisch wichtiger Moleküle wie Aminosäuren und Kohlenhydraten, wie wir sie aus der Natur kennen? Wie entstanden aus niedermolekularen Bausteinen die thermodynamisch ungünstigeren Polymere? Wie entstanden Polymere mit einer geordneten Abfolge von Bausteinen wie in DNA, RNA und Proteinen? Wie kam es dazu, dass diese sich selbst replizieren und modifizieren können, z. B. Katalyse durch RNA oder DNA? Wie kam es zur Bildung von Kompartimenten, die von Membranen umschlossen sind? Wie entstanden Systeme, die die Bereitstellung der Energie für diese endergonen Prozesse liefern? Wie kam es zu selbstreplizierenden Zellen? Wie entstanden Eukaryoten mit ihren inneren Kompartimenten? Welche Rolle spielen losere Zellverbände in der Entwicklung von mehrzelligen Organismen? Wie entstand die sexuelle Fortpflanzung? Welche Rolle spielt die Epigenetik in der Evolution? Welche Rolle spielen Viren bei der Evolution, woher kommen sie und wie konnten sie sich ohne eigene Systeme zur Energieversorgung in der Evolution behaupten? Im Gegensatz zu den höheren Tieren und Pflanzen lässt sich die Evolution dieser Prozesse nicht durch Fossilien studieren. Man kann die verschiedensten Entwicklungsstufen aber bei heute lebenden Organismen und Systemen studieren. Zusätzlich können Evolutionsprozesse teilweise auch durch

Laborexperimente nachgestellt werden, z. B. Enzymevolution oder Evolution von Mikroorganismen für den verbesserten Abbau von Xenobiotika.

Obige Liste der ungeklärten Fragen ließe sich fast beliebig verlängern bis zur Ausbildung der menschlichen Sprache und gesellschaftlicher Strukturen. Markus Knoflacher konzentriert sich in seinem Buch auf die Prozesse, die bei der Evolution von einzelnen Zellen bis zu mehrzelligen Organismen eine Rolle spielen, sowie auf die dabei wichtigen Wechselwirkungen mit der Umwelt. Ein Grundtenor des Buches liegt auf der Bedeutung von Netzwerken auf verschiedenen Ebenen für die metabolische Bereitstellung von Energie, bei der Regelung zellulärer Prozesse und bei der Regelung des Verhaltens von Zellverbänden.

Markus Knoflacher beginnt in seiner Darstellung mit der Beschreibung quantenphysikalischer Phänomene und Prozesse, die bei der Differenzierung von Molekülen eine Rolle spielen können. Diese Prozesse werden üblicherweise vor allem in der Physik, aber auch in technischen Anwendungen intensiv studiert und angewendet. Man denke nur an die in Entwicklung befindlichen Quantencomputer mit ihren völlig neuen Dimensionen der Datenverarbeitung. In der Biologie sind es vor allem Photonen, Elektronen und Protonen, die eine immer stärker diskutierte quantenphysikalische Rolle spielen. Im Vordergrund steht das Licht, das eine zentrale Rolle bei der Informationsübertragung, aber auch bei der Energiegewinnung spielt. In der Enzymkatalyse ist das Protonen- und Elektronen-Tunneln bedeutend bei der Überwindung von Energiebarrieren. Protonen spielen eine zentrale Rolle bei der Erzeugung des universellen Energieträgers ATP an Membranen. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass die grundlegenden Regelungsprozesse in allen Organismen quantenphysikalischer Natur sind.

Markus Knoflacher beschreibt wichtige grundlegende Merkmale des Lebens: Informationsprozesse, die biologische Energieumwandlung und Ungleichgewichte. Die Fähigkeit zur Synthese der benötigten Bausteine und der Bereitstellung der dazu erforderlichen Energie ist die Basis für das Leben. Dies schließt eine effiziente Regulation der dabei beteiligten Prozesse mit ein, sodass ein stabiler Zustand des Stoffwechsels erreicht wird, die Homöostase. In ähnlicher Weise erfordert das Leben inhärent Wachstum und Absterben – Homöostase auf der Ebene einer Population. Dies gilt auf allen Ebenen des Lebens. Alles Leben beruht einerseits auf mehr oder weniger stabiler genetischer Information und erlaubt andererseits eine flexible Anpassung an geänderte Umweltbedingungen. In den drei Domänen der Organismen, den Archaeen, Bakterien und Eukaryoten, lebt die überwiegende Anzahl einzellig. Durch die große Zahl an Individuen ist eine enorme Diversität möglich. Durch ihre sehr kleinen räumlichen Ausdehnungen werden keine speziellen Transportsysteme und aufwendige Regelsysteme benötigt. Einen großen Raum nimmt die Beschreibung genetischer und epigenetischer Prozesse bei Pro- und Eukaryoten ein. Neben der Vererbung der genetischen Information an nachfolgende Generationen, verbunden mit Mutationen verschiedenster Art, spielt in der Evolution der sogenannte horizontale Gentransfer eine wichtige Rolle – z. B. über Viren oder auch direkten Genaustausch mit benachbarten Zellen. Über epigenetische Prozesse können auch Informationen über Umwelteinflüsse bis zu einem gewissen Grad

vererbt werden. Interessant ist auch die Beschreibung der deutlich größeren Diversität der Genome der Prokaryoten im Vergleich zu den Eukaryoten. Markus Knoflacher kommt zu erheblichen Zweifeln am Paradigma einer gerichteten Evolution von einfachen genetischen Ausstattungen hin zu differenzierteren. Es scheint eher, dass langen Perioden der zunehmenden genetischen Verarmung kürzere Perioden mit raschen Zunahmen der genetischen Differenzierung folgen. Wichtig sind auch das aktive Weiterbestehen und die permanente Weiterentwicklung einer sehr großen Zahl von Organismenarten. Sehr interessant ist – im Einklang der Betonung von interagierenden Systemen – die Forderung nach der Aufgabe des strikten Stammbaum-Paradigmas zugunsten des Netzwerkgedankens. Dieses Netzwerk schließt neben der Biosphäre den interagierenden abiotischen Bereich ein.

Eine zentrale Rolle in der Diskussion der Vielfalt der Evolution spielen einzellige Mikroorganismen, d. h. Eubakterien, Archebakterien und eukaryote Einzeller. In allen lebenden Systemen ist eine Kompartimentierung durch Membranen essenziell. In allen Zelltypen ist die Bereitstellung von Energie für biosynthetische Prozesse wichtig, z. B. für das Zellwachstum und die Zellreproduktion sowie für Kommunikationsprozesse mit der Umwelt. Die ungemein große Vielfalt der Leistungen der Mikroorganismen mit ihren jeweils mehr oder weniger speziellen Fähigkeiten erlaubt die Besiedlung und Interaktion in und mit einer riesigen Vielfalt an Umweltbedingungen, von heißen Tiefseequellen bis zum Darm des Menschen. Zur Entstehung von Eukaryoten nimmt man an, dass die charakteristischen inneren Kompartimente durch Einschluss von Bakterien entstanden sind, die Chloroplasten der phototrophen Zellen aus Cyanobakterien und die Mitochondrien, die in fast allen eukaryotischen Zellen vorkommen, aus α -Proteobakterien. Als einen Zwischenschritt zu mehrzelligen Organismen sieht man heute Mikrobiome an, wie sie in vielfältigsten Formen etwa in Biofilmen vorzufinden sind. Bereits bei an sich einzelligen Mikroorganismen wie z. B. bei Myxobakterien kann man einen Übergang zu mehrzelligen Formen beobachten. In komplexeren vielzelligen Systemen spielt die Apoptose, der programmierte Zelltod, eine wichtige Rolle zur permanenten Erneuerung von Geweben oder zur Eliminierung unerwünschter Zellen wie Krebszellen. Alle diese Lebensformen sind heute nebeneinander zu beobachten und nicht durch eine sogenannte Höherentwicklung durch spätere Arten verdrängt worden.

Markus Knoflacher stellt die Frage, ob das lange übliche und erfolgreiche Konzept der Arten und ihrer Anordnung in Stammbäumen noch sinnvoll aufrechtzuerhalten ist, wobei er insbesondere auf die Vernetztheit der Systeme verweist. Die enorme Diversität und der Umgang mit dieser äußern sich u. a. auch in den zunehmenden Schwierigkeiten einer nachvollziehbaren, klaren Nomenklatur für Mikroorganismen (vgl. „Microbial Taxonomy Run Amok“ in Sanford et al., *Trends in Microbiology*, 2021). Generell dominiert heute die Einordnung von Organismen nach genetischen Kriterien. Die Leistungsfähigkeit von Sequenzieretechniken und die damit gekoppelte Bioinformatik wurden enorm gesteigert. Es tut sich aber eine immer größere Lücke auf bezüglich der Kenntnis des physiologischen Potenzials und der ökologischen Bedeutung dieser Organismen, für deren Charakterisierung es keine einigermaßen vergleichbar potenten

Methoden gibt. Die meisten Methoden sind gut für Reinkulturen anwendbar, die es aber so in der Natur praktisch nicht gibt.

