Erde und Leben

Norbert Welsch · Claus Chr. Liebmann · Jürgen Schwab

Erde und Leben

Die Geschichte einer innigen Wechselbeziehung

Dr. Norbert Welsch
(verstorben)

Jürgen Schwab
Schellingstr. 47
72072 Tübingen
juergenm.schwab@matter-matters.de

Dr. Claus Chr. Liebmann
Marbachstr. 1
81369 München

ISBN 978-3-662-53868-5

ISBN 978-3-662-53869-2 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-53869-2

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

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017

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

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

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.

Planung: Frank Wigger, Dr. Christoph Iven

Einbandabbildung und -entwurf: Welsch & Partner – scientific multimedia, Tübingen

Satz: Welsch & Partner scientific multimedia, Tübingen und Jürgen Schwab, Tübingen

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Deutschland

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

Für
Laura-Marie und Lorraine

Norbert Welsch

Für
Anni Liebmann

Claus Chr. Liebmann

Für
Ursula Dachs und Heinz Schwab

Jürgen Schwab

Danksagung und Nachruf

Wir danken allen Familienmitgliedern, Freunden und Bekannten, die im Laufe der vier Jahre der Entstehungszeit durch Diskussionen, Hinweise, Beiträge, Bereitstellung von Bildern und Korrekturen aktiv am Zustandekommen des Buches beteiligt waren oder die einfach unter der zeitlichen Konkurrenz zu leiden hatten. „Vita brevis, ars longa“ gilt leider auch für die Arbeit an einem Werk, das allen drei Autoren viel Herzblut abverlangt hat.

Last but not least ist der Verlag ein entscheidender Faktor beim erfolgreichen Zustandekommen eines Buchwerkes. Wir danken hier insbesondere Frau Sabine Bartels und Herrn Frank Wigger sowie in der Konzeptionsphase noch Herrn Dr. Christoph Iven für die engagierte redaktionelle Betreuung über die ganzen Entstehungsjahre. Hier konnten wir auf ein kompetentes und wohlwollendes Team bei Springer-Spektrum zählen, das uns einerseits durch Terminvorgaben eine realistische Grenze zog (und diese mehrfach leider erweitern musste), andererseits aber auch stets ein offenes Ohr bot und Lösungen für anstehende Probleme bereit hatte. Auch möchten wir uns bei Frau Behncke-Braunbeck bedanken, die uns bereits über viele Jahre und Bücher hinweg auf Seiten des Verlages begleitet und unterstützt hat.

Norbert Welsch
Jürgen Schwab
Claus Chr. Liebmann

Völlig unerwartet verstarb Norbert Welsch kurz vor Fertigstellung dieses Buches. Wir verloren nicht nur einen langjährigen Kollegen, sondern auch einen teuren Freund. Seine unstillbare Neugier darauf, wie die Welt im kleinsten und im größten „funktioniert“, war nicht nur ansteckend, sondern Voraussetzung dafür, dass derart umfassende Werke wie „Materie“ und „Erde und Leben“ überhaupt entstehen konnten. Bei Norbert Welsch war diese Neugier gepaart mit sprühender Intelligenz und der Fähigkeit, Naturwissenschaft in verständlicher und humorvoller Form darzustellen. Die Arbeit mit ihm war immer spannend und anregend, selten trafen wir einen Menschen mit einem solch breiten Wissen und dem Willen, es zu teilen. Wir werden ihn sehr vermissen.

Jürgen Schwab
Claus Chr. Liebmann

Interaktive Medien · Bilder · Texte · Errata · Literaturhinweise · Neuigkeiten
Unter **www.matter-matters.de** finden Sie Materialien der Autoren zum Buch
(ab ca. 6/2017).

Vorwort

Man kann sich zu Recht fragen, wozu man noch ein weiteres Buch benötigt, das die Entstehungsgeschichte der Erde und des Lebens thematisiert. Darüber wird seit den Zeiten eines IMMANUEL KANT und CHARLES DARWIN von exzellenten Forschern spekuliert, geforscht, modelliert und publiziert. Heute existiert eine mit der Intensität der Forschung und der Schnelllebigkeit unserer Zeit immer rapider zunehmende, kaum noch überschaubare Flut von Fachartikeln. Wie aus der Literaturliste am Ende des Buches ersichtlich, gibt es zahlreiche ausgezeichnete populärwissenschaftliche Werke, die die Geschichte unserer Herkunft erzählen und einer breiteren Leserschaft zugänglich machen. Daneben sind praktisch alle neuen Erkenntnisse für den aufmerksamen Benutzer in entsprechenden Internet-Foren und Wikipedia-Artikeln zu finden.

