

1 Auflage 2019

Happy Planet
Fred Hageneder

© Neue Erde GmbH 2019
Alle Rechte vorbehalten.

Titelseite:
Illustration: Elaine Vijaya Nash
Gestaltung: Dragon Design, GB

Satz und Grafiken:
Dragon Design, GB
Gesetzt aus der Myriad Pro

Gesamtherstellung: Appel & Klinger, Schneckenlohe
Printed in Germany

ISBN 978-3-89060-753-5

Neue Erde GmbH · Cecilienstr. 29
66111 Saarbrücken · Deutschland · Planet Erde
www.neue-erde.de

Inhalt

Quickstart vii

Teil 1: Lebendige Erde 1

- 1 Gaia verstehen 1
- 2 Ursprünge 14
- 3 Die Elemente und Kreisläufe 19
- 4 Gemeinschaften und Netzwerke 34
- 5 Feedbacksysteme 42
- 6 Vielfalt, Komplexität und Fülle 48

Teil 2: Störung der Lebenssysteme 51

- 7 Das sechste Massensterben 56
- 8 Lebensraumverlust 61
- 9 Invasive Arten 65
- 10 Verschmutzung 69
- 11 Überbevölkerung 93
- 12 Überkonsum 104
- 13 Energie und »Fortschritt« 116
- 14 Klimazerrüttung 121

Teil 3: Die menschliche Schnittstelle 143

- 15 Warum so wenig so langsam geschieht 143
- 16 Anthropozentrismus 155
- 17 Die ökozentrische Weltsicht 173
- 18 Eine knospende Zukunft 177
- 19 Hoffnung, Mut und Kraft finden 189

Literatur, Abbildungen, Über den Autor 195



Ich kann meine Hände verlieren,
und dennoch leben.

Ich kann meine Beine verlieren,
und dennoch leben.

Ich kann meine Augen verlieren,
und dennoch leben.

Ich kann meine Haare verlieren,
meine Augenbrauen, Nase, Arme,
und vieles andere,
und dennoch lebe ich.

Aber wenn ich die Luft verliere, sterbe ich.

Wenn ich die Sonne verliere, sterbe ich.

Wenn ich die Erde verliere, sterbe ich.

Wenn ich das Wasser verliere, sterbe ich.

Wenn ich die Pflanzen und Tiere verliere,
sterbe ich.

Sie alle sind mehr ein Teil von mir,
notwendiger für jeden meiner Atemzüge,
als mein sogenannter Körper.

Was ist mein wirklicher Körper?

Jack D. Forbes

Liebe Leserin, lieber Leser!

Dies ist ein interaktives Buch. So gut es eben geht.

Um der Erde Papier und Energie zu ersparen – und der/dem Leser/in das Abtippen unmöglicher URLs – haben wir die Quellenangaben, Tips und Links auf eine Web-Seite ausgelagert.

Im Text verstreut finden Sie hübsche kleine Quadrate, die auf folgendes hinweisen:

- Die gelben Quadrätchen führen zu den Quellenangaben, das können schlaue Bücher sein, aber zumeist Artikel von seriösen Zeitungen, wissenschaftliche Studien oder die Websites von Organisationen wie der UN oder Naturschutzorganisationen.
- Die blauen Quadrätchen weisen darauf hin, dass es zu dem vorstehenden Themenpunkt Zusatzinformationen auf der Web-Seite gibt, die wir – statt eine lange Fußnote in Witzschrift zu erzeugen – lieber aus dem Druckwerk ausgelagert haben, weil sie eh nicht jede/n interessieren dürften.
- Die grünen Quadrätchen sind die Leckerbissen: Da finden Sie meine Buchempfehlungen zum Thema und vor allem Links zu Video-Clips oder Filmtipps.



Die Web-Seite ist
www.geist-der-baeume.de/happy-planet-links

Willkommen!

Herzlichen Glückwunsch zu Ihrer Geburt auf dem Planeten Erde!

Die Erde ist er der einzige *lebendige* Planet, den wir kennen.

Er bietet eine wunderbare Artenvielfalt, ständige Abwechslung in Form und Farbe, Klang, Geschmack und der Welt der Düfte. Berge, Strände, Wälder und heimelige Winkel sind Balsam für die Seele, die sich hier voll entfalten kann.

Unzählige Begegnungen mit anderen Lebewesen, mit anderen Weisen zu sehen und zu fühlen, erwarten die Reisenden durch Raum und Zeit. Dabei begegnen sie auch immer sich selbst.

Der Himmel hat auf Erden begonnen, materielle Gestalt anzunehmen.

Allerdings haben sich einige Probleme aufgetürmt, die in jüngerer Zeit (den letzten 5000 Jahren) durch eine falsche Handhabung des Planeten Erde entstanden sind.

Es ist daher an der Zeit, eine Bedienungsanleitung für den Planeten nachzuliefern. Da man den Planeten aber nicht »bedienen« und schon gar nicht »gebrauchen« soll, wollen wir sie einen »Leitfaden« nennen. Diese Bezeichnung passt auch zu der Notwendigkeit, dass im Zeitalter der Informationsflut, Fake News und falscher Propheten eine klare Orientierungshilfe gebraucht wird.

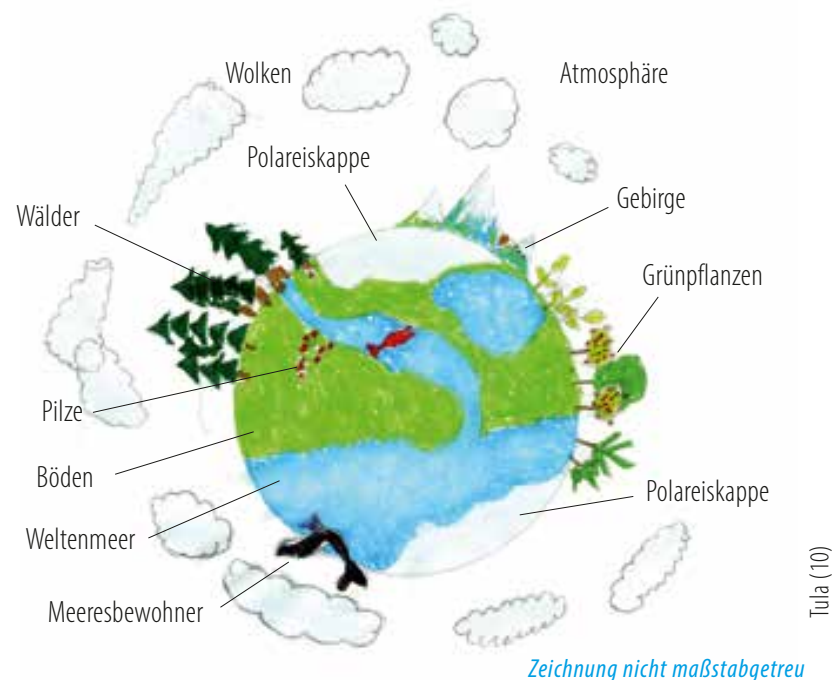
**Vor Inbetriebnahme des Planeten sorgfältig
die Sicherheitshinweise lesen!**

Was bedeutet: diesen ganzen Leitfaden.

Planetenbeschreibung

Der Planet Erde ist ein Premiummodell der Sonderklasse, das selbst intergalaktisch nicht seinesgleichen findet.

Das Lebenssystem des Planeten Erde, auch **Gaia** genannt, hat einige wesentliche Komponenten, die allesamt eng miteinander vernetzt sind:



Polareiskappen Kühlaggregate des Planeten. Durch die weiße Farbe haben sie eine hohe Albedo (Rückstrahlkraft von Sonnenenergie). Enorme Frischwasser-Reserve-lager. Neben dem Tropengürtel die zentralen Klimaorgane.

Atmosphäre Schutz der lebendigen Erde vor schädlicher kosmischer Strahlung. Matrix für alle Lebewesen außerhalb des Meeres, zuständig für die Verteilung nährender Elemente (Sauerstoff, Kohlenstoff, u. a.) und den Abtransport von Ausscheidungen (Sauerstoff, Kohlenstoff, u. a.). Matrix für Wetter- und Klimageschehen.

Weltenmeer Ursprung des biologischen Lebens. Größte Artenvielfalt. Unter Sonneneinstrahlung zentraler Klimamotor. Größter irdischer Speicher von CO₂.

Meeresbewohner Die größte denkbare Artenvielfalt ist ein wichtiger Teil des Gleichgewichts verschiedener maritimer Funktionskreisläufe (z. B. Sauerstoffproduktion durch Algen, CO₂-Bindung und -Ablagerung, Calcium-Entsorgung).