Eine entscheidende Charakteristik von Leben und eine Voraussetzung dafür ist ein erfolgreicher Umgang mit Informationen verschiedenster Art auf verschiedensten Ebenen. Informationen liegen intrazellulär oder extrazellulär vor. Diverse liefern Daten für biologische Algorithmen, die wiederum neue Informationen für mannigfaltige Aktionen erzeugen. Die Komplexität dieser Prozesse nimmt von Viren zu höheren Organismen immer mehr zu. Während intrazelluläre Regelsysteme primär der Aufrechterhaltung der Homöostase, aber auch dem Zellwachstum und der Zellvermehrung dienen, werden extrazelluläre Signale abiotischer und biotischer Art zur Anpassung an die Umweltbedingungen oder zur Bewältigung von Änderungen in der Umwelt benötigt. Bereits Mikroorganismen können auf verschiedene Arten miteinander kommunizieren, z. B. zur Nahrungsaufnahme oder zur Abwehr äußerer Gefahren. Das Aussenden von Signalen wie in Form von Alarmonen ist dabei fein auf die Umwelt und die entsprechenden Möglichkeiten der Verbreitung der Signale abgestimmt. Mit der Bildung von Zellaggregaten aus Einzelzellen und noch mehr mit Ausbildung der Vielzelligkeit steigt der Koordinationsaufwand und damit auch die Komplexität der Informationsgewinnung und -verarbeitung. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch, dass viele Entwicklungen offensichtlich zuerst unter marinen Bedingungen abliefen. Danach erst kam es zur Besiedlung des Landes. Sowohl bei Pilzen als auch bei Pflanzen und Tieren kann man interzelluläre Kommunikation sowohl innerhalb der einzelnen Individuen als auch zwischen Individuen und mit der Umwelt beobachten. In den meisten Fällen geschieht das über vielfältige chemische Signalstoffe. Erst bei Tieren entstanden neuronale Systeme, die eine Voraussetzung für schnellere koordinierte Bewegungen sind. Als letzte Stufe wurde das Nervensystem zentralisiert.

Eine breite Diskussion widmet Markus Knoflacher der Energieumwandlung, die beginnend von ersten biochemischen Prozessen im Rahmen der Synthese von Polymeren bis zur Aktivität von Nervensystemen essenziell ist. In der Form von ATP und ähnlichen Verbindungen existiert innerhalb jeder Zelle eine universelle Energieversorgung, die überall eingesetzt werden kann. Es wird angenommen, dass in einem ersten Schritt die Energie sich durch chemische Prozesse und danach durch die Umwandlung von Sonnenenergie in Form von Licht entwickelte. Für den Erhalt ihrer Vitalität muss jede Zelle dabei im Zustand eines Fließgleichgewichts gehalten werden. In den meist von vielen verschiedenen Organismen besiedelten Ökosphären, z. B. Biofilmen, gibt es verschiedenste Wechselwirkungen bei der Umsetzung von Verbindungen zur Energiegewinnung. Gleichzeitig begünstigt die große Nähe den Austausch von Information mithilfe von Signalmolekülen und genetischer Information. Während die chemolithotrophe Ernährung auf das lokale Vorkommen energiereicher anorganischer Verbindungen angewiesen ist, erlaubt die phototrophe Ernährung die Ausbreitung von Organismen über die gesamte Erdoberfläche. Die Entstehung der photosynthetischen Apparate zuerst bei den Cyanobakterien und dann bei Pflanzen begann vermutlich anoxygen. Erst später wurde ausreichend Sauerstoff in die Atmosphäre abgegeben,

bis letztlich die heutige Sauerstoffkonzentration erreicht war. Man vermutet, dass bei der Entstehung der Photosyntheseapparate horizontaler Gentransfer eine große Rolle spielte, dennoch bleiben viele Fragen offen. Es kann nicht mit Sicherheit ermittelt werden, ob am Anfang ausschließlich autotrophe Prozesse stattfanden, d. h. Gewinnung organischen Kohlenstoffs ausschließlich aus Kohlendioxid, oder ob sich parallel dazu bereits heterotrophe Lebensweisen etablierten. Heute überwiegt die Vielfalt der heterotrophen Zellen die von autotrophen Zellen, z. B. Algen und Pflanzen. Der Stofftransport von der Umgebung zu den Zellen und auch zwischen den Zellen erfolgt bei Einzellern überwiegend durch Diffusion. In aquatischer Umgebung kann dieser durch Konvektion verstärkt werden. Mehrzellige Organismen haben Pumpsysteme entwickelt, um mehr Nährstoffe in ihre Nähe zu transportieren. Pflanzen benutzen Kapillarsysteme zum Transport von Nährstoffen und Wasser zwischen Wurzeln und Blättern, Tiere verwenden Kreislaufsysteme zum Transport zwischen einzelnen Geweben. Auch hier zeigt Markus Knoflacher anhand vieler gesammelter Beispiele, wie man sich die Evolution solcher Prozesse vorstellen kann.

Ein eigenes Kapitel widmet sich den Ungleichgewichten, die man als eine Voraussetzung von Leben bezeichnen kann. Solche Systeme benötigen einen permanenten Zufluss von Energie und von Nährstoffen verschiedener Art wie Mineralien, Kohlendioxid oder Kohlenhydrate. Die größte Effizienz bei der Energiegewinnung wird durch Oxidationen mit Sauerstoff erreicht. Das setzt aber immer die Verfügbarkeit oxidierbarer Verbindungen voraus. Oxidation mit Sauerstoff war in größerem Ausmaß erst mit dem Anstieg der atmosphärischen Sauerstoffkonzentration vor ca. 2,5 Mrd. Jahren möglich. Dieser ist verbunden mit einem starken Anstieg der Biodiversität. Auch großräumige Vereisungen hatten großen Einfluss auf die Vielfalt an Organismen. Insgesamt muss man sich im Klaren sein, dass die verschiedenen Wechselwirkungen zwischen Litho- und Hydrosphäre, aber auch der Atmosphäre einen großen Einfluss auf die Biosphäre haben, aber letztere auch die ersteren beeinflussen kann. Der Eintrag von Mineralien vom Land ins Meer begünstigt im Allgemeinen das Wachstum von Algen, was wiederum Sauerstoff in die Atmosphäre freisetzt und durch das Absterben zu Sedimenten führt.

Die Entwicklungen in marinen Lebensräumen fanden offensichtlich vor denen auf dem Land statt. Begünstigt wurde dies durch die weitgehend konstanten Bedingungen im Meer. Speziell im Epipelagial konnte sich die Photosynthese gut entwickeln und so vielen heterotrophen Organismen eine Nährstoffbasis bereitstellen. Für die Evolution sind räumliche Nischen sehr wichtig, bilden sie doch eine Grundlage für Ausbildung von Zellaggregaten und von Mehrzellern. Für höhere marine Organismen ergab sich die Möglichkeit, das Land zu erobern.

Die Entwicklungen im terrestrischen Bereich sind allgemein besser bekannt durch die Evolution größerer Tiere. Auch hier ist die Interaktion verschiedener Systeme für die Existenz und Entwicklung der Organismen wichtig. Die Vielfalt reicht weit über die einigermaßen bekannten Interaktionen von Mykorrhizen an den Wurzeln der Pflanzen hinaus. Die frühen Phasen der terrestrischen Besiedlung liegen aber nach wie vor weitgehend im Dunkeln. Auch im terrestrischen Bereich verlief die Diversität oszillierend,

was besonders bei den Wirbeltieren auffällt. Zu den Wechselwirkungen von Einzellern und Pilzen mit den Pflanzen kommen die Interaktionen der Pflanzen mit den Tieren, z. B. großen Wirbeltieren, als bestimmende Faktoren der Evolution hinzu.

Wenn die Evolution klaren Gesetzmäßigkeiten folgt, müsste man sie eigentlich experimentell nachstellen können. Dies erscheint zunächst durch die erforderliche Zeit völlig unrealistisch. Bis zu einem gewissen Grad kann man allerdings Experimente so gestalten, dass Teilprozesse sichtbar werden: die sogenannte Ursuppe mit der Entstehung mehr oder weniger komplexer organischer Moleküle, die Polymerisationen unter Mitwirkung von Polyphosphat, die evolutive Verbesserung des Abbaus von Xenobiotika durch Mikroorganismen oder die evolutive Entwicklung von Enzymen.