Ein Grund für neue Bücher ist natürlich, ein Resümee zu ziehen über den jeweils aktuellen Forschungsstand, der oft genug altbekannte Tatsachen in ein anderes Licht rückt. Heute ist Wissenschaft so weit spezialisiert, haben sich so viele kleine abgegrenzte Forschungsgebiete mit jeweils eigenen Fachjournalen und eigener Fachsprache entwickelt, dass selbst ausgewiesene Wissenschaftler oft in Nachbardisziplinen nicht viel mehr sind als Laien. Auch für sie ist es nützlich, gelegentlich über den Tellerrand ihrer jeweiligen Disziplin hinauszuschauen. Wir glauben, dass es zum Prozess einer öffentlichen Wissenschaft gehört, anerkannte Theorien und neueste Erkenntnisse zusammenzubringen und die Geschichten – in diesem Fall die der Erde und des Lebens – aus verschiedenen Blickwinkeln immer wieder neu zu erzählen.

Betrachten wir die vielfach bestätigte Evolutionstheorie DARWINS. Betrachten wir die komplexen biochemischen Abläufe in einer Zelle, die wir vielfach kennen und gezielt beeinflussen können. Und betrachten wir die Vorgänge der DNA-Duplikation und der Biosynthese von Eiweißen, die wir inzwischen so gut beherrschen, dass wir sie im Rahmen moderner Molekularbiologie routinemäßig und in industriellem Maßstab manipulieren. Könnte man da nicht der Ansicht sein, wir hätten das Wesentliche am Leben längst verstanden?

Weit gefehlt! Es ist ein gigantisches Projekt, dem sich Biologen, Geologen, Chemiker, Paläontologen und Wissenschaftler zahlreicher anderer Disziplinen verschrieben haben, die sich an der Erforschung der Entstehungsgeschichte unserer Lebewelt versuchen. Schauen wir uns die Lebensvorgänge nur etwas genauer an, so mag man leicht verzweifeln ob der Größe der Aufgabe. In einer Zelle laufen abertausende chemische Reaktionen parallel ab, sind in einem sich selbst erhaltenden und gegenseitig regulierenden System verwoben, dessen Komplexität wir heute erst erahnen.

Woher weiß jeder Teil des Zytoskeletts, in welche Richtung er expandieren muss, woher jedes Motorprotein, wohin es dieses oder jenes Organell zu transportieren hat? Wie wird verhindert, dass ein so delikat verschränktes Netzwerk chemischer Reaktionen, wie es eine lebende Zelle darstellt, unwiderruflich im Chaos versinkt? Trotz aller naturwissenschaftlichen Nüchternheit und fern davon, irgendwelchen kreationistischen Ideen und Scheinlösungen das Wort zu reden, steht man doch mit einem Schaudern vor dieser ungeheuren Komplexität und Vielfalt. Noch mehr als der oberflächliche Blick auf das Verhalten eines ganzen Organismus lässt uns die wissenschaftliche Analyse der Strukturen und Mechanismen staunen, die in der Evolution des Lebens auf unserem Planeten und in enger Interaktion mit diesem entstanden sind.

Wir wissen nicht, wie lange der Weg zu einem echten Verständnis dieser Prozesse und Strukturen noch ist und wie viele Generationen von Forschern sie noch beschäftigen werden. Ja, wir wissen nicht einmal, ob es uns jemals gelingt herauszufinden, wie das Leben auf unserem Planeten begann. Denn dies war vermutlich ein historisch einmaliger Vorgang, von dem, wenn überhaupt, nur sehr indirekte Spuren geblieben sind. Aber jeder Weg beginnt mit dem ersten Schritt – und einige Schritte sind wir schon gegangen. Sie sollen das Thema unseres neuen Buches sein.

