



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Der Naturbegriff im Anthropozän.“

Warum nur eine holistische Form des Naturalismus
mit einem interdisziplinären Konzept vereinbar ist“

verfasst von / submitted by

Andreas Otte

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the
degree of

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2018 / Vienna, 2018

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 445 299

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UniStG
UF Biologie und Umweltkunde UniStG
UF Psychologie und Philosophie UniStG

Betreut von / Supervisor:

ao. Univ.-Prof. Dr. Harald Wilfing

Zusammenfassung

Beim Anthropozän handelt es sich um ein vermeintlich neues geologisches Zeitalter, welches kontroversiell diskutiert wird. Viele Befürworter sehen den Menschen heutzutage sowohl für biologische, ökologische als auch geologische Prozesse als dominierenden Einflussfaktor. Die wichtigsten Anzeichen hierfür betreffen neue, vom Menschen geschaffene Materialien, chemische Spuren wie die Verbreitung von Radionukliden oder biologische Signale, etwa den dramatischen Rückgang der Biodiversität. Das Anthropozän stellt damit ein Konzept dar, das sich nicht ausschließlich auf die Geologie beschränkt. In der Öffentlichkeit wird es daher einerseits von Vertretern unterschiedlicher Disziplinen sowie andererseits auch außerhalb von wissenschaftlichen Gemeinschaften rezipiert. Oftmals werden Debatten rund um verschiedene Aspekte des Anthropozäns oder im Zusammenhang mit Naturschutz in der Folge von Emotionen beherrscht und moralische Urteile gefällt. Grundlagen dieser Wertzuschreibungen sind damit letztlich nicht an wissenschaftliche Erkenntnisse oder einem durchdachten Begriff der Natur angelehnt. Vor allem der zuletzt genannte Aspekt wird von den Verfechtern des Anthropozäns gänzlich vernachlässigt. Die Formulierung eines neuen Zeitalters unterstützt hierdurch ein Naturverständnis, das die menschliche Spezies als zerstörerischen Gegenspieler zur schützenswerten Natur auffasst.

Die vorliegende Arbeit prüft, ob eine solche Naturauffassung mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen der unterschiedlichen Disziplinen, welche vom Konzept des Anthropozäns berührt werden, vereinbar ist und sich in eine stringente, naturphilosophische Anschauung einbetten lässt. Die hierfür herangezogenen Beiträge entstammen der Biologie, Geologie, Ökologie, Philosophie sowie Systemtheorie. Für ein interdisziplinäres Konzept werden sie synergetisch in die Argumentation eingearbeitet.

Der Aufbau des Erdsystems weist komplexe Wechselwirkungen der konstituierenden Teilsysteme einschließlich deren Komponenten auf, zu denen der Mensch als Bestandteil der Biosphäre hinzuzuzählen ist. Wie die Erdgeschichte zeigt, war der Planet immer schon durch Dynamik geprägt und nicht auf einen bestimmten Zustand ausgerichtet. Insbesondere die Entstehung beziehungsweise Entwicklung des Lebens führte zu zahlreichen Wandlungen der Erde in vielen Facetten, welche wiederum selektiv rückwirkten. Die Biosphäre trägt somit selbst zu den eigenen Daseins- und

Entwicklungsbedingungen bei. Die menschliche Einflussnahme ist daher eine Folge der Evolution und beschränkt sich in diesem Zusammenhang allein auf die Oberfläche des Planeten, sie vermag es aber nicht ihn zu zerstören. Seine Tätigkeiten lassen sich hierbei als Ausdruck von Nischenkonstruktion verstehen, zu welcher Kultur als besondere Anpassungsleistung einen wesentlichen Beitrag leistet. Die in geologischer Hinsicht raschen Veränderungen im diskutierten Anthropozän sind auf Rückkopplungsmechanismen in der menschlichen, kulturellen Evolution zurückzuführen, welche die Fähigkeit Nischen zu konstruieren noch weiter ausbaute. Der Mensch ist somit ein Produkt der Evolution und Bestandteil von Natur, welche unter Berücksichtigung dieser Aspekte nur als allumfassend interpretiert werden kann. Alle Lebewesen ergeben sich dieser Ansicht nach aus dem Zusammenspiel von Energie, Stoff sowie Information und lassen sich nur als integrierte Einheiten auffassen. Hieraus ergeben sich anthropische Rahmenbedingungen, die im Zuge von Erkenntnisgewinn oder Wertzuschreibungen unbedingt zu berücksichtigen sind. Am Ende dieser Arbeit ist nur eine holistische Form des Naturalismus mit den dargelegten Erkenntnissen rund um das Anthropozän vereinbar.