Letztlich führen die von Markus Knoflacher zusammengetragenen und geordneten Erkenntnisse zu einer der Kernfragen am Anfang zurück: Wo gehen wir hin? Wohin entwickelt sich die Erde mit all ihren für uns relevanten Systemen? Es stellt sich die Frage, inwiefern wir die weiteren Entwicklungen vorhersehen, vorausberechnen oder wenigstens vorausahnen können. Welche kurz- und langfristigen Auswirkungen haben die immer intensiveren humanen Aktivitäten für das zukünftige, interagierende (Öko-)System Erde? Man kann die enormen Schwierigkeiten beim Versuch der Auslotung von Antworten zu diesen Fragen erahnen, wenn die überwältigende Vielfalt der einzelnen Evolutionsereignisse und erst recht aller relevanten Interaktionen im Gesamtsystem in Betracht gezogen werden sollen.

Beim Buch von Markus Knoflacher fällt die Fülle an zusammengetragener, kompetent eingeordneter und interpretierter Literatur auf – es enthält über 5000 Zitate. Ein riesiger Informationsschatz wurde akribisch zusammengetragen und wird dem Leser in einer neuen, gut lesbaren Form präsentiert, bei der der Gedanke der vernetzten, permanent interagierenden Systeme dominiert. Diese sehr gut aufgearbeitete Fülle von Information liefert viele interessante Anstöße für Lehrer verschiedener Stufen. Generell kann man dieses Buch sicher allen empfehlen, die einen tieferen Einblick in die Prozesse der Evolution erhalten wollen und einen anderen als den üblichen Zugang zum Verständnis dieser Prozesse suchen. Ich empfehle dieses Buch auch allen, die sich über die Zukunft unserer natürlichen, technischen und sozialen Umwelt Gedanken machen. Das Buch zeigt in hervorragender Weise, dass wir etwas von der Vernetzung dieser Prozesse verstehen müssen um uns sinnvoll Gedanken über zukünftige Entwicklungen zu machen. Die alleinige Fokussierung auf den atmosphärischen Anstieg von Kohlendioxid wird nicht ausreichen.

Prof. Elmar Heinzle
Technische Biochemie
Universität des Saarlandes
Campus A1.5
D-66123 Saarbrücken
Deutschland

Geleitwort von Professor Robert Martin

Selten regen Neuerscheinungen über Evolutionsbiologie zum fundamentalen Überdenken lang gepflegter Annahmen an. Genau dies trifft aber auf das Buch „Relativität der Evolution“ von Markus Knoflacher zu. Es demonstriert elegant und überzeugend die zentrale Bedeutung des Konzepts der Relativität für die Biologie, ähnlich wie es fundamentaler die Physik revolutioniert hat. Knoflacher ist hervorragend zur Begründung des Sachverhaltes durch detaillierte Darstellungen der zahlreichen Hinweise qualifiziert. Er schloss sein Studium der Zoologie und Botanik an der Universität Wien mit einem Doktorat der Philosophie ab. In seiner wissenschaftlichen Laufbahn arbeitete er in verschiedenen außeruniversitären Forschungseinrichtungen wie der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Joanneum Research und dem Austrian Institute of Technology. Inhaltlich befasste er sich in seinen Arbeiten aus systemtheoretischer Perspektive vor allem mit interdisziplinären Fragestellungen. Nach seiner Pensionierung 2013 konnte er sich als unabhängiger Wissenschaftler ganz mit den von ihm gewählten Themen befassen. Parallel dazu beteiligte er sich an der Vorbereitung und Organisation interdisziplinärer wissenschaftlicher Tagungen. Unter seinen Publikationen finden sich mehrere Bücher, darunter der zuletzt erschienene Sammelband *Herausforderungen der evolutionären Komplexität*. Sein Beitrag enthält bereits wesentliche Fragestellungen für das eigenständige Gesamtwerk *Relativität der Evolution*.

Bevor ich fortfahre, muss ich ein tief beunruhigendes Ergebnis der Lektüre dieses Buches eingestehen. Es öffnete mir dramatisch die Augen dahingehend, dass meine eigenen Forschungsansätze der Evolutionsbiologie zu eng gesetzt waren. Und das, obwohl ich in meiner langen wissenschaftlichen Karriere durch die Erforschung der Primatenevolution eine Klärung der Humanevolution anstrebte. Die Position des Menschen in der Natur ist eine der Kernfragen seit der ersten Publikation der Darwin-Wallace-Theorie. Für mich war eine umfassende Perspektive wichtig, um sinnvolle Beiträge zum Verständnis der Entstehung und Evolution des Menschen erarbeiten zu können. Als Art besitzen wir einzigartige Merkmale wie ein großes komplexes Gehirn und die spezifische Form der bipedalen Fortbewegung. Vergleiche, die sich allein auf die uns nahestehenden großen Menschenaffen beschränken, reichen für die Erarbeitung tragfähiger Hypothesen über die Evolution der außergewöhnlichen menschlichen

Charakteristika nicht aus. Stattdessen benötigen wir umfassende Forschungsansätze für die Identifizierung genereller Prinzipien der menschlichen Evolution.

Seit der Zeit von Darwin und Wallace hat die zunehmende Spezialisierung und Differenzierung in allen Wissenschaftsdisziplinen zahlreiche neue Erkenntnisse, aber auch zunehmende Schwierigkeiten für den interdisziplinären Wissensaustausch mit sich gebracht. Ich nahm mir deshalb vor, so weit wie möglich eine Spezialisierung zu vermeiden. Als Zoologe beschloss ich am Beginn meiner Laufbahn so viele Primatenarten wie möglich zu untersuchen. Ich begann mit den relativ ursprünglichen Halbaffen (Lemuren, Loris, Koboldmakis), wechselte dann zu Affen und Menschenaffen und konzentrierte mich schließlich auf die menschliche Art. Auch inhaltlich waren meine Arbeiten umfassend. Beginnend mit der klassischen Morphologie – zuerst von rezenten Primaten und dann mit nahestehenden fossilen Arten – nutzte ich nach und nach Verhalten, Ökologie, Reproduktionsbiologie, Physiologie und schließlich Molekularbiologie als Informationsquellen. Jedoch erkannte ich bald, dass eine zuverlässige Rekonstruktion der Primatenevolution auch eine grundlegende Kenntnis der vor rund 200 Mio. Jahren begonnenen Säugetierevolution voraussetzt. Deshalb erweiterte ich auch meine Forschungsfelder. Nach Dekaden der Forschung entlang der dargestellten Themenbereiche glaubte ich einen ausreichenden Überblick über den von mir gewählten Sektor aus dem Baum des Lebens gewonnen zu haben. Naiv glaubte ich einen Bereich der Biologie zu beherrschen, den ich isoliert betrachten konnte.

Während ich mit zunehmender Bewunderung Markus Knoflachers interessante und fesselnde Abhandlung *Relativität der Evolution* las, wurde meine Selbstzufriedenheit zunehmend erschüttert. Es wurde mir zunehmend klar, dass der Ursprung und die Entfaltung des Lebens auf dem Planeten Erde ein weitaus komplexeres und herausfordernderes Thema sind, als ich es mir jemals vorgestellt hatte. Die vermeintliche Weite meiner Forschungsarbeiten in der Primatenevolution schwand zunehmend, als ich nach und nach die Bedeutung und Tragweite Knoflachers Darlegungen erfasste. Beginnend mit grundlegenden physikalischen Prinzipien, denen alle Organismen unterworfen sind, führt er kenntnisreich in großen Zügen durch die Domänen und Themen. Langsam, aber sicher wurde mir völlig klar, wie eng alles in der Biologie verbunden ist und dass die alleinige Betrachtung eines einzelnen Sektors unweigerlich zu großen Lücken in unserer Erkenntnis führt.

Knoflachers Arbeit ist vor allem auf evolutionäre *Prozesse* und weniger auf evolutionäre *Geschichte* fokussiert (obwohl er einen sehr informativen Überblick über die wesentlichen Entwicklungen gibt). Das gesamte Buch zeugt von einer Beherrschung der Literatur mit Bezug zur Evolution des Lebens auf der Erde, über 5000 Zitate sind lesefreundlich in Fußnoten angeführt. Die berücksichtigten Themen umfassen unter anderem die Eigenschaften der abiotischen Rahmenbedingungen, Morphologie und Physiologie lebender Organismen, fossile und molekulare Hinweise auf evolutionäre Entwicklungen. Es wird jedoch kein Baum des Lebens rekonstruiert, da sein primäres Interesse in der Identifizierung genereller Prinzipien aller lebenden Systeme liegt.