Wolken Schutz der Erdoberfläche vor zuviel Sonnenwärme. Verteilung lebensspendenden Wassers auf dem Festland. Entstehen durch Verdampfung von Meerwasser sowie durch Transpiration (Wasserausscheidung) von Waldbäumen.

Plattentektonik und Vulkanismus werden durch die Magmaströme des Erdinneren erzeugt. Gebirge, Nebeneffekte der Plattentektonik, sind wichtig für das Wettergeschehen und die Wasserverteilung (Wetterscheiden, Wasserscheiden, Bergquellen) und tragen enorm zur irdischen Artenvielfalt bei.

Wälder Essentiell wichtig für die Erzeugung freien Sauerstoffs in der Atmosphäre. Hauptorgane für das globale Klima. Wesentlicher Lebensraum auf dem Festland. Größte Artenvielfalt außerhalb der Ozeane.

Böden Ohne die Humusschichten gäbe es kein tierisches und pflanzliches Leben auf dem Festland. Sie bilden sich im oberen Bereich durch Zerfall organischen Materials (von Pflanzen und Tieren), im unteren dadurch, dass Bakterien und andere Mikroorganismen Felsgestein zersetzen und in Pflanzennährstoffe umwandeln.

Pilze Riesige Kommunikationsnetzwerke im Waldboden (»Wood Wide Web«), die Nährstoffe und Informationen intelligent verteilen. Werden fälschlich oft den Pflanzen zugerechnet, stehen aber biologisch den Tieren näher.

Grünpflanzen Durch Photosynthese Umwandlung von Sonnenenergie in chemische Energie, die dadurch allen Lebewesen als Nahrung zur Verfügung steht. Globales Kühlsystem: Die Pflanzendecke ist nach dem Weltenmeer das größte Aufnahmeorgan für atmosphärisches CO₂.

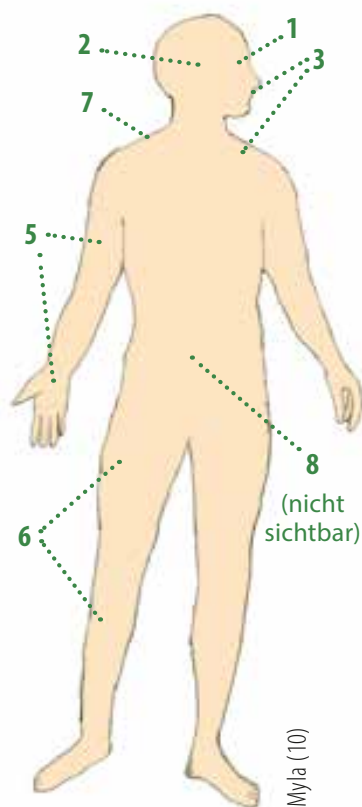
Tiere Ein Planet, der nur von Grünpflanzen bewohnt ist, würde allerdings zu kühl werden. Die Fauna schafft ein Gleichgewicht, indem sie CO₂ und Methan wieder in die Atmosphäre einbringt.

Homo sapiens (Mensch) Ungewöhnliche Tierart. Wird nicht wirklich gebraucht. Ist aber fähig, ungezählte andere Tier- und Pflanzenarten glücklicher zu machen durch seine Fähigkeit, *bewusst zu lieben*.

Bedienfeld

Um sich des Lebens auf diesem Planeten zu erfreuen, findet sich Ihr Geist in einem sogenannten »menschlichen Körper« wieder, der Fachbegriff dafür lautet **Homo sapiens**. Dieses *Human Interface* befindet sich physisch auf dem gegenwärtig höchsten Stand seiner Entwicklung. Es wurde über 300.000 Jahre optimal an die Lebensverhältnisse auf der Erde angepasst, mit Vorläufermodellen, auf deren Evolution über 2 Mio. Jahre verwandt wurde.

Der Avatar Homo sapiens ist u. a. mit folgenden Sensoren und Funktionen ausgestattet:



1 Augen Visuelle Wahrnehmung geschieht mittels hochentwickelter Licht- und Farbrezeptoren, die Lichtfrequenzen von 380 bis 780 Nanometer übertragen. Die Auflösung ist hervorragend, selbst bei näherem Hinsehen ergibt sich nie ein pixeliertes Bild, wie das bei künstlichen Monitoren der Fall ist. Das Sehfeld umfasst 217° – weniger als ein Frosch (330°) aber mehr als eine Schleiereule (160°). Durch die Paarigkeit der Augen können optisch sogar Entfernungen abgeschätzt werden.

2 Ohren Auditive Wahrnehmung von Schalldruckschwingungen in der Luft (oder im Wasser), Frequenzbereich von 16 bis 18.000, max. 20.000 Hertz. Die Schmerzgrenze bei hoher Lautstärke liegt beim dreimillionenfachen (!) Schalldruck des kleinsten hörbaren Geräusches. High Fidelity und Surround-Sound gehören ohne Aufpreis auch zur Standardausführung.

3 Sinnesorgane Zum Riechen, Schmecken und Tasten/Spüren, um die Erfassung der lebendigen Welt noch reicher zu machen.

4 Sechster Sinn (nicht gezeigt) Intuition, Eingebung, »Bauchgefühl«. Sehr wichtig für den Einklang mit der Natur. Verkümmert aber bei Nichtgebrauch.

5 Arme und Hände In Verbindung mit der Arbeit des Gehirns bieten sie die ausgereifteste Mechanik, um in der vierdimensionalen Welt auch wirklich jeden Fug und Unfug realisieren zu können.

6 Beine Zur Fortbewegung durch »Gehen« oder »Laufen«. Im federnden Wechselspiel mit der Gravitation des

Planeten wird dabei ein Fuß vor den anderen gesetzt.

7 Haut Vielfältiges Organ als Schutz und für geregelten Austausch mit der Außenwelt. Auf knapp 2 qm können z.B. UV-B-Strahlen aus dem Sonnenlicht aufgenommen werden, um Vitamin D zu produzieren.

8 Darm Vielfältiges Organ zum geregelten Austausch mit der Außenwelt. Die gesamte Darmoberfläche hat (entfaltet) die Größe eines Tennisfelds, und auf diesem Terrain werden molekulare Nährstoffe aus der Nahrung aufgenommen und Schadstoffe entsorgt. Im Darm leben Hunderte für den Menschen lebenswichtige Bakterienarten.

Verpackung und Entsorgung

Der Planet wurde unverpackt geliefert und ist mit voller Werksgarantie mehrere Milliarden Jahre haltbar. Um seine Entsorgung braucht sich also kein Mensch Gedanken zu machen.

Das Human Interface dagegen ist von weitaus kürzerer Lebensdauer. Es wird bei Geburt zwar auch verpackungsfrei geliefert, aber kulturelle Gepflogenheiten der Entsorgung abgelaufener Exemplare können problematisch sein. Wenn die Körper den Elementen (Erde, Feuer, Wasser) zurückgegeben werden, bitte keine Kunstholzverpackungen (sog. Säрге), womöglich noch mit synthetischer Auskleidung, verwenden, denn diese setzen große Mengen an Dioxinen und anderen Giften frei, besonders bei Verbrennung. Bei der Entwicklung des Homo sapiens wurde jedenfalls auf vollständige biologische Abbaubarkeit geachtet.

Aufstellort

Der Planet Erde wurde vom Herstellerteam bereits in eine optimale Umlaufbahn um einen vertrauenswürdigen Stern (Sonne) gebracht. Er hat eine zusätzliche, externe Steuerungszentrale (Mond) für wichtige Zusatzfunktionen (Gezeiten, Biorhythmen) und befindet sich in einem ruhigen Seitenarm einer verlässlichen Galaxis. Hier braucht Homo sapiens nichts zu tun; er muss nur darüber nachdenken, wie er sich selbst »aufstellt«.

Sicherheitshinweise und Warnungen

- Planetarische Energieversorgung, Temperaturregelung, elektrischer Spannungsausgleich, Bewässerung, Durchlüftung, Säure-Basen-Gleichgewicht, Reinigung, Wartung u.v.m. sind von Natur aus geregelt. Siehe Teil 1 dieses Leitfadens.
- Es gibt nur zwei Gefahren, die zu ernststen planetarischen Störungen führen können. Die erste ist ein größerer Kometeneinschlag, aber das ist selbst nach planetarischen Maßstäben sehr selten. Die Hauptgefahr ist der Amoklauf funktionsgestörter Gruppen von Homo sapiens. Siehe Teil 2.
- Bei durch den Menschen verursachten Funktionsstörungen des Planeten (z.B. ersten Anzeichen von Klimakollaps oder Verlust von Artenvielfalt) **schnellstens** den Konsum und alle zivilisatorischen Energiesysteme auf das Allernötigste drosseln und auf den Reparaturdienst warten. Den finden Sie im regionalen Branchenverzeichnis unter – je nach Kulturkreis – Natur, Engel, Asen, Götter, Ahnen oder Bodhisattvas.