Abstract

The Anthropocene is a supposedly new geological age, which is controversially discussed. Many proponents today see humans as the dominating factor influencing biological, ecological and geological processes. The most important signs of this are new man-made materials, chemical traces such as the spread of radionuclides, or biological signals as for instance the dramatic decline in biodiversity. The Anthropocene thus represents a concept that is not limited exclusively to geology. In the public eye it is therefore received by representatives of various disciplines on the one hand and outside scientific communities on the other. Debates about different aspects of the Anthropocene or in connection with nature conservation are consequently dominated by emotions and moral judgements are made. The attribution of these values is thus not based on scientific findings or a well thought-out concept of nature. Above all, the latter aspect is completely neglected by the advocates of the Anthropocene. As a result the formulation of this new geological age supports an understanding of nature that sees the human species as a destructive counterpart to nature worth protecting.

The present study examines whether such an understanding of nature is compatible with the scientific findings of the various disciplines affected by the concept of the Anthropocene and whether it can be embedded in a stringent natural philosophical view. The contributions used for this purpose come from biology, geology, ecology, philosophy and systems theory. For an interdisciplinary concept, they are integrated synergistically into the argumentation.

The structure of the Earth system shows complex interactions of the constituent subsystems including their components, to which humans are to be added as an inherent part of the biosphere. As the Earth's history shows, the planet has always been characterized by dynamics and is not aligned to a particular state. Especially the emergence and development of life led to numerous changes in the Earth system in many facets, which in turn had a selective effect. The biosphere thus contributes to its own conditions of existence and development. Human influence is therefore a consequence of evolution. Furthermore it is limited to the surface of the planet, which means the Earth cannot be destroyed by manpower. Human activities can be understood here as an expression of niche construction, to which culture makes an essential contribution as a

special form of adaption. The geologically seen rapid changes in the discussed Anthropocene are due to feedback mechanisms in human cultural evolution, which further expended the ability to construct niches. The human being is thus a product of evolution and a component of nature, which can only be interpreted as all-encompassing in consideration of these aspects. In this view, all living beings result from the interplay of energy, matter and information and can only be understood as integrated units. This gives rise to anthropic framework conditions that must be taken into account when gaining knowledge or attributing values. At the end of this work, only a holistic form of naturalism is compatible with the findings of the Anthropocene.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	VII
Einleitung	1
1) Charakteristika des Anthropozäns	3
1.1 Signale des Anthropozäns	3
1.2 Zeitliche Platzierung des Anthropozäns	5
1.3 Implikationen und Wertungen	10
1.4 Zusammenfassung	16
2) Beitrag der Erdwissenschaften und Systemtheorie	17
2.1 Wärmekraftmaschinen	17
2.2 Geosysteme	18
2.3 Das Klimasystem	22
2.4 Die Dynamik der Klimakomponenten	25
2.5 Erdbahn- und Orbitalparameter	27
2.6 Komplexität und Nichtlinearität in der Systemtheorie	30
2.7 Gleichgewicht, Prognosen und Projektionen	33
3) Erdgeschichte und Leben	40
3.1 Methoden der historischen Geologie	40
3.2 Die geologische Zeitskala und Massenaussterben	44
3.3 Das Quartär	50
3.4 Der Einfluss der Biosphäre auf das Klimasystem	53
3.4.1 Gesteine und Minerale	54
3.4.2 Die Atmosphäre	58
3.4.3 Stoffwechsel	61
3.4.4 Der Kohlenstoffkreislauf	63
3.4.5 Anthropogener Beitrag im Kohlenstoffkreislauf	69