Knoflacher ortet ein tief verwurzelt Problem in den Diskussionen der evolutionären Biologie durch die generelle Tendenz, Lebensformen als „primitiv“ oder „fortgeschritten“ zu bezeichnen. Dadurch wird zwangsläufig das Verständnis einer aufsteigenden Entwicklung zu „höheren“ komplexeren Organisationsniveaus impliziert. Diese Interpretation des Lebens auf der Erde manifestierte sich in der philosophischen Idee der *Scala naturae* – auch als „Great Chain of Being“ bekannt –, lange bevor die Evolutionstheorie entstand. In diesem Schema sind die unterschiedlichen Lebensformen – entsprechend dem angenommenen Grad ihrer Perfektion – auf einer Leiter aufsteigend angeordnet. Dieses Modell war allgemein anerkannt, als ich meine eigenen Forschungsarbeiten zur Primatenevolution begann. Auf der untersten Stufe hockten Spitzhörnchen (deren Verwandtschaft mit Primaten mittlerweile bestenfalls als sehr entfernt bezeichnet wird), während Menschen unvermeidlich auf der obersten Stufe standen. Ich verwarf dieses Schema der Primatenevolution bereits 1968 in einer meiner ersten Publikationen mit dem Hinweis auf seine irreführenden Einflüsse. Nach einem halben Jahrhundert begann ich an der Idee einer evolutionären Stufenleiter zu zweifeln. Zugegebenermaßen besteht nach wie vor die Tendenz, Halbaffen als „niedrige“ und Affen als „höhere“ Primaten zu bezeichnen, vor allem in populärwissenschaftlichen Kurzdarstellungen. Aber Knoflachers Darlegungen zeigen deutlich, dass die inhaltliche Bedeutung der Begriffe „primitiv“ und „fortschrittlich“ das Verständnis von Evolutionsprozessen behindern. Die Tatsache, dass eine riesige Anzahl einzelliger Organismen nach wie vor existiert, beweist ebenso ihren „Erfolg“ – im objektiven biologischen Sinne – wie die evolutionäre Entwicklungslinie des Menschen. In der Tat zeigt die gegenwärtige COVID-19-Pandemie, dass Viren – wiederum im objektiven biologischen Sinne – extrem erfolgreich sein können, obwohl sie wegen ihres fehlenden eigenständigen Stoffwechsels nicht lebenden Organismen zugeordnet werden. Kein lebender Organismus ist „primitiv“ im Sinne einer unveränderten Kopie des ursprünglichen Vorfahrens. Gegenwärtig lebende Formen können „primitive“ Merkmale wie einzellige Lebensformen haben, sie sind aber nie „eingefrorene“ Urahnen.

Ein Beispiel für generelle biologische Prinzipien sind gegenseitig vorteilhafte Kooperationen zwischen Organisation – *Symbiosen* –, die sich vielfach seit der Entstehung des Lebens auf der Erde entwickelt haben. Die ersten Zellen (*Prokaryoten*) hatten keinen Zellkern, der ihr genetisches Material (DNA in ringförmiger oder linearer Anordnung) vom Zellplasma isolierte. Die Bildung eines Zellkerns mit – in Chromosomen verpackter – DNA ermöglichte die Entwicklung von Protisten, Pilzen, Pflanzen und Tieren (gemeinsam als *Eukaryoten* bezeichnet). Die Bündelung der DNA ist eng mit dem spezifischen Ablauf der Zellteilung – der Meiose – und der Differenzierung von Geschlechtszellen verbunden. Charakteristisch für eukaryotische Zellen sind *Mitochondrien* – für den Energieumsatz wichtige, winzige Organellen im Zellplasma. Erste fossile Spuren eukaryotischer Zellen fanden sich in rund 1,8 Mrd. Jahre alten Ablagerungen.

Vor einigen Jahrzehnten konnte durch molekularbiologische Methoden nachgewiesen werden, dass Mitochondrien – sie besitzen ein ringförmiges Genom wie Prokaryoten

– tatsächlich von frei lebenden Bakterien abstammen. Vermutlich sind sie einmalig in einer Symbiose von Prokaryoten in eine andere Zelle eingewandert. Mittlerweile konnten Mitochondrien mit molekularbiologischen Methoden eindeutig einer Gruppe von Bakterien – Alphaproteobakterien – zugeordnet werden. Ursprüngliche Hypothesen nahmen eine enge Verwandtschaft mit Rickettsien (Erreger des Fleckfiebers) an. In den letzten Jahre wurde jedoch klar, dass nur entfernte Beziehungen bestehen.

In den frühen Phasen der Eukaryotenevolution haben sich durch weitere Symbiosen Pflanzenzellen entwickelt. Diese Zellen enthalten neben den Mitochondrien auch *Chloroplasten*, die von einer anderen Bakteriengruppe – Cyanobakterien – abstammen und von Eukaryotenzellen vermutlich bei der Nahrungsaufnahme (Phagozytose) aufgenommen wurden. Nach gegenwärtigem Kenntnisstand dürften Pflanzenzellen vor rund 1,5 Mrd. Jahren entstanden sind. Anders als bei Mitochondrien dürfte sich bei einigen Algenarten die Aufnahme von Cyanobakterien wiederholt haben.

Alle lebenden Protisten, Pilze, Pflanzen und Tiere verdanken ihre Existenz bis in die Gegenwart kooperativen Interaktionen mit Bakterien. Dies ist nur ein eindrucksvolles Beispiel wechselseitig vorteilhafter Assoziationen zwischen Organismen. Wie in Knoflachers Buch dargelegt, sind solche Assoziationen – welche die Grenzen zwischen unterschiedlichen Lebensformen verwischen – in der Natur extrem weit verbreitet. Ein Beispiel von zunehmend medizinischer Bedeutung sind Mikrobiome in den Verdauungssystemen von Menschen und anderen Vertebraten. Verschiedene – aber nicht alle – Bakterien in den Verdauungstrakten sind vorteilhafte Symbionten mit weitreichenden Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Ein weiteres bedeutsames Beispiel mit allerdings geringerer Bedeutung für den Menschen und andere Wirbeltiere ist der horizontale Gentransfer zwischen unterschiedlichen Arten. Es wurde zunehmend erkannt, dass vor allem unter einzelligen Organismen Gene ausgetauscht werden können. Die weite Verbreitung dieses Phänomens erschwert bei einzelligen Organismen die Bestimmung evolutionärer Entwicklungslinien mit Standardmethoden. Die mehrdeutigen Ergebnisse durchkreuzen Versuche zur Abgrenzung einzelner „Arten“. Das Problem tritt vor allem bei einzelligen Organismen auf und weniger bei Vertebraten wie den von mir untersuchten Primaten. Der horizontale Genaustausch zwischen Mikroorganismen kann allerdings medizinisch bedeutsam sein, wenn sich dadurch Antibiotikaresistenzen unter diesen Organismen verbreiten.

Andere – evolutionär alte und weit verbreitete – Formen vorteilhafter Assoziationen zwischen Pilzen und Pflanzen sind Mykorrhizen. Der Pilz erhält von den Pflanzen organische Verbindungen im Austausch gegen Mineralstoffe (beispielsweise Phosphor). Mykorrhizen haben in der Erdgeschichte wesentlich die Entwicklung der Biologie und Chemie in Böden beeinflusst. Evolutionär jünger sind Assoziationen zwischen Bakterien der Familie Rhizobiaceae und den Wurzeln von Leguminosen mit ihren Auswirkungen auf die verbesserte Stickstoffversorgung der Pflanzen.

Die angeführten Beispiele sind nur ein Bruchteil der im Buch beschriebenen Interaktionen. Aber sie reichen aus, um einen Eindruck der Bedeutung von den vielfältigen Wechselbeziehungen zwischen unterschiedlichen Organismen für die über 3

Mrd. Jahre anhaltende biologische Evolution zu vermitteln. Sie zeigen aber auch, dass reduktionistische Ansätze mit einer begrenzten Anzahl von Faktoren für das Studium evolutionärer Prozesse unzureichend sind. Mit den denkwürdigen Worten von H. L. Mertens: „Für jedes komplexe Problem gibt es eine Antwort, die klar, einfach und falsch ist.“

Knoflachers wichtigstes Ziel seiner Forschungsarbeiten zur Verfassung des Buches war die Ableitung systemisch sinnvoller Handlungsanleitungen. Er weist nachdrücklich auf die vielen Gefahren gegenwärtiger gesellschaftlicher Aktivitäten hin, nicht nur auf die dramatisch zunehmenden Auswirkungen des Klimawandels in Verbindung mit anderen Faktoren wie der Mechanisierung und Digitalisierung. Er macht auch auf die nicht abschätzbaren Risiken der Eingriffe in komplexe biologische Systeme aufmerksam. Solche Eingriffe führen vielfach zu unerwarteten und unerwünschten Nebeneffekten. Darüber hinaus sind es auch Lektionen für den Naturschutz. Mittlerweile wird allgemein akzeptiert, dass auf einzelne Arten ausgerichtete Schutzmaßnahmen unzureichend sind. Viele Schutzprogramme erkennen die Bedeutung von ökologischen Wechselwirkungen für die Entwicklung ganzer Biome. Die von Knoflacher herausgearbeiteten vielschichtigen Netzwerke machen klar, dass weitaus umfassendere Ansätze für die langfristige Erhaltung unserer Lebensgrundlagen notwendig sind: Zum gesellschaftlichen Desinteresse trägt auch die Unterschätzung der umfassenden Bedeutung von Evolutionsprozessen für die gesellschaftliche Entwicklung bei.