Reparaturen an beschädigten Planeten dürfen nur durch Fachkräfte durchgeführt werden – die unter den Menschen nicht zu finden sind! Bei seiner gegenwärtigen Entwicklungsstufe ist die geistige Kapazität von Homo sapiens in keinsten Weise geeignet, auch nur annähernd die Funktionskreisläufe des Planeten zu verstehen, geschweige denn, in sie einzugreifen. Durch unsachgemäßes Herumpfuschen können weitere erhebliche Gefahren für alle Lebewesen entstehen!

Teil I LEBENDIGE ERDE

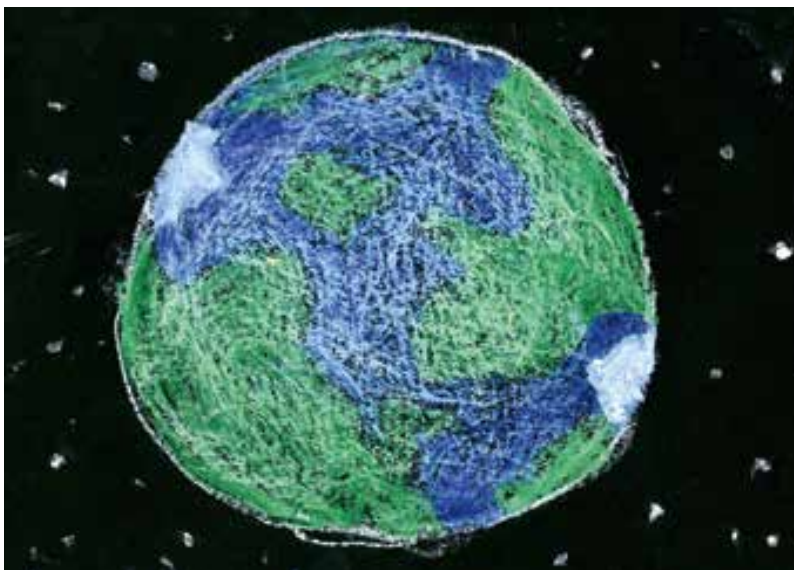
1. Gaia verstehen

»Komplexe Regulierung und gegenseitige Wechselbeziehungen verbinden alle Tier- und Pflanzenformen mit der sich ständig wandelnden Erde, welche sie trägt, zu einem einzigen großartigen organischen Ganzen.«

Alfred Russel Wallace (neben Charles Darwin
Co-Stammvater der Evolutionstheorie), 1876 ■

Die Erde ist kein Gesteinsklumpen, die mit einigen auf seiner Oberfläche verstreuten Lebewesen durchs All saust. Und Leben erscheint auch nicht »einfach so« auf einem Planeten, der sich zufällig in einer »habitablen« (bewohnbaren) Zone befindet (nicht zu dicht und nicht zu weit von einer Sonne). Und das Leben hat auf der Erde auch nicht bloß »ein paar Nischen« besiedelt.

Es ist ganz anders: In den letzten Jahrzehnten hat die Wissenschaft ein immer klareres Bild gewonnen, wie sehr die Gesamtheit des Lebens (die Biosphäre) *aktiv* die lebensfreundlichen Bedingungen auf der Erde erhält. »Die Biosphäre befindet sich nicht nur einfach *in* einer habitablen Zone, sondern sie *erschafft* sie auch«, sagen die Erdwissenschaftler Eileen Crist und Bruce H. Rinker. ■ Über die 3,8 Mrd. Jahre, die das Leben bereits existiert, sind die lebenden (*biotischen*) und nicht-lebenden (*abiotischen*) Naturreiche derart hochgradig miteinander verschmolzen, dass »sie eine bio-geo-chemische Einheit darstellen, die sich als ein sich selbst regulierendes System verhält.« (Crist/Rinker) ■ Mit anderen Worten: *Die Organismen gestalten die Umgebungsbedingungen zu ihrem Vorteil.* Und erhalten sie auch so. (Dies sind



Myla (10)

Langzeitwirkungen der *planetarischen* Evolution, und es ist kein Widerspruch, dass einzelne Arten sich durchaus an gewisse Bedingungen anpassen müssen – entlang der Zeitachse ihrer eigenen Entfaltung.) Um das etwas anschaulicher zu machen:

- Als die Erde jung war, hätte sie all ihr Wasser verloren, wenn nicht Myriaden von Bakterien mit viel Aktivität eingegriffen hätten. Ihr Stoffwechsel setzte freien Sauerstoff frei, und andere Arten entließen Schwefelverbindungen. So konnten die ultraleichten Wasserstoffatome daran gehindert werden, ins All zu entweichen. *Ohne Leben gäbe es kein Wasser auf der Erde.*
- Landpflanzen und damit auch Landtiere (inklusive der Gattung Mensch) sind abhängig von fruchtbarem Boden. Und solcher existiert nur, weil Bodenbakterien beständig Mineralstoffe aus dem Muttergestein lösen und organisch aufbereiten.
- Wussten Sie, dass 99% der Atmosphäre von Lebewesen erzeugt wurde? Ein Fünftel der Luft ist Sauerstoff, der per Photosynthese von Pflanzen (auch Algen) ausgeatmet wurde, und vier Fünftel sind Stickstoff, der von Bakterien gereinigt und zur

Verfügung gestellt wurde. Ohne Lebewesen wäre die Atmosphäre der Erde ein Gemisch aus giftigen Gasen und zudem kochend heiß. Auf unserer lebenden Erde waren die Bestandteile der Luft vor kurzem noch Teil lebender Zellen.

Bitte beachten Sie, dass in allen drei obengenannten Punkten Bakterien eine wesentliche Rolle spielen; wir kommen noch auf sie zurück. Der letzte Punkt erwähnt die Oberflächentemperatur, und hier haben wir tatsächlich das Musterbeispiel für die *Selbstregulierung* eines lebenden Planeten.

In dem gigantischen Temperaturspektrum, das im Universum möglich ist – vom absoluten Nullpunkt bis zu Millionen Grad Hitze – ist das Fenster für biologisches Leben äußerst eng: null bis 50°C (mit ein paar Ausnahmen wie thermophilen Bakterien, die bei deutlich höheren Temperaturen in den hydrothermalen Feldern der Tiefsee leben). Da Proteine (Eiweiße) ab 42° gerinnen und Unterkühlung bereits unter 35°C Körpertemperatur einsetzt, haben Menschen und andere Tiere sogar ein noch engeres Fenster. Pflanzen können am besten bei 23°C Photosynthese betreiben, das kommt also als eine optimale Temperatur für das Festland auf den planetarischen Wunschzettel. Und das Ideal für die Ozeane sind 10°C oder etwas darunter, weil dies die effektivste Durchmischung der Oberflächenwasser mit den tieferen Schichten ermöglicht: die *Konvektion* wirbelt Nährstoffe aus den unteren Wasserschichten nach oben und trägt Sauerstoff und CO₂ aus dem oberen Bereich in die Tiefe. Für Meer und Land zusammen ist *die optimale globale Durchschnittstemperatur etwa 15°C. Dies ist die ideale Arbeitstemperatur für den Planeten Erde.*

Als die Erde noch jung war, war ihre eigene Hitze für Lebewesen viel zu hoch. Auch als das magmatische Innere sich abkühlte, blieb die Oberfläche des Planeten aufgrund der Treibhausgase in der Atmosphäre (vorwiegend vulkanisches CO₂) noch lange sehr heiß. Aber über Hunderte von Millionen Jahren hat

die unermüdliche Arbeit (Photosynthese) von Mikroorganismen und Pflanzen die Atmosphäre allmählich verändert – und mit ihr die Temperaturen, bis sie so waren wie heute. Aber das Überraschende ist dies:

Astrophysiker sagen uns, dass *seit das Leben vor 3,8 Mrd. Jahren erschien, der Energieausstoß der Sonne um 25% zugenommen hat*. Wie wir jedoch aus Geologie, Paläontologie und anderen Erdwissenschaften wissen, war das Leben seit seinem Anbeginn

Box 1: Die Wissenschaft von Gaia

Im Jahre 1973 veröffentlichte der britische Wissenschaftler James Lovelock, der seit Jahren für das NASA Mars-Projekt arbeitete, seine erste Studie zum Planeten Erde als komplexen Superorganismus. Die »Gaia-Hypothese« hatte keinen einfachen Start, weil sie verschiedenste Disziplinen wie Biologie, Geologie, Ozeanographie, Paläontologie, Mineralogie, u.v.a. in eine einzige Systemtheorie zusammenführte. In einem Zeitalter, in dem die westliche Wissenschaft äußerst »reduktionistisch« ist, d. h. alles in immer kleinere Teile zerlegt (die Biologie allein hat über dreißig Bereiche), war Lovelocks ganzheitlicher Ansatz, den Planeten Erde zu verstehen, eine gewaltige Provokation – besonders für die Neo-Darwinisten, die u.a. konterten, ein Planet könne sich nicht »entwickeln«, wie es Lebewesen tun.