3.4.6 Methan.....	70
4) Die Biosphäre, lebende Systeme und Natur	74
4.1 Die Interdependenz von Systembestandteilen und Nischenkonstruktion	74
4.2 Information und Individualität lebender Systeme	78
4.3 Informationsspeicher und -übertragung von lebenden Systemen	81
4.4 Die Fähigkeit zu Kultur beim Menschen und moralische Urteile	86
4.5 Was Natur ist.....	91
Schluss	96
Literaturverzeichnis	99
Abbildungsverzeichnis	102
Tabellenverzeichnis	104

Abkürzungsverzeichnis

Ar.....	Argon
ATP.....	Adenosintriphosphat
BCM.....	biologically controlled mineralization / biologisch kontrollierte Mineralisation
BIM.....	biologically induced mineralization / biologisch induzierte Mineralisation
Ca^{2+}	Calcium-Ion
CaCO_3	Calciumcarbonat
CH_3COOH	Essigsäure
CH_4	Methan
CO_2	Kohlenstoffdioxid / Kohlendioxid
CO_3^{2-}	Carbonat-Ion
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	Zucker
DNA.....	Desoxyribonucleinsäure
FCKW.....	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
Fe^{2+}	Eisen (zweiwertig)
Fe^{3+}	Eisen (dreiwertig)
GSSA.....	Global Standard Stratigraphic Age
GSSP.....	Global Boundary Stratotype Section and Point
HCO_3^-	Hydrogencarbonat-Ion
H_2O	Wasser
H_2CO_3	Kohlensäure
H^+	Wasserstoff-Ion
IPCC.....	Intergovernmental Panel on Climate Change / Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen
N_2	Stickstoff
O_2	Sauerstoff
O_3	Ozon

PAR.....	Predictive Adaptive Response
POP.....	persistent organic pollutants / persistente organische Schadstoffe
SO ₂	Schwefeldioxid
² H.....	Deuterium (Wasserstoffisotop)
¹⁰ Be.....	Beryllium (Isotop)
¹⁴ C.....	Kohlenstoff-14 (Isotop)
¹⁶ O.....	Sauerstoff-16 (Isotop)
¹⁸ O.....	Sauerstoff-18 (Isotop)
⁴⁰ K.....	Kalium-40 (Isotop)
⁸⁷ Rb.....	Rubidium-87 (Isotop)
²³⁸ U.....	Uran-238 (Isotop)
(aq).....	aqua / in Wasser gelöst
(l).....	liquid / flüssig (Aggregatzustand)
(s).....	solid / fest (Aggregatzustand)

Einleitung

Gegenwärtig beherrscht ein Begriff eine ebenso kontroversiell wie interdisziplinär geführte Debatte, die sich in Lehrbüchern, populärwissenschaftlicher Lektüre, Zeitungen oder den neuen Medien niederschlägt. Phänomene wie der Klimawandel, der Rückgang von Biodiversität, Verbreitung von Plastik, Umweltverschmutzung, Ressourcenerschöpfung beziehungsweise die Spuren des Menschen im Allgemeinen werden als Merkmale des sogenannten Anthropozäns interpretiert. Es handelt sich um eine zur Diskussion stehende, geologische Einheit, welche dem heutigen Zustand der Erde in adäquater Weise gerecht werden soll.

In der Öffentlichkeit wird das Anthropozän jedoch nicht nur von Geologen rezipiert. Kaum jemand hat keine Meinung zu einem „Zeitalter des Menschen“, das betrifft sowohl die Vertreter unterschiedlicher Disziplinen der Wissenschaft als auch Personen außerhalb von wissenschaftlichen Gemeinschaften. Das Resultat ist eine teils diffuse Kontroverse, die auch als Popkultur bezeichnet wird¹ und welcher vor allem eines fehlt, nämlich eine allgemeine Definition. So ist das Anthropozän bisher keine anerkannte geologische Einheit und die Sinnhaftigkeit eines solchen Beschlusses darf auch bezweifelt werden, da es sich hier nicht um ein ausschließlich geologisches Konzept handelt.² Die zahlreichen Beiträge wirken weniger synergetisch als vielmehr widersprüchlich und zuhauf weisen sie Wertungskeile oder Fehlinterpretationen sowie zudem falsche Informationen auf. Mit erschreckenden Szenarien sowie vereinfachten und dramatischen Stellungnahmen wird von vielen Seiten versucht die Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen in dieser unübersichtlichen Debatte.³