Mir war schon früh bewusst, dass Politiker und Verwaltungsbeamte eine grundlegende Kenntnis von biologischen Prozessen haben sollten. Nicht zuletzt um die Komplexität biologischer Systeme und ihre gleichzeitige Empfindlichkeit gegenüber der Ausbeutung natürlicher Ressourcen zu verstehen. Bisher ist in dieser Richtung wenig geschehen, zum Teil wegen der menschlichen Neigung, die gesellschaftliche Bedeutung evolutionärer Prozesse zu ignorieren. Die *Relativität der Evolution* weist eloquent auf den Bedarf an biologischem Know-how auf den höchsten Ebenen der menschlichen Gesellschaft hin.

Prof. Robert D. Martin
Emeritus Curator
Science & Education
Negaunee Integrative Research Center
The Field Museum
1400 S. Lake Shore Drive
Chicago, IL 60605-2496
USA

Vorwort des Autors

Die Themenstellung dieses Buches wurde durch ein tragisches Ereignis zu Beginn der Arbeiten beeinflusst. Gemeinsam mit dem Physiker H. P. Aubauer war eine Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Formen der Energieumwandlung auf die menschliche Evolution geplant. Durch den frühen Tod von H. P. Aubauer konnten die quantitativen Analysen des physikalisch-energetischen Themenbereiches nicht mehr weitergeführt werden.

Ausgehend von offenen Fragestellungen meiner früheren Arbeiten legte ich den Themenschwerpunkt auf grundlegende Entwicklungstendenzen der biologischen Evolution. Inhaltlich wurde ein prospektiver Untersuchungsansatz gewählt. Im Gegensatz zu retroprospektiven Ansätzen gingen die vergleichenden Analysen von den – bisher bekannten – kontextualen Bedingungen der jeweils betrachteten erdgeschichtlichen Phasen aus. Voraussetzungen dafür waren Analysen der Eigenschaften und Potenziale biologischer Prozesse (Kap. 2 bis Kap. 7) und abiotischer Rahmenbedingungen (Kap. 8). Diese Grundlagen ermöglichten vergleichende Analysen der Evolutionsbedingungen und -prozesse unter marinen (Kap. 9) und terrestrischen (Kap. 10) Bedingungen. Wesentliche Kriterien der Analysen waren Aussagequalität der verwendeten Literaturquellen und Widerspruchsfreiheit der einzelnen Arbeiten im interdisziplinären Kontext. Der prospektive Ansatz und die methodische Vorgangsweise eröffneten neue Perspektiven auf evolutionäre Prozesse und neue Fragestellungen, die – aus anthropologischer Sicht – im Vorwort von Professor Martin und – aus biochemischer Sicht – im Vorwort von Professor Heinzele aufgeworfen wurden. Zum kontextualen Denken sollte auch der Verzicht auf ein Glossar anregen. Dies erschwert vielleicht den raschen Zugang zu Informationen, stimuliert aber interessierte Personen zur vertieften Befassung mit den Wechselwirkungen zwischen gesellschaftlichen und evolutionären Prozessen.

Zwangsläufig unbeantwortet blieb dabei die Frage nach den Ursprüngen der biologischen Evolution, die möglicherweise in Quantenphänomenen zu finden sind. Faszinierend ist aber die Tatsache, dass sich die – in lebenden Organismen manifestierte – biologische Selbstorganisation seit Milliarden Jahren in einer abiotischen Umwelt mit genau gegenläufigen – entropischen – Entwicklungsrichtungen kontinuierlich erhalten konnte. Allen Organismen – von Einzellern bis zu größten Vielzellern – gemeinsam

sind die Fähigkeiten zur Selbstreproduktion, Informationsverarbeitung und autonomer Energieumwandlung. Viren unterscheiden sich von Organismen vor allem durch die fehlende letztgenannte Fähigkeit.

Die Grenzen für die Entwicklung aller Organismen werden energetisch durch die Umwandlung abiotischer in biologisch nutzbare Energiepotenziale (autotrophe Energieumwandlung) bestimmt. Innerhalb dieser dynamischen Rahmenbedingungen induzieren abiotische Prozesse, Viren und Interaktionen mit anderen Organismen laufend die funktionellen Differenzierungen von Lebensformen. Biologische Evolution beruht also auf den direkten Interaktionen zwischen Organismen und den abiotischen Rahmenbedingungen. Daraus ist abzuleiten, dass evolutionäre Prozesse von lokalen abiotischen Bedingungen und autotrophen Umwandlungsraten sowie den damit bestehenden funktionellen Wechselwirkungen von Organismengemeinschaften bestimmt werden. Vereinfacht lässt sich die biologische Evolution durch laufende Anpassungen an räumlich heterogene Rahmenbedingungen mit unterschiedlichen Dynamiken charakterisieren. Am deutlichsten sind die Zusammenhänge durch Vergleiche der biologischen Evolution in offenen Ozeanen und terrestrischen Lebensräumen erkennbar. Im ersten Fall beruht nach wie vor die Existenz aller Organismen auf der autotrophen Energieumwandlung vor allem durch einzellige Organismen. Wechselwirkungen zwischen Organismen werden in einem hohen Ausmaß durch die Zufälligkeiten der dynamischen Wasserströmungen bestimmt. Im zweiten – erdgeschichtlich weitaus jüngeren – Fall dominieren vielzellige Pflanzen die autotrophe Energieumwandlung, stehen dabei in vielfältigen Wechselwirkungen mit anderen Organismen und modulieren zusätzlich abiotische Faktoren wie beispielsweise Luftströmungen oder den Wasserhaushalt.

In terrestrischen Ökosystemen finden sich ähnliche Wirkungsbeziehungen wie in mikrobiellen Biofilmen, den erdgeschichtlich wohl ältesten Organismengemeinschaften. Diese können sich sowohl auf chemoautotropher Basis – beispielsweise bei submarinen hydrothermalen Quellen – als auch auf photoautotropher Basis – beispielsweise als Stromatolithen – entwickeln. Gemeinschaften von Organismen ermöglichen ein größeres funktionelles Spektrum an biologischen Leistungen als einzelne Arten und erhöhen dadurch die Entwicklungsspielräume innerhalb der abiotischen Rahmenbedingungen. Das gemeinsame Entwicklungsprinzip von Organismengemeinschaften liegt in der Ausweitung biologischer Entwicklungsspielräume durch die maximale Ausnutzung abiotischer Energiepotenziale. Entwicklungsspielräume lassen sich nur zu einem geringen Teil durch die Biomasse der involvierten Organismen beschreiben. Weitaus wichtiger sind strukturelle Differenzierungen und „Infrastrukturleistungen“ über unterschiedliche Größendimensionen. Beispiele der strukturellen Differenzierungen finden sich in Korallenriffen oder tropischen Regenwäldern. Beispiele für Infrastrukturleistungen sind die Reduktion von energetischen oder stofflichen Verlusten durch die extrazelluläre Matrix in Biofilmen oder durch Pilze, Tiere und Mikroorganismen in der terrestrischen Vegetation. Erreicht werden die Leistungen unter anderem durch Abstimmung von Prozessen der Energieumwandlung, Informationsaustausch oder horizontalem Genaustausch. Mit zunehmender Regelmäßigkeit und Vielfalt der Wechselwirkungen reduziert

sich auch das Risiko von Zusammenbrüchen der Organismengemeinschaften durch die – allen Organismen gemeinsame – Tendenz zu unbegrenztem Populationswachstum.

Innerhalb der Menschenaffen (*Homini*) lässt sich in der evolutionären Entwicklung der Gattung *Homo* eine zunehmende Tendenz zur Überwindung der – aus der Perspektive einer einzelnen Art – restriktiven Rahmenbedingungen von Organismengemeinschaften beobachten. Hinweise darauf liefern die zunehmende Differenzierung von Werkzeugen, die aktive Nutzung des Feuers sowie die Errichtung von Behausungen und die Modifikation von Ökosystemen. Über die längste Zeit der menschlichen Entwicklungsgeschichte waren die anthropogenen Modifikationen durch die abiotischen Umwandlungspotenziale der Ökosysteme begrenzt, da nicht nur Nahrung, sondern auch die meisten Materialien und Brennstoffe für thermische Prozesse organischen Ursprungs waren. Unter diesen Bedingungen mussten wiederholt auftretende Hungersnöte und tödliche Epidemien von der Gesellschaft schicksalhaft ertragen werden. Mit zunehmenden wissenschaftlichen Erkenntnissen und der Erschließung fossiler Energieträger eröffneten sich theoretische Optionen für eine nachhaltige Entwicklung der menschlichen Gesellschaft. Abnehmende Sterblichkeitsraten durch medizinische Erkenntnisse ermöglichten theoretisch sinkende Geburtenraten zur Stabilisierung der Populationen. Für die Kompensation von Ernteausfällen standen theoretisch neue Möglichkeiten zur temporären Erhöhung der Produktion auf vorhandenen Agrarflächen oder für den raschen Transport von Nahrungsmitteln aus Gebieten mit Produktionsüberschüssen zur Verfügung.