Dennoch begann mit dem Gaia-Ansatz die Entwicklung der Erdsystemwissenschaft, die heute über dreißig Disziplinen zusammenbringt. Um die Jahrtausendwende reifte die *Gaia-Hypothese* zur *Gaia-Theorie* und ist nun allgemein akzeptiert. Besonders erwähnenswert ist die Bedeutung der Gaia-Prinzipien in der sich rasant entwickelnden Klimawissenschaft. Noch 2012 wurden die Computermodelle der Klimatologen zu recht dafür kritisiert, dass sie die Einflüsse der Biota, insbesondere des Amazonas-Regenwaldes, auf das globale Klima nicht berücksichtigten. ■ Seither hat die Klimatologie (unter dem Druck der Vorboten der Klimazerrüttung) viele der Gaia-Sichtweisen über wechselseitige Erdfunktionskreisläufe übernommen. Die moderne Klimatologie kann man nicht mehr von der Gaia-Perspektive trennen. Das war höchste Zeit, ist aber auch eine Ironie: Es ist wie im Kindergarten: Nur durch Kaputtmachen lernt der Mensch, wie etwas funktioniert.

ununterbrochen gegenwärtig, was bedeutet, dass die Durchschnittstemperatur der Erdoberfläche immer nahe an 15° gelegen hat.

Die Entdeckung in den 1970ern, dass der Planet eine offensichtliche Fähigkeit zur Selbstregulierung der Temperatur hat, führte zu einem neuen Wissenschaftsbereich: der interdisziplinären Erdsystemwissenschaft (*Earth system sciences*). Der lebende Planet wird nun als ein verwobenes Netzwerk aus Ökosystemen gesehen, das innewohnende Fähigkeiten zur Selbstregulierung und Selbsterhaltung hat. Dieses Netzwerk wurde **Gaia** genannt, nach der altgriechischen Urgöttin der Erde. Gaia ist mehr als ein Synonym für die Biosphäre. Gaia ist die Gesamtheit der materiellen Erde und aller ihrer Biota (Lebewesen). Dieses »großartige organische Ganze« ist imstande, die Temperatur und die chemischen und physischen Bedingungen der Erdoberfläche im lebensfreundlichen Bereich zu halten. Dafür arbeiten die vernetzten Lebenssysteme der Ökosphäre; die Energie dafür wird vom Sonnenlicht gespendet. ■

Doch es geht nicht nur um Temperatur. Viele physikalische Eigenschaften des Erdsystems bedürfen eines fein abgestimmten Gleichgewichts:

- Temperaturen, Wetter und Klima weltweit;
- der Salzgehalt der Meere;
- der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre;
- das (chemische) Reduktionspotential, bes. der atmosphärischen Gase;
- die Luftelektrizität;
- der Säuregehalt von Luft, Wasser und Böden;
- die Verfügbarkeit von Wasser auf den Kontinenten;
- die Verteilung der Mineralnährstoffe;
- die Stärke der kosmischen Strahlung.

Das Netzwerk der Ökosysteme und ihrer Lebewesen ist eng verflochten (wie die Organe in unseren Körpern), und der planetarische »Stoffwechsel« von Materie und Energie erhält Gaias aktive Regulierung der obengenannten Faktoren. So ist es kein Wunder, dass Gaia auch *Superorganismus* genannt wurde. In der Wissenschaft ist dieser Begriff für Gaia allerdings umstritten und daher weitgehend wieder verworfen worden, weil nach biologischer Definition ein Organismus fähig sein muss, Nachkommen zu zeugen, so dass sich über Generationen die Art durch Vererbung und Anpassung evolutionär »entwickeln« kann. Es ist natürlich wahr, dass Planeten keine »Nachkommen« haben, aber zweifellos entwickelt sich die Erde eben doch (siehe nächsten Abschnitt).

Für den allgemeinen Sprachgebrauch jedenfalls ist der Begriff schön und praktisch. Gerade so, wie die Zellen unseres Körpers Organe und Gewebe bilden, die zusammenarbeiten und kommunizieren, um den Stoffwechsel des Körpers zu ermöglichen, so bilden die Tiere und Pflanzen Ökosysteme, die zusammenarbeiten und kommunizieren, um den Stoffwechsel der Erde zu ermöglichen. Ameisen- und Bienenstaaten gelten als Superorganismen, der menschliche Körper ist einer, und auch menschliche Gesellschaften sind Superorganismen. Und ebenso Gaia. In all diesen wirken die einzelnen Elemente zusammen und bilden ein Ganzes, das mehr ist als die Summe seiner Teile. Sowohl die Erde als auch unsere Körper werden von Myriaden von Bakterien bewohnt, deren ständige Aktivität dem Organismus das Lebendige ermöglicht.

Und haben indigene Völker nicht schon immer eine organische Sicht der Erde gehabt, Bäche und Flüsse ihre Blutadern genannt, den Wind ihren Atem, die Felsen ihre Knochen? Und genau diese sind *die drei Domänen Gaias: das Meer, die Atmosphäre und das Gestein der Erdkruste.*

Das Meer

Das Leben kommt aus dem Meer. Und das Meer ist immer noch das reichste Ökosystem der Erde und weist die höchste Artenvielfalt auf. Und überall ermöglicht das Wasser es den Lebewesen, zu leben. Wenn sie sich im Sonnenlicht erwärmen, erzeugen die Oberflächenschichten des Meeres riesige Mengen an Wasserdampf, der zu Wolken kondensiert, die schließlich lebensspendenden Regen auf die Kontinente tragen werden (auch wenn der größere Teil wieder ins Meer zurückregnet).

Aber wie feucht die Luft auch sein mag, Wolken säen sich nicht selbst. Es sind die großen Algenfelder, die bestimmte Substanzen freisetzen, die als Kondensationskerne für die Wolkenbildung fungieren. Des weiteren gehören die Meere zu den Hauptakteuren bei der Regulierung des globalen Klimas: Die Ozeane absorbieren atmosphärisches CO₂ und sind der wichtigste Kohlenstoffspeicher der Welt, und die weißen Meereswolken haben eine hohe *Albedo* (Reflektionskraft), die Sonnenenergie wieder ins All zurückschickt und damit den Planeten kühlt (siehe S. 44).



Blossom (4)

Die Luft

Mit all ihren Bestandteilen von Lebewesen selbst erzeugt, ist die Atmosphäre eine perfekte Matrix für den Stoff-Austausch – zwischen Lebewesen ebenso wie zwischen Ökosystemen. Gase, Flüssigkeiten und feste Körper können durch dieses Medium miteinander geteilt und transportiert werden. So können die nicht-maritimen Lebewesen Nahrung finden und ihre Abfallstoffe ausscheiden. Und wie die Rinde eines Baumes beschützen die Schichten der Atmosphäre die lebendige Erde vor schädlichen Strahlen aus dem Weltraum: So absorbiert die Ozonschicht 97–99% der ultravioletten Strahlung. Die Atmosphäre ist eine dynamische, aber empfindliche »Schutzhülle, die vom Leben selbst fortwährend repariert und wiederhergestellt wird«, sagt der australische Ökologe Tim Flannery. ■

Das Gestein

Das Mineralreich gibt dem biologischen Leben ein Fundament, Schutz und Nahrung. Mikroorganismen beschleunigen die Verwitterung von Gesteinen erheblich. Die Zersetzung von Basaltgestein z.B. ereignet sich unter Mitwirkung von Mikroorganismen eintausendmal schneller als unter sterilen Bedingungen. ■ Wir denken gewöhnlich, dass die Gesteine der Erdkruste durch Vulkanismus und andere geologische Kräfte verändert werden, aber 75% der Energie, die weltweit Oberflächengestein verändert, wird von Lebewesen aufgebracht: Pflanzen, Flechten und v.a. Bakterien. Die Auswirkungen ihrer mikroskopischen Arbeit am Gestein sind dreimal größer als die sämtlicher Vulkane der Welt. ■ Mikroben dringen tief in die Gesteinsschichten ein und zersetzen ihre Umgebung mit Hilfe der Säuren, die sie ausscheiden. Manche der so freigesetzten Mineralstoffe werden noch weiter zu organischen Verbindungen umgebaut, die die Pflanzen dann als Nährstoffe aufnehmen können. *So bereiten Mikroorganismen die Grundlage für Mutterboden, eines der großen Kraftwerke des Lebens.*



Quinn (9)

Einige Mineralstoffe werden durch den Regen aus dem Boden gewaschen und finden ihren Weg in den Wasserzyklus, wo sie auch den aquatischen Lebewesen als Nahrung dienen können.