Von der Erde

*In einem Raum
den nie ein Auge sah
kam sie schon vor uns an
die Dienerin des Lebens
sie hat sich vor uns aufgemacht
auf einen langen Weg
ohne Unterschied
zwischen Tag und Nacht*

*Sie sollte ihre Reise nicht alleine tun
denn plötzlich war das Leben da
erst noch zaghaft ging
es über ihre Haut
ganz zärtlich sanft und leise
mit kleinen Füßchen
hört es nicht auf
zu laufen und bewußt zu sein
und nicht lange auszuruhen*

*Den Weg zum Dasein fanden wir
von ihr stets wohl begleitet
in ihr, der Dienerin des Lebens,
des Wachstums und des Gebens
ein Wunder vorbereitet*

*Wenn irgendwann ein Leben geht
um Neuem Platz zu machen
so soll es sein
dass sie uns dann
wie eine große Mutter
in ihre Arme nehmen kann*

*Dass sie
in unvorstellbar langer Fahrt
Spuren des Lichts
Spuren des Lebens
in ihrem Körper aufbewahrt.*

Klaus Wermke

Inhalt

1 Biogeologie

Eine Wissenschaft der Wechselwirkungen

Gaia kehrt zurück 3

Vom Entstehen und vom Sein

Der stete Lauf der Welt 5

Lebewesen und ihre Umwelt 5

Auf der Suche nach LUCA 8

Im Dunkel der Vergangenheit 9

Was Sie in diesem Buch erwartet

Überblick 10

2 Geodetektive

Was uns die Steine erzählen

Das offene Buch der Geologen 15

Stratigraphie – Schicht für Schicht 15

Gestalt und Tiefenbau der Erde 21

Plattentektonik 23

Methoden der Spurensuche

Geochemische Analysen und Instrumente 25

Instrumentelle Analytik 25

Isotope

Nicht alle sind gleich 28

Isotopenuhren 29

Optische Lumineszenzdatierung 32

Biomarker

Gut konserviert 32

3 Spuren der Evolution

Darwins Geniestreich

Entdeckung der Geschichte der Lebewelt 39

Ähnlichkeiten lebender Formen 39

On the Origin of Species 40

Fossile Überlieferung 41

Biochemie heute

- Des Chemikers Albtraum 42
- Zentrale Biomoleküle 43

Das Archiv in uns

- Zellbestandteile erinnern sich 47
- Molekulare Uhren 50
- Mutationsraten 50
- Untersuchung ribosomaler DNA 51
- Mitochondriale DNA 51
- Zellkern-DNA 52

Rekonstruktionen

- Eröffnung des Jurassic Park? 52
- Rekonstruktion von DNA-Sequenzen 52
- Rekonstruktion und Untersuchung von Proteinsequenzen 53

4 Die kosmische Bühne

Wie alles begann...

- Im Anfang war das Licht 57
- Der Samen der Welt 57
- Atome und Sterne entstehen 59

Planeten – aus Staub geformt

- Aus Staubwolken werden Scheiben 60
- Von Scheiben zu Planeten 61
- Steine und Eiskugeln 63
- Monde 64
- Vom Ende des Sonnensystems 67

Kosmisches Labor

- Chemie im kalten Universum 68
- Das interstellare Medium 68
- Lebensmoleküle aus dem All 69

5 Die Urerde

Abenteuer eines jungen Planeten

- Es begann vor 4,5672 Milliarden Jahren 73
- Gaias Tochter bringt uns den Mond 73
- Vom Glutofen zum Tropenklima 74
- Woher stammt das Wasser? 77
- Late Heavy Bombardement – Ein Tanz mit Folgen 78

Kontinente entstehen

- Bewegliche Kruste 79
- Einsetzen der Plattentektonik 81

Kosmische Einflüsse

- Von Zyklen und Katastrophen 84
- Kosmische Katastrophen 86
- Kosmische Strahlung 87

6 Chemische Evolution

Das Leben verstehen

- Aufbruch und Stolpersteine 91
- Leben – was ist das? 92
- Energie und Entropie – offene Systeme 92

Elemente des Lebens

- CHNOPS – Die richtigen Stoffe sind zur Stelle 96
- Erste Schritte zum Leben 99
- Herkunft organischer Moleküle 101
- Wo lag Darwins Tümpel? 103

Molekülsynthese ohne Chemiker

- Die Ursuppe ist dünn geworden... 105
- Replikation oder Stoffwechsel zuerst? – Die Sache mit der Henne und dem Ei 107
- Replikator und Hyperzyklus – Fehlerexplosion und Familienbande 110

Vergangene Welten?