Real wurden die Optionen für weltumspannende Kriege und die zunehmend beschleunigte globale Ausbreitung der von Menschen beanspruchten Flächen genutzt. Durch die laufende globale Modifikation der Lebensumwelten – beispielsweise die Ausdehnung von Stadtlandschaften – sowie der Produktions- und Wirtschaftsprozesse ist das menschliche Gesellschaftssystem auf eine neue Entwicklungstrajektorie eingeschwenkt. Nach wie vor anhaltendes Populationswachstum, aber vor allem die überproportional steigenden materiellen und energetischen Ansprüche können zunehmend nur mehr durch fossile Energieträger und Nuklearenergie abgedeckt werden. Letztendlich treibt das menschliche Gesellschaftssystem in eine nicht mehr beherrschbare Entropiefalle.

Ursachen dafür sind nicht wissenschaftliche Erkenntnisse, die bislang ungekannte Freiheiten ermöglichen, sondern evolutionär entwickelte individuelle und soziale Verhaltensmuster des Menschen. Erst die davon getragenen Motive der Gier nach materiellem Besitz und gesellschaftlicher Macht führen zu missbräuchlichen Entscheidungen über die Anwendung der erworbenen Erkenntnisse. Verdrängung und Unterdrückung von Diskussionen über diese inhärenten Merkmale menschlichen Verhaltens erleichtern einerseits die Entwicklung autoritärer Gesellschaftsstrukturen und behindern andererseits wissenschaftliche Untersuchungen der Phänomene. Zunehmend beschleunigt werden die Prozesse durch die unmittelbar wahrnehmbaren, laufend abnehmenden individuellen Leistungsanforderungen infolge ständig zunehmender technologischer Substitutionen.

Kritische Hinweise im Text auf Grenzen wissenschaftlicher Erkenntnisfähigkeit und auf Maßnahmen zum „Klimaschutz“ sollen auf Risiken und Probleme im systemischen Kontext hinweisen. Dahinter steht keine fundamentale Ablehnung wissenschaftlicher

Arbeitsweisen oder die Leugnung anthropogener Einflüsse auf Klimaänderungen. Sehr wohl richtet sich die Kritik gegen die unbedachte Übertragung von Erkenntnissen aus Untersuchungen in geschlossenen Systemen auf offene Systeme und gegen die Überschätzung der Beherrschbarkeit globaler Umweltsysteme.

Danksagungen

Mein allergrößter Dank gilt meiner Frau, die in den Jahren der intensiven Arbeit die damit verbundenen persönlichen und materiellen Belastungen mitgetragen hat! Dem Club of Vienna danke ich für die Finanzierung der Drucklegung und Mag.a Dr.in Sigrid Kroismayr für die Abschlusskorrektur. Besonders danke ich Herrn Professor R. Martin und Herrn Professor E. Heinzle für die intensive Befassung mit dem Manuskript und die Verfassung von zusammenfassenden Vorworten aus ihren persönlichen Fachperspektiven! Abschließend gilt mein Dank den unzähligen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die durch ihre Forschungsarbeiten und die daraus resultierenden Publikationen die Arbeit ermöglicht haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Warum dieses Buch?	1
2	Darwins langer Schatten.	3
3	Wo finden sich Ansätze zur Erfassung von Prozessen der Evolution?	11
3.1	Die unscharfen Grenzen des Lebens	11
3.2	Beginn des Lebens oder Beginn der Evolution?	13
4	Verwirrende Katzen und Dämonen – Hinweise auf quantenphysikalische Grundlagen des Lebens	19
4.1	Information und Energie aus Licht.	20
4.2	Modifikation von Licht.	29
4.3	Erzeugung von Licht – Biolumineszenz	34
4.4	Starke Indizien, aber keine endgültigen Beweise – Perzeption des Magnetfeldes und von Molekülen	37
4.5	Allgegenwärtig in grundlegenden Prozessen des Lebens, aber nicht wahrnehmbar	39
4.6	Die Grenzen zwischen quantenphysikalischen und makroskopischen Dimensionen – oder warum alle Organismen aus Zellen bestehen	47
4.7	Wie kommt die Zeit ins Spiel?	53
4.8	Versuch einer Schlussfolgerung	57
5	Generelle Merkmale und Eigenschaften organischen Lebens	59
5.1	Basiseinheit aller Organismen – die Zelle(n)	59
5.1.1	Herausforderungen der Erhaltung zellulärer Funktionsfähigkeit	62
5.1.2	Dominanz einzelliger Lebensformen	66
5.1.3	Zellreproduktion bei Pro- und Eukaryoten.	74
5.1.4	Besonderheiten eukaryotischer Zellen	76
5.1.5	Zellgerüst, Zellbewegung und endogene Zeitgeber	78

5.2	Biologische Regulationsgrößen im Netzwerk der Lebensformen	86
5.2.1	Genetische und epigenetische Prozesse bei Pro- und Eukaryoten	86
5.2.2	Sexuelle Reproduktion – Entzerrung eines paradigmatischen Spiegelbildes.	103
5.2.3	Viren	111
5.2.4	Arten – ein überholtes Konzept?	119
5.2.5	Prokaryotische Moderation der Evolution vielzelliger Organismen – Mikrobiome.	124
6	Informationsprozesse	129
6.1	Wurzeln biologischer Informationsprozesse	129
6.2	Generelle Merkmale zellulärer und intrazellulärer Informationsprozesse	134
6.3	Extrazelluläre Informationsprozesse	141
6.3.1	Abiotische Signale	143
6.3.2	Biotische extrazelluläre Signale	148
6.3.2.1	Beispiele makroskaliger Wirkungen	150
6.3.2.2	Beispiele mikroskaliger Wirkungen.	154
6.3.3	Informationsprozesse in Zellaggregationen	156
6.3.3.1	Nicht klonale Zellaggregationen	157
6.3.3.2	Klonale Zellaggregationen.	159
6.4	Informationsprozesse vielzelliger Organismen	164
6.4.1	Rahmenbedingungen und Merkmale der Vielzelligkeit	164
6.4.2	Zusammenhänge zwischen Lebensform und Informationsverarbeitung.	170
6.4.2.1	Vielzellige Pilze.	172
6.4.2.2	Landpflanzen	172
6.4.2.3	Tiere	173
6.5	Informationsaustausch zwischen Zellen und ihrer Umwelt in vielzelligen Organismen.	175
6.5.1	Pilze	180
6.5.2	Landpflanzen	183
6.5.3	Tiere – zelluläre Prozesse.	193
6.5.4	Tiere, Koordination von Bewegung und Information – neuronale Systeme	199
6.5.5	Zentralisierung der Nervensysteme	209
7	Biologische Energieumwandlung.	219
7.1	Grundmuster.	219
7.2	„Steine essen“ – Chemoautotrophie	224
7.3	Syntrophie	235

7.4	Photosynthese – eine erste Befreiung von abiotischen Zufälligkeiten.	244
7.5	Heterotrophie – Reduktion und Erhöhung der Entropie in biologischen Systemen.	254
7.6	Wechselwirkungen mit mechanischen und thermischen Faktoren.	264
7.6.1	Pflanzen	268
7.6.2	Tiere	279
8	Ungleichgewichte – Quellen aller Veränderungen	287
8.1	Generelle Zusammenhänge	287
8.2	Indizien der Wechselwirkungen zwischen abiotischen Faktoren und Organismen im Archaikum	291
8.3	Bündelung biologischer Leistungen.	299
8.3.1	Entstehung und Integration neuer Lebensformen.	299
8.3.2	Die „gute“ Katastrophe.	304
8.3.3	Besiedlung neuer Lebensräume	312
8.4	Übergang vom Proterozoikum ins Phanerozoikum – keine „Explosion“	315
8.5	Abiotische Rahmenbedingungen des Phanerozoikums	322
8.5.1	Einflüsse planetarer Faktoren auf die Dynamik terrestrischer Systeme.	322
8.5.2	Lithosphäre.	333
8.5.3	Hydrosphäre	338
8.5.4	Atmosphäre.	348
9	Biologische Entwicklungslinien des Phanerozoikums in marinen Lebensräumen	353
9.1	Zufall und Selbstähnlichkeit in oberflächennahen Zonen	353
9.1.1	Abiotische Faktoren	353
9.1.2	Interaktionen mit Viren.	361
9.1.3	Wölfe im Schafpelz – Mixotrophie	364
9.1.4	Ozeane sind keine Wiesen und Äcker	365
9.1.5	Physiologische und morphologische Anpassungen	368
9.1.6	Sesshaftigkeit und Strukturen in Korallenriffen und Flachwasserzonen.	372
9.2	Tiefsee – exklusiver und größter Lebensraum der Tiere	374
9.2.1	Entwicklung eigener Regeln in ausschließlich heterotrophen Systemen.	374
9.2.2	Benthal – Leben in der Übergangszone	376
9.2.3	Experimentarium der morphologischen Differenzierung von Tieren	379
9.2.4	Nutzung größerer Spielräume – mobile Lebensformen	383