Die Wälder

Die Wälder nehmen eine besondere Stellung ein. Sie gehören nicht zu den abiotischen Ur-Reichen wie die Hydro-, die Atmo- und die Lithosphäre (Meer, Luft und Gestein). Sie sind komplexe Ökosysteme, die Myriaden von Lebewesen einen Lebensraum bieten. Tatsächlich haben Wälder, gleich nach den Ozeanen, die größte Artenvielfalt, die höchsten Umsätze an Biomasse (Blätter, Humus) und den stärksten Einfluss auf regionales und globales Klima. Aber zu Beginn war das Land kahl und öde...

Nachdem das Leben das Meer verlassen hatte, konnten sich die Amphibien nur an den Küsten und entlang der Flussläufe ausbreiten. Damit das Leben die Kontinente besiedeln konnte, bedurfte es einer reichen Wasserversorgung im Binnenland, in jeglicher Entfernung vom Meer. Es war ein Wassertransport landeinwärts nötig. Regenwolken sind ja wundervoll, aber nach

spätestens 600 km haben sie ihre nasse Fracht abgegeben. ■ Wie konnte das Leben weiter landeinwärts vordringen? Die Lösung war eine biologische: die Evolution des Waldes – einer kontinuierlichen Pflanzendecke, die aus möglichst großen Pflanzen (Bäumen) besteht und in engem Wechselspiel mit einer Fülle von Bewohnern reiche ökologische Gemeinschaften wachsen lässt. *Wälder sind verantwortlich für die ursprüngliche Ansammlung von Wasser auf den Kontinenten in der geologischen Vergangenheit und auch für deren stetigen Erhalt seither.*

Die Unterwelt

Die Erdkruste ist eine (mehr oder weniger) feste Schale um das Erdinnere, welches heißer ist und in ständigem Fluss. Die Schicht unter der Kruste wird Erdmantel genannt. Sie besteht aus Silikatgestein, welches weitgehend fest ist; aber in geologischer Zeit verhält es sich wie eine viskose Flüssigkeit. Die Kruste ist geteilt in eine Anzahl von Platten, die sich langsam mit- oder gegeneinander bewegen. Nebeneffekte dieser Plattenbewegungen sind Erdbeben, Vulkangürtel und Bergketten.

In den »konvergenten« Zonen auf dem Meeresboden, in denen eine Platte unter eine andere abtaucht (Subduktion), werden Basalt- und Sedimentschichten in die Erde zurückgeführt. Hier sinken Basaltgesteine in Tiefen von 400 bis 650 Kilometern, wo sie durch Druck (durch das Gewicht der darüberliegenden Gesteine) und Hitze (durch Nuklearprozesse im Erdinneren) umgeschmiedet werden. Und eines Tages werden sie in den »divergenten« Zonen vulkanischer Aktivität wieder als frischer Basalt erscheinen. ■ Wenn sich jedoch eine ozeanische und eine kontinentale Platte treffen, wird die letztere nach oben geschoben (weil kontinentale Platten leichter sind), und es entstehen Gebirge. Am unteren Rand bildet sich neuer kontinentaler Granit. Ohne diesen Prozess würden die Kontinente über mehrere Zehnmillionen Jahre durch Verwitterung vollständig verschwinden.

Bei seiner Entstehung in den divergenten Zonen wird der Meeresboden-Basalt stark mit Wasser durchsetzt. Dadurch ist er später bei der Subduktion überhaupt biegsam genug. Auch die Metamorphose organischer Kalksteinablagerungen schafft ein zusätzliches »Gleitmittel«. Da für diese Prozesse – die eine Voraussetzung dafür sind, Kontinente entstehen zu lassen – große Mengen an Wasser benötigt werden, und weil es ohne das Leben auf der Erde weder Kalksteinablagerungen noch Wasser gäbe, können wir sagen, dass das Leben (zusammen mit der Wärme aus dem Erdinneren) seit jeher zur Entstehung der Kontinente beiträgt. Die kreisförmige Gaia-Dynamik ist: **ohne Leben kein Wasser > ohne Wasser keine Plattentektonik > ohne Plattentektonik kein Leben.** ■

Und indem sie die vulkanische Aktivität und Bildung der Kontinente antreibt, wird durch die Plattentektonik auch Kohlenstoff an die Atmosphäre abgegeben, was verhindert, dass die Erde in einen dauerhaft gefrorenen Zustand eintritt.

Das gesamte Erdsystem einschließlich seiner mächtigen geologischen Prozesse wird zunehmend als den Lebensprozessen innewohnend anerkannt. Der Wissenschaftsjournalist Richard Monastersky schreibt im *New Scientist*: »Es ist nun klar, dass die einzelnen Regionen (Kruste, Mantel und Kern) in ein mehrkanaliges Gespräch verwickelt sind. Über wichtige Grenzlinien und Tausende von Kilometern hinweg haben diese Bereiche tiefgreifende Auswirkungen aufeinander.« Im selben Artikel sagt der Seismologe Don Anderson: »Man muss die Erde als System behandeln; man kann nicht nur einen Teil davon betrachten.« Und die Evolutionsbiologin Elisabet Sahtouris kommt zu dem Schluss, dass »wir die Biosphäre nicht mehr allein als bedeutungsvolle Einheit betrachten können, sondern von der ganzen Erde sprechen müssen, vom innersten Kern bis zu den sie umgebenden Magnetfeldern, als eine systemische Einheit.« ■

Das Salz der Erde

Salze, die durch die Verwitterung von Gesteinen freigesetzt werden, werden von Flüssen transportiert und sammeln sich im Meer an. Die gelösten Mengen sind winzig (daher schmecken wir kein Salz im Süßwasser), es dauert etwa 60 Millionen Jahre, bis die Flüsse der Welt den gesamten Salzgehalt des Weltmeeres transportiert haben. Im Meerwasser variiert der Salzgehalt zwischen 3,1 und 3,8% und beträgt durchschnittlich 3,4% (d.h. 100 Gramm vollständig verdampftes Meerwasser lassen 3,4 Gramm Salz übrig). 90% des Meersalzes sind Natrium (Na^+) und Chlor (Cl^-), andere Elemente sind Sulfat (SO_4^{2-}), Magnesium (Mg^{2+}), Calcium (Ca^{2+}) und Kalium (K^+).

Lebende Zellen kontrollieren ihren inneren Salzgehalt mit komplizierten Ionenpumpen in ihren Membranen. Sie müssen ihren inneren osmotischen Druck in Bezug auf ihre Umgebung und ein inneres elektrisches Potential, das ihre Stoffwechselprozesse begünstigt, aufrechterhalten. Der Salzgehalt der Meere von 3,4% ist einfach perfekt fürs Leben. Die maximale chemische Sättigung von Natrium und Chlor ist zehnmal höher, und wenn der Salzgehalt im Meer 5% übersteigt, würden die Zellmembranen in Stücke gerissen, und nach dem Verschwinden von Plankton würde alles Leben im Meer sterben. Die geologische Analyse der Sedimentgesteine hat gezeigt, dass sich die Salzkonzentrationen in den Ozeanen in den letzten 570 Millionen Jahren nicht verändert haben, und wir wissen durch die Fossilien auch, dass das Leben in den Ozeanen durchgehend anwesend war. Also, wo bleibt das ganze Salz? Was genau regelt den Salzgehalt der Ozeane?

Eine naheliegende Antwort ist die Plattentektonik. Die riesigen Mengen an Wasser, die vom Basalt aufgenommen und in den oberen Bereich des Erdmantels zurückgeschmolzen werden, sind natürlich Salzwasser. Aber alle Versuche, den stetigen Salzgehalt der Ozeane allein »auf der Grundlage von Chemie und

Physik« nachzubilden, sind weltweit gescheitert. ■ Es gibt aber eine andere Dynamik, und wiederum werden wir zu den Lebewesen und zur Bildung von Salzebenen in Lagunen und Meeresbecken geführt. In Lagunen und abgeschlossenen Meeresbecken in wärmeren Regionen verdunstet Meerwasser. Auf diese Weise bilden sich mächtige Salzablagerungen. Dichte Matten einiger Bakterienarten bilden einen organischen Film über dem Salz; so ist es nicht mehr wasserlöslich, und die zurückkehrende Flut kann die Salzablagerung nicht auflösen. Große sogenannte Evaporitvorkommen von Salzgestein (Halit) gibt es in den USA, Kanada, Pakistan und Großbritannien. Darüber hinaus sind Salze auch in den Schalen toter Meerestierchen eingeschlossen und gelangen mit deren Absinken in die Sedimente des Meeresbodens. Und Algen setzen Chlormethan in die Atmosphäre frei (vgl. Schwefelzyklus, S. 31).