- Hypothesen und Experimente 112
- Eisen-Schwefel-Welt (ESW) 112
- Welt der alkalischen Schlote 114
- Aminosäuren und Protein-Welt 114
- Nukleotide und RNA-Welt 116
- Exotische Vorgänger-Welten 121

Erste Zellen

- Protobionten, Progenoten – Urzellen 123
- Der genetische Code in einer Protein-tRNA-Welt 124
- Übergang zur heutigen DNA-RNA-Protein-Welt 126
- Zurück zu LUCA 127

7 Stoffwechsel und Elementzyklen

Biochemische Stoffkreisläufe

- Lebewesen als geologische Kräfte 133

Mikrobieller Stoffwechsel

- Energie und Baustoffe werden umgesetzt 137
- Chemolithotrophie 137
- Photolithotrophie 138
- Mixotrophie 139

Photosynthese

- Vom Licht zur Lebensenergie 139
- Oxygene Photosynthese 139
- Dunkelreaktion (Calvin-Zyklus) 142
- Anoxygene Photosynthese 145
- Cyanobakterien – Winzige Alleskönner 146
- Großes Oxidationsereignis 148

Kreisläufe der Elemente

- Biogeologischer Stoffkreislauf 152
- Kohlenstoffkreislauf 152
- Stickstoffkreislauf 156
- Schwefelkreislauf 160
- Phosphorkreislauf 165

8 Eukaryoten und Vielzeller

Eukaryoten

- Kerne und Membranen 173

Vom Einfachen zum Komplexen

- Zelluläre Evolutionsschritte 173
- Evolution prokaryotischer Zellen 174
- Endosymbiontentheorie 176

Auf dem Weg zu Vielzellern

- Bizarre tierische Lebensformen, Pilze und Urvielzeller 179
- Urtierchen und Schwämme 179
- Ediacara-Fauna 181

Darwins Dilemma

- Tiere aus dem Nichts!? 184
- Kambrische Innovationen 184
- Genregulationsnetzwerke 186

Pilze

- Ein Leben im Verborgenen 188

Der grüne Schleier des Landes

- Landpflanzen und Ökologie 191
- Schrittmacher der Evolution 191
- Bedeutung der Pflanzen 196

Massenaussterbeereignisse

- Wenn die Erde krank wird 197
- Massensterben im Perm 200

9 Atmosphäre und Ozeane

Zwei Untrennbare

- Ein reger Austausch 207
- Wechselwirkungen 207

Von der Höllenglut zur Atemluft

- Drei Atmosphären 211
- Die Atmosphäre im Präkambrium 211
- Die Atmosphäre im Phanerozoikum 214

System Erde

- Von Gaia und Gänseblümchen 217
- Daisyworld-Modell 221
- Claw-Hypothese 222
- Canfield-Ozean 224

Schneeball-Erde

- Das Überleben auf einem Eisplaneten 225
- Proterozoische Vereisungen 225

10 Gebirge aus Organismen

Evolution der Minerale

- Schritte zu einem komplexen Planeten 235
- Biomineralisation/Biominerale 237
- Erste Riffe, die Stromatolithe 239

Bändereisenerze

- Rohstoffe aus dem Präkambrium 241

Kalkgesteine

- Baumaterial biogener Gebirge 244
- Städte unter Wasser 247

Kohle

- Eingefangenes Kohlendioxid 250

Kerogene

- Erbe vergangenen Lebens 254
- Bildung und Reifung 254
- Chemische Zusammensetzung 255
- Erdöl- und Erdgas-Lagerstätten 257

11 Leben drunter und drüber

Die verletzte Lebenshaut der Erde

- Was ist eigentlich „Boden“? 263
- Bodenbildungsprozesse 265
- Bodenhorizonte 269
- Bodenwasser 271
- Wundererde aus dem Amazonas-Becken 272

Paläoböden

- Zeugen früherer Umweltverhältnisse 275

12 Einfluss des Menschen

Der Ast, auf dem wir sitzen

- Der Mensch als geologischer Faktor 279
- Macht euch die Erde untertan 281
- Vom Winde verweht 288
- Wühlmäuse 289
- Klimawandel 293

Universalwerkzeug Nervensystem

- Zwei Systeme am Werk 300
- Die Evolution des Gehirns 301
- Was uns zu Menschen macht 303

Evolution der Zukunft

- Wohin die Reise geht... 311
- Geht die menschliche Evolution weiter? 312
- Mensch 2.0 314

Anhang

- Literaturverzeichnis 324
- Stichwortverzeichnis 326