9.3	Frühe Differenzierung und laufende Anpassungen	386
9.3.1	Mögliche Impulse der Metazoenentwicklung	387
9.3.2	Einflussfaktoren der Metazoenentstehung	389
9.3.3	Entwicklung grundlegender Baupläne bei Vertebraten	391
9.3.4	Zusammenbrüche und Regeneration	392
9.3.5	Auswanderung und mehrfache Rückkehr der Tetrapoden	397
9.3.6	Fließende Übergänge	398
10	Biologische Entwicklungslinien des Phanerozoikums in terrestrischen Lebensräumen	401
10.1	Landpflanzen als Gestalter neuer Lebensräume	401
10.2	Frühe Phase der terrestrischen Besiedlung – viele Vermutungen und wenige Indizien	404
10.3	Unterschiedliche Wege der Besiedlung von Landflächen durch Tiere – optionale Wege durch den Untergrund	405
10.4	Terrestrische Vegetation – Differenzierung im Spannungsfeld von abiotischen und biotischen Faktoren	407
10.5	Terrestrische Vegetation – hierarchische Dynamik und strukturelle Differenzierung	413
10.6	Terrestrische Fauna – Entwicklung unter den dynamischen Rahmenbedingungen der Vegetation	418
10.7	Das langsame Pendel wechselseitiger Stimulation	421
11	Epilog	427
	Literatur	435
	Stichwortverzeichnis	673

Warum dieses Buch?

1

Zum und über das Thema Evolution wurde schon viel Druckerschwärze verbraucht. Sei es, um Phänomene der Evolution zu beschreiben und zu interpretieren, sei es, um der Glaubensfrage nachzugehen, ob darin die Ausführung eines Schöpfungsplans zu sehen ist. Grundsätzlich sind die Inhalte dieses Buches der erstgenannten Kategorie zuzuordnen. Es geht hier aber nur zu einem geringen Teil um die Darstellung des Evolutionsverlaufs, sondern vorwiegend um die Suche nach den daran beteiligten Prozessen. Und dies mit dem optimistischen Ansatz, daraus Erkenntnisse für langfristig sinnvolles menschliches Handeln abzuleiten.

Optimistisch deshalb, weil allem Anschein nach die menschliche Gesellschaft mit Feuereifer an ihrer eigenen Abschaffung arbeitet. Ich meine damit nicht die allgegenwärtige Klimafrage, sondern weitaus subtilere, aber intensiv geförderte Entwicklungen. Eine dieser Entwicklungen ist die zunehmende Mechanisierung und Automatisierung menschlicher Tätigkeiten. Ursprünglich zur Verstärkung der menschlichen Arbeitskraft entwickelt, werden die Verdrängungseffekte von Menschen aus wirtschaftlichen Prozessen immer deutlicher. Waren zu Beginn vor allem unzureichend ausgebildete Menschen davon betroffen, so werden mittlerweile immer mehr Hochqualifizierte aus den gesellschaftlichen Wirtschaftsprozessen verdrängt. Mit dem Bestreben zur Schaffung „künstlicher Intelligenz“ oder zur genetisch maßgeschneiderten Gestaltung „perfekter Menschen“ jenseits therapeutischer Notwendigkeiten wird letztendlich die Abschaffung der gegenwärtigen Menschheit angestrebt. Indirekt wird damit zugegeben, dass wir Menschen mit unserem Menschsein nicht zurechtkommen.

Wir suchen nach Lösungen außerhalb unserer vorhandenen Fähigkeiten anstelle von Lösungen innerhalb unserer Fähigkeiten. Auffällig ist hier die Ähnlichkeit mit den religiös-kulturell dominanten Vorstellungen einer idealen Welt jenseits der gegenwärtigen,

die wesentliche Fundamente der abrahamitischen¹ wie auch der buddhistischen Religionen bilden. Die kulturelle Tragweite dieser Vorstellungen wird durch Vergleiche mit den Inhalten und Wirkungen der konfuzianischen Philosophie erkennbar². Durch den Widerspruch zwischen den dadurch zunehmenden Veränderungen der Lebenswelten und dem tatsächlichen Handeln innerhalb der Fähigkeiten entstehen laufend neue Herausforderungen, welche die menschlichen Lösungskapazitäten überfordern. Bestätigt wird Letzteres durch die Aussage, dass die Welt immer komplexer werde. Dies ist nur hinsichtlich der eigenen Wahrnehmung richtig, evolutionär aber falsch. Möglicherweise ist in der Schöpfungsgeschichte im Zusammenhang mit der Vertreibung aus dem Paradies der Satz verloren gegangen: „Wenn ihr glaubt mein Ebenbild zu sein, geht hin und beweist es.“

Die Welt war schon lange vor den ersten bekannten Spuren menschlicher Wesen weitaus komplexer, als wir es uns vorstellen können. Besonders deutlich wird dies, wenn auch die „vergessenen“ 99,999 % aller Lebensformen – einzellige Organismen wie Archaeen und Bakterien – mit berücksichtigt werden. Im Wechselspiel mit den – nicht als Lebewesen eingestuften – Viren beeinflussen sie die biologische Evolution von ihrem Beginn bis zum zukünftigen Ende. Die – im Zentrum der klassischen Evolutionstheorien stehenden – vielzelligen Organismen konnten sich nur im Rahmen mikrobiologischer Prozesse entwickeln. Durch sie konnten sich aber mikrobielle Prozesse in sonst nicht erreichbare physikalische Dimensionen entfalten und damit auch abiotische Prozesse (Prozesse der nicht lebenden Materie) in Teilbereichen stärker modifizieren. Angesichts der erwähnten Größenordnungen wäre es völlig vermessen, daraus auch eine zunehmende Beherrschbarkeit evolutionärer Prozesse abzuleiten.

¹Jüdische, christliche und muslimische Religionen.

²Bauer 2009.



Seit der ersten Veröffentlichung über die Entstehung der Arten von Charles Darwin im Jahr 1859 münden Diskussionen über biologische Evolution fast immer in der Frage nach der Position des Menschen im Reich der Organismen. Selbst der Mitbegründer der Evolutionstheorie – Alfred Russel Wallace (1823–1913) – lehnte die Verknüpfung seines Namens mit dem Begriff ab. Diese Haltung wurde in der Folge von Verfechtern des Darwin'schen Primats vielfach für Polemiken gegen Wallace genutzt. In seiner Lebensgeschichte¹ finden sich sowohl wesentliche Beiträge zur Entwicklung der Evolutionstheorie als auch eine zunehmende Distanzierung von ihr in späteren Lebensjahren. Ein entscheidendes Motiv für diese Wandlung ist in der sozialen Einstellung von Wallace zu suchen. Er erkannte offenbar das Gefahrenmoment in der vorbehaltlosen Übertragung des Selektionsprinzips auf die Regeln der menschlichen Gesellschaft, weil er schon in seinen frühen Lebensjahren das Elend verdrängter Gesellschaftsschichten hautnah erlebt hatte. Unklar bleibt, warum er nach außergesellschaftlichen Begründungen für die Berechtigung sozialer Gleichwertigkeit suchte. Möglicherweise erschien ihm die Begründung zu schwach, dass soziale Gleichberechtigung nicht aus Naturgesetzen, sondern nur durch die Gesellschaft selbst bestimmt werden kann.

Der geistige Lebensweg von Wallace charakterisiert in vollem Umfang die Spannungsfelder zwischen den naturwissenschaftlich begründeten Inhalten der Evolutionstheorie und den menschlichen Ansprüchen an eine Sonderstellung im Universum. Statt die Bedeutung von Evolutionsprozessen für die menschliche Entwicklung einzusehen und daraus Erkenntnisse für eigenverantwortliches Handeln abzuleiten, werden Auswege in ideologischen Ideen gesucht. Sachliche Diskussionen gleiten dabei rasch in emotionale Auseinandersetzungen zwischen unterschiedlichen Glaubens-

¹ Glaubrecht 2013.

richtungen ab. Unbeachtet bleiben dabei die Weiterentwicklungen der Kenntnisse in den letzten 150 Jahren.

Bedingt wird diese Situation durch das Zusammenwirken unterschiedlicher Faktoren und Prozesse: Im gesellschaftlichen Alltag hat das Thema der biologischen Evolution keinen besonderen Stellenwert – weil es vorwiegend im Sinne einer historischen Beschreibung aufgefasst wird. Manche versteigen sich dabei in eine Aufforderung zur „Überwindung der Evolution“. Besonders lautstark machen sich hier Verfechterinnen und Verfechter der Gentechnik bemerkbar. Ironischerweise nutzen diese Technologien „Werkzeuge“, die über Milliarden Jahre von Bakterien und Viren zur Genmanipulation verwendet wurden. Leicht modifiziert und mit geheimnisvollen Kürzeln – beispielsweise CRISPR² – versehen, werden mit ihrem Einsatz Hoffnungen geweckt und riesige Geldsummen verdient³.