Die geringe Größe der Bakterien lässt uns ihre ökologische Bedeutung falsch einschätzen. Zum einen ist da ihre schiere Anzahl: »Ein tausendstel Liter Sedimentschlamm kann bis zu 100 Millionen salzpumpende Bakterien enthalten.« Und zweitens ihre riesige kollektive Oberfläche: Obwohl Bakterien nur 10–40% der Biomasse im Meerwasser ausmachen, »stellen sie aufgrund ihres hohen Oberflächen-Volumen-Verhältnisses 70–90% der biologisch aktiven Oberfläche dar« (Hinkle). Die Mechanismen zur Kontrolle des Salzgehalts im Meer sind jedoch nicht vollständig verstanden; hier ist Raum für weitere Forschungen.



Shanti (8)

2. Ursprünge

Kosmisch

Der Blick auf den Ursprung unseres Planeten im Makrokosmos hilft uns, die Beziehung der Erde zum Universum und ihre Rolle als selbstorganisierende und sich entwickelnde Einheit zu verstehen.

Mit dem Urknall soll vor etwa 15 Milliarden Jahren die Existenz des Universums begonnen haben. Energie und Materie sowie Raum und Zeit erschienen aus dem Nichts (oder aus einer anderen Dimension) in einem Moment der Schöpfung. Nach der Initialzündung kondensierte die Urenergie zu Elektronen, Protonen und Neutronen, und mit weiterer Abkühlung verschmolzen diese Partikel zu Wasserstoffatomen.

Der Urknall produzierte keines der schwereren Elemente. Sie wurden viel später geschmiedet, als Sterne geboren wurden. Deren Schwerkraft begann, Wasserstoffkerne zu Helium zu verschmelzen. Dieser Prozess setzt große Mengen an Energie frei,

teils als sichtbares Licht. Das Universum erstrahlte mit der Brillanz der Sterne, und in den ersten paar Milliarden Jahren entstanden keine anderen Elemente. Aber als die Sterne alterten, wuchsen Druck und Hitze in den größten, und es bildeten sich schwerere Elemente. Kohlenstoffatome entstehen (immer noch), wenn Gruppen von drei Heliumkernen fusionieren. Als die Sterne noch weiter alterten, entstanden aus der Verschmelzung von Kohlenstoff dichtere Elemente wie Natrium, Magnesium, Sauerstoff und Eisen. Nur die größten Sterne schufen noch schwerere Elemente als das Eisen.

Schließlich sterben Sterne, indem sie zuerst zusammenbrechen und dann explodieren. Diese Explosionen (Supernovae) schicken riesige Mengen von Wasserstoff und den anderen frühen Elementen – inzwischen auch Schwefel und Phosphor – in den interstellaren Raum. Einige der elementaren Wolken, die sich aus diesen langsam gebildeten neuen Sternen ergeben, führen zu neuen Supernova-Explosionen und neu synthetisierten Elementen. Vor etwa 4,5 Milliarden Jahren entstand unser Sonnensystem aus dem gravitativen Kollaps einer riesigen interstellaren Molekülwolke. Alles auf der Erde besteht aus Wasserstoffatomen, die so alt wie das Universum sein könnten, und aus schwereren Elementen, die in sterbenden Sternen (oft mehr als einer Generation) geschmiedet wurden. *Felsen, Wasser, Luft, Bäume, Menschen, Vögel, Delfine, Pilze – wir sind alle aus Sternenstaub.*

Planetarisch

Von Anfang an umkreist unser Heimatplanet die Sonne in genau der richtigen Entfernung für gütige Wärme- und Strahlungswerte. Er hat genau die richtige Größe und damit Schwerkraft, um das Weltenmeer und die schützende Atmosphäre zu halten. Die Konfiguration und Größen (Massen) der anderen Planeten im Sonnensystem sind so gut abgestimmt, dass ihre Gravitationskräfte die Erdumlaufbahn um die Sonne stabilisieren; wenn eine

der Massen der anderen Planeten auch nur etwas anders wäre, könnte die Erdumlaufbahn unter enormen Unregelmäßigkeiten leiden.

Noch ein weiterer glücklicher Umstand kam hinzu, als ein marsgroßer Körper gegen die junge Erde schmetterte und unseren Mond von ihr abspaltete. Der Mond ist für die Erde und ihre Lebensvielfalt von entscheidender Bedeutung, denn ohne das zusätzliche Schwerfeld des Mondes würde die Erdachse chaotisch wackeln. Auch unsere Position in der Galaxie ist perfekt abgestimmt: Die Außenbereiche eines der Spiralarme der Galaxie sind sicher vor den lebensfeindlichen Gammastrahlen, die beim Zusammenbruch von Riesensternen im Zentrum der Milchstraße entstehen.

War es reines Glück, dass sich alle richtigen Bedingungen so einstellten, jede von ihnen gegen jede Wahrscheinlichkeit? Wartete die Materie auf die richtigen Bedingungen, um einen sich entwickelnden, selbstregulierenden Planeten mit einer Vielzahl von Lebensformen hervorzubringen? Mit den Worten des Ökologen Stephan Harding: »Die Materie ist bestrebt, sich in die Fülle des Lebenszustandes zu entfalten.« ■

Als die Erde noch jung war, war sie ein ganz anderer Planet als der, den wir heute kennen. Die Ausgasungen der Vulkane führten zu chemischen Reaktionen mit Wasser, in denen der hochreaktive Sauerstoff den Wassermolekülen entrissen wurde. So stiegen die Wasserstoffatome durch die Atmosphäre auf und verließen – da Wasserstoff das leichteste Atom überhaupt ist – das Gravitationsfeld der Erde für immer. Über ein bis zwei Milliarden Jahre hätte die Erde ihr ganzes Wasser verloren – wie ihre Nachbarn Venus und Mars – und wäre unwiderruflich ein toter Planet geworden.

An diesem Punkt begannen Gaias selbstregulierende Kräfte, sich zu zeigen: Das Leben erschien auf der Erde und veränderte die Entwicklung des Planeten. Es entstanden zwei Gruppen von

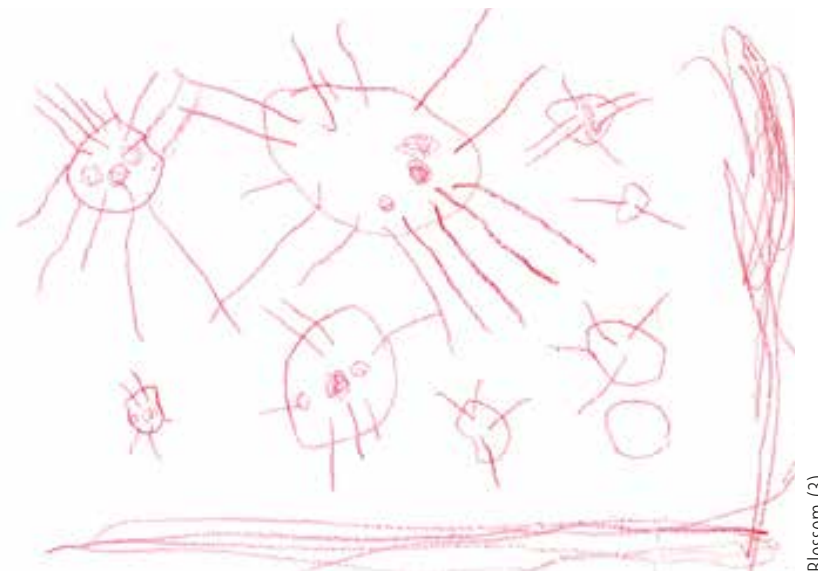
Bakterien, die in der Lage waren, den Wasserstoff der Erde zu binden: Eine Gruppe konnte Energie gewinnen, indem sie Schwefelwasserstoff in der Nähe des Meeresbodens freisetzte. ■ Eine andere Gruppe erfand die Photosynthese, indem sie Sauerstoff aus CO_2 nahm und für die Bildung neuer H_2O -Atome (Wasser) zur Verfügung stellte. ■ So konnte das Wasser der Erde gerettet werden. ■