Den Beteiligten – insbesondere jenen außerhalb wissenschaftlicher Gemeinschaften – muss allerdings eine fachlich fundierte Orientierung geboten werden, damit im Zusammenhang mit globalen Problemstellungen nicht ausschließlich Emotionen die Debatte beherrschen. Damit unweigerlich verbunden ist ein entsprechend vereinbar Naturbegriff, welcher der Komplexität des Themas gerecht werden muss. Eine Reduktion der Materie in Form der banalen Gegenüberstellung von guter, schützenswerter Natur auf

¹ Vgl. Michael Wagreich in VO+KO Neuere deutsche Literatur: Anthropozän WS17 Universität Wien.

² Vgl. Waters et.al. 2016, 8.

³ Vgl. Behringer 2014, 14. Der Klimawandel kann diesem Zusammenhang der Debatte rund um das Anthropozän zugerechnet werden.

der einen Seite sowie bösem, zerstörerischem Menschen auf der anderen Seite lässt sich weder mit wissenschaftlichen Erkenntnissen vereinbaren noch führt sie zu angemessenen, moralischen Urteilen.

Im Rahmen meiner Arbeit möchte ich daher einen groben Überblick über die wesentlichen Aspekte des Anthropozäns vollziehen, der sich aus geologischen, biologischen, ökologischen und philosophischen Beiträgen speist und am Ende zu einem damit vereinbaren Naturbegriff gelangen. Angesichts der Interdisziplinarität und Vielfalt der Beiträge im Zusammenhang mit dem vermeintlich neuen Zeitalter, erscheint die hermeneutische Methode äußerst angebracht. Mein Anliegen ist es, das Anthropozän aus verschiedenen Blickwinkeln zu beleuchten und die Thematik systematisch aufzurollen. Die verschiedenen Erkenntnisse aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen sollen hierbei vereint werden ohne einander zu widersprechen. Sie alle müssen letztlich einer adäquaten, naturphilosophischen Argumentation subsummiert werden können. In diesem Kontext werde ich mich für einen holistischen Naturalismus aussprechen.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich also wie folgt:

- 1)** Zunächst werden zentrale Charakteristika und zeitlich verschiedene Ansatzpunkte des Anthropozäns beleuchtet wie sie in der Debatte angeführt werden.
- 2)** Anschließend soll dieser Einführung mit Fakten aus den Erdwissenschaften begegnet werden: Die Einteilung des Erdsystems und die Wechselwirkungen ihrer Subsysteme werden beleuchtet. Die Darlegung systemtheoretischer Grundprinzipien erweitert schließlich den Zugang zu verschiedenen Begriffen der Debatte.
- 3)** Danach werden die aufgebrachten Charakteristika der Anthropozän-Debatte in den Kontext der Erdgeschichte gebracht und geologische Einheiten sowie Methoden zu deren Erhebung vorgestellt, wobei eine Hervorhebung der Rolle des Lebens für die Wandlung der Erde in vielen Facetten erfolgt. Dabei werden auch biogeochemische Kreisläufe dargestellt.
- 4)** Die Biosphäre wird stufenweise auf niedrigeren Ebenen betrachtet und ökologische Begriffe, systemische Betrachtungen sowie philosophische Konzepte finden Einzug. Am Ende wird der Mensch und insbesondere seine zivilisatorischen wie auch technischen Errungenschaften innerhalb eines allumfassenden Naturbegriffes dargestellt.