Zum gesellschaftlichen Desinteresse trägt auch die Unterschätzung der umfassenden Bedeutung von Evolutionsprozessen für die gesellschaftliche Entwicklung bei. Die Wurzeln dafür sind in einer Gemengelage gesellschaftlichen Missbrauchs durch die selektive Betrachtung einzelner evolutionärer Phänomene oder den Eitelkeiten unterschiedlicher wissenschaftlicher Disziplinen und deren Vertreterinnen und Vertreter zu suchen. Besonders deutlich trat der gesellschaftliche Missbrauch in den entsetzlichen Gräueltaten des Faschismus zutage. Weniger deutlich – aber auch mit schwerwiegenden gesellschaftlichen Konsequenzen – finden sich die Spuren des ideologischen Missbrauchs im Gedankengut des Neoliberalismus. Als Beispiel sei hier das zentrale Credo des „Survival of the Fittest“ erwähnt.

Wissenschaftliche Eitelkeiten erschweren, ja verhindern offene Diskussionen über die Bedeutung evolutionärer Prozesse für die Gesellschaft. In geisteswissenschaftlichen Disziplinen wird vielfach jeder Zusammenhang zwischen gesellschaftlichen und evolutionären Prozessen geleugnet. Davon abweichende Meinungen werden als „Biologismen“ verunglimpft und rasch dem Schattenreich faschistischer Ideologien zugeordnet. Übersehen wird dabei, dass dafür teilweise analoge Argumente wie in den Theorien von T. D. Lyssenko (1898–1976)⁴ verwendet werden. Die postulierte Unabhängigkeit gesellschaftlicher Prozesse von evolutionären Faktoren erinnert an die behauptete – genetisch – uneingeschränkte Anpassungsfähigkeit von Nutzpflanzen. Durch die dogmatische Umsetzung der Theorie des „Lysenkoismus“ in der stalinistischen Ära wurden nicht nur Hungersnöte dramatisch verschärft, sondern auch Kritiker inhaftiert bzw. ermordet.

Innerhalb der biologischen Disziplinen ist die Evolutionstheorie zwar generell anerkannt, es bestehen aber nach wie vor große Auffassungsunterschiede über die

² Clustered Regularly Interspaced Palindromic Repeats – für Interessierte findet sich in Wikipedia eine Kurzbeschreibung.

³Kozubek 2016.

⁴Roll-Hansen 2006; Gordin 2012.

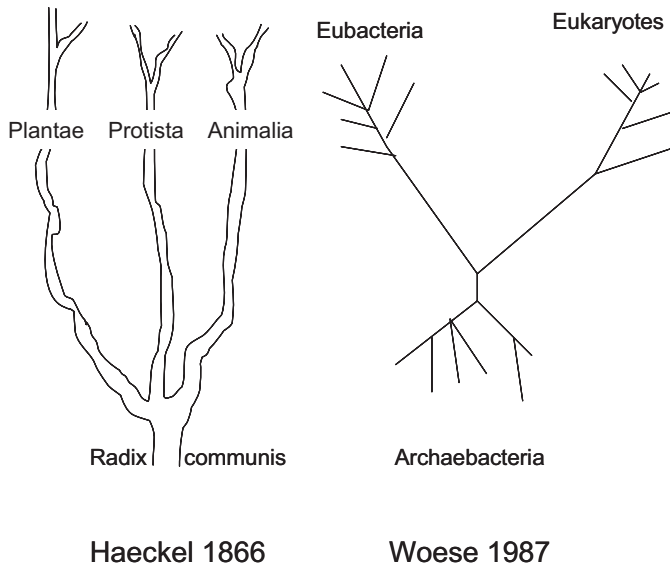


Abb. 2.1 Vergleich der Einteilung der Organismen durch Haeckel mit dem Ansatz der Kladistik durch Woese

Bedeutung der dafür relevanten Prozesse. Stark vereinfacht lassen sich zwei unterschiedliche Positionen skizzieren. Eine Position geht von einer autonomen – gegenüber der Umwelt „blinden“ – Entwicklung von Organismen aus. Veränderungen entstehen hier durch Mutation und die zufällige Selektion durch Umweltfaktoren. Mit dieser Position lassen sich sowohl die von Aristoteles (384–322 v. Chr.) formulierte hierarchische Ordnung der Natur (Scala naturae) als auch das statische System der Artdefinition von Carl von Linné (1707–1778) – zumindest vordergründig – in Einklang bringen. Die andere Position billigt hingegen den einzelnen Organismen eine Anpassungsfähigkeit an variable Umgebungsbedingungen zu. Damit stellen sich auch Fragen nach den Abgrenzungen von Arten und den evolutionär entstandenen Beziehungen zwischen den Arten sowie deren Zusammenfassung in übergeordnete Einheiten. Die erstgenannte Position erhielt durch die Entschlüsselung der DNA eine vermeintliche Unterstützung, die von einem ihrer prominentesten Vertreter – dem Evolutionsbiologen Ernst Mayr (1904–2005) – für eine umfassende Rechtfertigung genutzt wurde⁵. Darin wurde der theoretische Begründer der zweiten Position⁶ – der Biologe Willi Hennig (1913–1976) – massiv angegriffen. Abgelehnt wurde auch der kladistische Ansatz des Mikrobiologen

⁵ Mayr 1984.

⁶ Hennig 1966.

Carl Woese (1928–2012), der zu einer radikalen Änderung der Einteilung der Organismen führte⁷ (Abb. 2.1).

Die Neuklassifikation beruht auf Strukturvergleichen der ribosomalen RNA (rRNA) von insgesamt 13 Organismen aus den letztendlich drei Gruppen (Domänen)⁸. Verwendet wurden also nicht die zelleigenen Gensequenzen in der DNA oder morphologische Merkmale, sondern die „Regelungsinformationen“ von winzigen Zellorganellen. In ihnen werden die genetischen Informationen der Zelle in die Synthese von Proteinen „übersetzt“. Dafür finden sich die winzigen⁹ Organellen in großer Zahl in allen Zellen. Ausführlich begründet wurde diese Methode in einer nachfolgenden Publikation¹⁰. Zentrale Begründungen für die Methode sind die – im Vergleich zum Phänotyp – größere Vielfalt von Merkmalen auf genetischer Ebene, die präzisere Erfassbarkeit von genetischen Merkmalen sowie die Identifizierung von phänotypisch nicht erkennbaren Merkmalen. Für die spezielle Verwendung der ribosomalen RNA wird deren ubiquitäres Vorkommen in Zellen, ausreichende Variabilität in Bezug zu evolutionären Entwicklungen und deren funktionelle Position zwischen den inhärenten genetischen Merkmalen und Umweltfaktoren angeführt.

Analysen nach dieser Methode liefern keine explizite „Wurzel“ – die drei unterschiedlichen Organismengruppen (Domänen) sind auf gleicher Ebene miteinander verbunden. Zwei Organismengruppen (Eubacteria und Archaeobacteria) umfassen scheinbar „primitive“ Einzeller. Alle Tiere und Pflanzen in der Darstellung Haeckels sind hingegen – gemeinsam mit den Pilzen – in den Eukaryotes zusammengefasst¹¹. Die Darstellung von Woese weicht damit von der vorherrschenden Betrachtung von Evolutionsprozessen ab. Das übliche Bild einer deterministischen Entwicklung von „einfachen“ einzelligen Organismen hin zu „komplexen“ Vielzellern wird hier in einen mehrdimensionalen, nicht gerichteten Prozess uminterpretiert. In Archaeen und Bakterien – wie auch Pflanzen – finden sich vielfältige genetische Vernetzungen ohne Struktur eines Stammbaums, was verschiedene Autoren zu kritischen Auseinandersetzungen mit dem klassischen Paradigma der Evolution veranlasste¹². Trotzdem wurde in weiteren Publikationen mit einer sekundären Methode eine „Wurzel“ konstruiert, obwohl Woese dazu nur unscharfe Aussagen getroffen hat.

Aus der klassischen empirischen Analyse von Evolutionsprozessen können solche Argumente leicht angezweifelt werden, lassen sich doch anhand der zeitlichen Abfolge von Fossilien bei Pflanzen und Tieren Entwicklungslinien in Form von Stammbäumen

⁷Woese 1987; Woese 1998; Mayr 1998; Ho et al. 2013.

⁸Woese & Fox 1977.

⁹Der Durchmesser beträgt rund ein 400 Tausendstel Millimeter.

¹⁰Olsen & Woese 1993.

¹¹Nach Meinung einzelner Autoren (Williams et al. 2013) wären die Eukaryotes den Archaeobacteria unterzuordnen.

¹²McBreen & Lockhart 2006; Doolittle & Bapteste 2007.