Als nächstes musste das Meer gereinigt werden. Die frühen Ozeane waren ein giftiges Gebräu, das u.a. hohe Konzentrationen von Metallen wie Eisen, Chrom, Kupfer, Blei und Zink enthielt. Mikroorganismen begannen, Metalle als Katalysatoren zu verwenden, was ihren Stoffwechsel beschleunigte. Wenn sie starben, deponierten ihre Körper winzige Mengen an Metallen auf dem Meeresboden. Auf lange Sicht reinigte dies die Ozeane von den gelösten Metallen und bildete Sedimente mit Metallergablagerungen. Auf ähnliche Weise schufen Mikroorganismen Mineralöl- und Gasreserven (fossile Brennstoffe). ■

Freier Sauerstoff war sehr selten, als die Erde noch jung war; er war nur ein Spurenelement in der Atmosphäre. Photosynthetisierende Bakterien und später ihre Nachfolger, die Algen und Pflanzen, brachten den Sauerstoffgehalt der Luft von nahezu Null auf den heutigen Wert von 21 %. Als sich nennenswerte Mengen von Sauerstoff in der Luft ansammelten, begann ein ganz neues Kapitel der Erdgeschichte. Zuerst oxidierte der rastlose Sauerstoff das Methan, das zuvor die Atmosphäre dominiert hatte. Die Sauerstoffzunahme löste (durch die Freisetzung zuvor seltener Nährstoffe) die Entwicklung von immer komplexeren Landpflanzen aus. Die wiederum erzeugten immer mehr Sauerstoff – besonders bemerkenswert sind die riesigen Wälder der Karbonzeit (vor ca. 360–300 Mio. Jahren). Sobald die Luft mindestens 10 Prozent Sauerstoff enthielt, konnten sich größere Tiere entwickeln.

Durch die riesigen Wälder der Karbonzeit schossen die Sauerstoffproduktion und die Kohlenstoffgewinnung quasi über das

Ziel hinaus: Ein Sauerstoffgehalt von etwa 30% und sinkende CO₂-Werte (aufgrund der Absorption durch die Megaflora) führten zu einer riesigen – durch die Prozesse der Erde selbst erzeugten – Eiszeit. Die erste Abkühlung vergrößerte die Gletscher und polaren Eiskappen, und ihre vermehrte *Albedo* (Reflektion von Sonnenenergie) führte zu positiven Rückkopplungen (siehe Kap. 5), die die Erde weiter abkühlten. Auf dem Höhepunkt dieser Eiszeit ■ war die Welt 10 Grad kälter. Gaia brauchte mehrere zehn Millionen Jahre, um zu einem ausgeglichenen Klima zurückzukehren – und einem Luftsauerstoffgehalt von etwa 21%. So etwas passierte nicht wieder, alle späteren Eiszeiten hatten außerirdische Ursachen (siehe S. 60).



Blossom (3)

3. Die Elemente und Kreisläufe

Die Elemente

Der Blick auf die Grundlagen unseres Planeten im Mikrokosmos hilft uns, die Beziehung der Erde zur Materie und ihre Rolle als selbstorganisierende und sich entwickelnde Einheit zu verstehen.

Biotische (biologische) und *abiotische* (nicht-biologische) Wesen bestehen gleichermaßen aus komplexen Molekülen, die aus den chemischen Elementen des Universums gebildet werden. Die kleinsten Einheiten der chemischen Elemente sind die Atome. (Die Quantenphysik können wir hier ignorieren.) Es ist weithin bekannt, dass Atome vor allem leerer Raum sind (99,99%), und dass diese »Bausteine der Materie« nicht aus Materie bestehen, sondern aus Energie, aus positiver und negativer Ladung. Nach dem gängigen Atommodell haben die meisten Atome von Natur aus nicht den vollen Satz an Elektronen in ihrer Außenbahn. Und sie tun alles, was sie können, um es zu vervollständigen. Das können sie nicht allein, so dass sie miteinander interagieren und

dabei Moleküle und immer komplexere Molekularstrukturen bilden. *So sind schon früh in der Schöpfung die Würfel zugunsten von Kommunikation und Vernetzung gefallen.*

Aristoteles sagte, dass das Universum von zwei mysteriösen Kräften regiert wird – Anziehung und Abstoßung. Das gesamte materielle Universum, die gesamte Physik, Chemie und Biologie wären ohne diesen grundlegenden Tanz der Gegensätze nicht möglich. Und Atome, wie auch Menschen, versuchen ständig, Erfüllung zu finden. Wir müssen sie nicht unbedingt als tote, mechanische Einheiten betrachten; sie haben einige eigentümliche Eigenschaften. Natürlich verhalten sie sich immer exakt gleich, wenn sie auf eine bestimmte physikalische oder chemische Situation treffen. Egal, wo im Universum, sie folgen immer den Gesetzen der Physik (vermutet man zumindest). Aber nichts existiert in völliger Isolation, alles hängt von den Beziehungen zu allem anderen ab. *Und bei Atomen geht es sehr stark um Beziehungen.* Verschiedene Beziehungen offenbaren ihre unterschiedlichen Seiten, die für uns oft erstaunlich und nur dann vorhersehbar sind, wenn man weiß, was kommt.

Nehmen wir zum Beispiel Wasserstoff und Sauerstoff. Wasserstoff ist das Zeug, das die Sonne zum Brennen bringt, mit einer Hitze von 5.500°C an der Oberfläche und Millionen von Grad im Kern. Und Sauerstoff ist ein so gefährliches Reaktionsgas, dass, wenn wir nur 4% mehr davon in der Atmosphäre hätten, die gesamte Erdoberfläche in Flammen aufgehen würde. Und was ist das Ergebnis, wenn diese beiden wilden, ursprünglichen Feuergeister kombiniert werden – zwei Wasserstoff- und ein Sauerstoffatom? Kühles, weiches, lebensspendendes Wasser! Wenn das keine Überraschung ist, was dann?

Es gibt sechs Elemente, die für das Leben essentiell wichtig sind. Es sind Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Phosphor und Schwefel.

Dem **Kohlenstoff** (C) fehlen nicht weniger als vier Elektronen in der äußeren Elektronenhülle, was ihn zu einem »hochkooperativen und intensiv sozialem Wesen« macht, wie der Ökologe Stephan Harding sagt. ■ Kohlenstoff bildet komplexe Strukturen mit Sauerstoff, Stickstoff, Phosphor und anderen Atomen. Daraus bestehen die DNA und Proteine, womit *Kohlenstoff zur chemischen Grundlage des Lebens gehört.* Darüber hinaus verspeisen wir Kohlenhydrate (Zucker, Stärke und Zellulose im Gemüse) und kleiden uns in sie (Baumwolle, Leinen, Hanf). Bäume haben eine Kohlenstoff-Architektur, die Hälfte des Gewichts von getrocknetem Holz ist reiner Kohlenstoff. 18,5% des Gewichts des menschlichen Körpers sind Kohlenstoff.

Kohlenstoff ist in zwei der wichtigsten Treibhausgase enthalten: Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄). Das dritte ist Wasserdampf. Sie beeinflussen das globale Klima, das Pflanzenwachstum und damit die Sauerstoffproduktion.

Wasserstoff (H) ist das kleinste und einfachste Atom, das es gibt; es hat nur ein Elektron. Ein Wasserstoffatom kann sich entweder mit einem zweiten verbinden und ihre Elektronen als Wasserstoffmolekül (H₂) *teilen.* Oder es kann sein einziges Elektron für immer an einen anderen Wasserstoff *abgeben:* dann wird der Spender zu einem positiv geladenen Ion (H⁺), und der Empfänger ein negativ geladenes Ion (H⁻). »Wasserstoff ist ein luftiges, leichtsinniges Wesen, das nichts lieber hätte, als unserem Planeten ganz zu entkommen und zu seinen Ursprüngen im All zurückzukehren« (Harding ■). Die Erde würde ihr ganzes Wasser verlieren, wenn es nicht die unzähligen Lebewesen gäbe, die genügend Sauerstoff liefern, um zu verhindern, dass Wasserstoff entweicht. *Ohne Wasser gäbe es kein Leben – und ohne Leben gäbe es kein Wasser.*

Stickstoff (N) ist sterngeboren und ebenfalls von Anfang an Teil der Erde. Die stabilsten chemischen Beziehungen geht er mit sich selbst ein. Wenn zwei Stickstoffatome verbunden sind, ist es

quasi »für immer«, und es ist viel Energie notwendig, sie wieder zu spalten. Stickstoff (N₂) ist sehr unreaktiv. Wenn der Mensch es spalten will, um Kunstdünger herzustellen, bedarf es einer Temperatur von 500 °C und eines Drucks, der 1000 mal höher ist als der normale Atmosphärendruck. Aber Bodenbakterien erfüllen die gleiche Aufgabe mühelos, bei »Raumtemperatur« und ohne die Gewässer, die Lebenswelt zu verseuchen.

Als Schlüsselement in Proteinen und DNA ist Stickstoff lebenswichtig, vor allem für Tiere: Während Pflanzen im wesentlichen Kohlenstoffstrukturen sind, zeichnen sich Tiere wie wir durch eine Stickstoffarchitektur aus.

78 Prozent der Erdatmosphäre besteht aus Stickstoff.

Sauerstoff (O) ist ein hoch reaktiver Stoff. Weil er sich so vehement mit allem verbindet, war er auch so selten in der Atmosphäre der frühen Erde. Vor über 3,5 Mrd. Jahren begannen Cyanobakterien durch Photosynthese freien Sauerstoff zu produzieren. Das konnte den Sauerstoffverbrauch durch tektonische und vulkanische Aktivität zwar lange Zeit nicht kompensieren, aber schließlich trug die unermüdliche Aktivität der Mikroorganismen Früchte, und der freie Sauerstoff nahm zu.

Unser gesamter Säugetier-Stoffwechsel hängt vom Sauerstoff ab: Er wird als *oxidativer Stoffwechsel* bezeichnet, weil unser Körper die zugeführten Lebensmittel mit Sauerstoff verbrennt und daraus Energie gewinnt. Doch dabei ist Sauerstoff eine ständige Gefahr, denn als Nebeneffekt sind unsere Zellen den toxischen Auswirkungen von freien Sauerstoff-Radikalen ausgesetzt. Von unseren fernen bakteriellen Vorfahren haben wir jedoch eine Reihe von Taktiken geerbt (Antioxidantien), um mit diesen Radikalen umzugehen. Aber der Preis ist hoch: Der oxidative Stress der Zellen gilt als ein Schlüsselfaktor der Alterung. Von Sauerstoff zu leben ist, wie mit dem Feuer zu spielen...

Von allen Elementen steht besonders Sauerstoff mit der Entflammbarkeit in Verbindung. Bei weniger als 15% Sauerstoff in

der Luft würde nichts brennen (aber wir würden es nicht bemerken, weil unser Gehirn sich abgeschaltet hätte), aber bei 25% entzündet sich die reine Luft, und selbst das feuchte Holz und die nassen Blätter eines tropischen Regenwaldes würden verbrennen. ■

Phosphor (P) ist für Lebewesen absolut unentbehrlich. Es wird nicht nur im Aufbau von DNA und RNA sowie für den Energietransport in der Photosynthese benötigt, sondern verbindet sich auch mit Kohlenstoff und Stickstoff zu dem **ATP**-Molekül, das der wichtigste Träger für den Energieaustausch im Körper ist. In der Biosphäre kommt der Phosphor durch Bodenbakterien in Umlauf, die Phosphatgesteine abbauen. Diese Gesteine wurden vor Millionen von Jahren von marinen Mikroorganismen geschaffen und bilden immer noch eine Lebensgrundlage für die gesamte Biosphäre. ■

Schwefel (S) ist ein wesentlicher Bestandteil aller lebenden Zellen. In Pflanzen und Tieren ist Schwefel in bestimmten Aminosäuren und in allen Polypeptiden, Proteinen und Enzymen, die sie enthalten, sowie in Vitaminen und Antioxidantien enthalten. Überraschenderweise ist Schwefel das siebt- oder achthäufigste Element im menschlichen Körper (bezogen auf das Gewicht); ein 70 kg schwerer Mensch beherbergt etwa 140 g Schwefel. Im Stoffwechsel der Erde kommt Schwefel in seiner reinen Form oder als Sulfid- und Sulfatmineral natürlich und reichlich vor.

Viele andere Elemente sind für die Biosphäre entscheidend. Nach den sechs oben beschriebenen Big Playern gibt es drei, die in geringerem Umfang auftreten, aber nicht weniger wichtig für uns und alle Tiere sind:

Calcium (Ca) ist für die Gesundheit der Muskeln, des Kreislaufs und des Verdauungssystems von entscheidender Bedeutung. Es unterstützt die Synthese und Funktion von Blutzellen, reguliert die Muskelkontraktion, die Nervenleitung und die Blutgerinnung.

Das Ca^{2+} -Ion bildet stabile Verbindungen mit vielen organischen Verbindungen, insbesondere Proteinen. Calcium spielt eine besondere Rolle bei der Bildung und Erhaltung von Zähnen und Knochen.

Obwohl Calcium lebenswichtig ist, ist es im freien Ionenzustand hochgiftig. Bereits in den frühen Ozeanen begannen Bakterien und mikroskopische Algen, die gefährlichen Calcium-Ionen in unlösliches Calciumcarbonat (CaCO_3) umzuwandeln, um Schalen für sich selbst herzustellen. Dadurch wurde nicht nur der gefährliche Calciumspiegel in den Zellen auf das Nötigste gesenkt, sondern auch der Schutz des Organismus an der Außenfläche erheblich erhöht. Später übernahmen höhere Tiere (auch Menschenarten) den gleichen Trick der »Zellhygiene«, indem sie das Calcium in Knochen und Zähne einbauten.

Eisen (Fe) ist das zentrale Atom im Häm-Molekül, das im Hämoglobin (dem Sauerstoffträger in unseren roten Blutkörperchen) und anderen Häm-Proteinen vorkommt, die am Transport von Gasen, am Aufbau von Enzymen und am Transfer von Elektronen beteiligt sind. Eisen ist auch in bestimmten Molekülen enthalten, die Cofaktoren genannt werden und die Enzyme bei biochemischen Umwandlungen unterstützen. Im Stoffwechsel von Gaia ist Eisen als Bestandteil verschiedener Gesteine wichtig, zum Beispiel Hämatit (Fe_2O_3) und Magnetit (Fe_3O_4). Überraschenderweise können Lebewesen Magnetit produzieren, winzige Mengen davon finden sich in Bakterien, Insekten, Vögeln, Reptilien, Fischen und Säugetieren, die es für die geomagnetisch unterstützte Navigation verwenden. ■ Magnetit wurde auch in verschiedenen Teilen des menschlichen Gehirns gefunden. ■

Silizium (Si) neigt dazu, lange Ketten mit anderen Siliziumatomen zu bilden und sich mit Sauerstoff zu verbinden, zum Beispiel im Silikat-Ion (SiO_4). Sie verbinden sich wiederum zu Siliziumdioxid (SiO_2), das in den hochgeordneten Spiralstrukturen von Quarzkristallen vorkommt. Quarz ist das zweithäufigste Mineral

in der Erdkruste und gehört zum Granit-Urgestein der Kontinente. Der menschliche Körper benötigt Silizium für die Herstellung von Elastin (ein hochelastisches Protein für die Blutgefäße) und Kollagen (ein Protein für die Geweberegeneration), weswegen Silizium als gesundheitsfördernd für Nägel, Haare, Knochen und Haut bekannt ist.

Die Kreisläufe

Der Kohlenstoffkreislauf

Als die Erde noch jung war, kamen gigantische Mengen von Kohlenstoff durch die Aktivität von Vulkanen und die Verwitterung von vulkanischem Gestein in die Atmosphäre. Die Meere absorbieren einen großen Teil dieses Kohlendioxids (CO_2), und Flüsse tragen weitere Kohlenstoffverbindungen (aus dem Abbau von Gesteinen) zu den Meeren. Der kontinuierliche Kohlenstoffeintrag wird durch Meereslebewesen ausgeglichen, insbesondere Plankton, Algen (wie *Emiliana*, siehe S. 32) und Korallen, die bei ihrem Absterben große Mengen an Calciumcarbonat (CaCO_3 , besser bekannt als Kreide) auf dem Meeresboden ablagern. Dort werden ihre Körper Teil der Bodenschichten, die sich im Laufe der Zeit zu Sedimentgestein verdichten: Kalkstein und Kreidegestein (wie die weißen Klippen von Rügen) sind organisch und stammen von Meereslebewesen.

An Land filtern Bäume und Pflanzen große Mengen an CO_2 aus der Luft, spalten die Moleküle, geben den Sauerstoff frei und nutzen den Kohlenstoff, um Zuckerverbindungen zu bilden. Diese können die aufgenommene Sonnenenergie transportieren und speichern. Die Pflanzen benutzen es für ihre eigenen Körperfunktionen, und wenn sie sterben, teilen sie es mit anderen Lebensformen.