1) Charakteristika des Anthropozäns

1.1 Signale des Anthropozäns

Wenngleich die Ausmaße der Debatte rund um das Anthropozän gewaltig sind, ein Aspekt taucht hierbei immer wieder auf: Der Mensch als Spezies beeinflusst zunehmend den Lauf der Natur.⁴ Auch Paul Crutzen, jener Wissenschaftler der 2002 als erstes den Begriff des Anthropozäns aufbrachte, untermalte diese vermeintlich neue, geologische Epoche mit einer Gegenüberstellung von anthropogenen Einflüssen und natürlichem Verhalten.⁵ Es sind hierbei verschiedene Wortlaute, die letztlich eine zentrale Entwicklung beschreiben sollen, nämlich, dass Erdgeschichte stetig mehr in Menschheitsgeschichte gewandelt wird.⁶ Darüber hinaus soll es sich nach Aussagen einiger Autoren um ein erdgeschichtlich einzigartiges Phänomen handeln, das allein der Mensch zu verantworten hat.⁷ Andere wiederum postulieren eine Verhältnisumkehr, wonach der Mensch nun die gesamte Natur prägt und nicht anders herum, was schließlich zum Kippen eines „ökologischen Gleichgewichts“ führen kann.⁸ Zuhaut gipfelt die Diskussion in katastrophalen Prognosen für das bevorstehende Jahrhundert oder überzogene Metaphern werden herangezogen, etwa ein gerichtlicher Prozess in dem der Mensch angeklagt wird, weil er unersättlich die Früchte der Erde raubt und dieser dadurch Verletzungen zufüge.⁹ Möglicherweise handelt es sich hier um das Ergebnis einer Interdisziplinarität, innerhalb derer einzelne Disziplinen ihren Kompetenzbereich übertreten, um generelle Kritik an Gesellschaft und Politik zu formulieren. Daraus kann vorerst Folgendes entnommen werden:

Der Einfluss des Menschen auf das System Erde hat in hohem Ausmaß zugenommen.

Die Formulierung ist absichtlich wertfrei und ohne zeitlicher Referenz gewählt, da ich darauf noch eigens zurückkomme. Zu beachten ist in jedem Fall, dass die genannte Einflussnahme unter der menschlichen Erdbevölkerung nicht gleich verteilt ist, da die

⁴ Vgl. Faupl 2008, 48. Auf den Begriff der Natur und die Beziehung Mensch-Natur komme ich in den späteren Kapiteln zurück.

⁵ Vgl. Crutzen 2002, 23.

⁶ Vgl. hierzu etwa Renn et.al. 2017, 160 oder Oschmann 2016, 361.

⁷ Vgl. hierzu etwa Renn et.al. 2017, 69 oder Reinkemeier 2014, 81.

⁸ Vgl. Ehlers 2008, 9 bzw. Renn et.al. 2017 224 und Behringer 2014, 276. Die Naturzerstörung ist in diesem Zusammenhang auch ein Vorwurf, der in der Literatur immer wieder vorkommt, genauso wie „Vergeltung“ durch die Natur Vgl. etwa Ehlers 2008, 10f, 165ff. oder Gorke 1999, 15. Auf ökologische Gleichgewichte wird weiter unten nochmals eingegangen.

⁹ Vgl. Renn et.al. 2017, 236.

Menschheit nicht als einheitliches Kollektiv agiert. Außerdem handelt es sich um globale Veränderungen – deshalb auch der Terminus Erdsystem – welche wiederum lokale Varietät aufweisen.

Betrachten wir nun konkret, in welcher Hinsicht der Mensch zu einem Wandel der Erde beiträgt. Nach Waters et.al. umschreibt das Anthropozän geologische, ökologische, soziologische und anthropologische Veränderungen in der kürzeren Erdgeschichte, wobei im Rahmen dieser Arbeit die beiden erst genannten fokussiert werden.¹⁰ Michael Wagreich führt als die drei wichtigsten Signale für das Anthropozän folgende Bereiche an: neue, durch den Menschen geschaffene Materialien; chemische Signale; biologische Signale.¹¹ Je nach wissenschaftlichem Schwerpunkt und Zwecksetzung hinsichtlich des Anthropozäns findet man in der Literatur jedoch verschiedene Merkmale mit unterschiedlicher Wichtigkeit für dieses Zeitalter. Im Folgenden wird daher versucht, eine Übersicht zu veranschaulichen.¹²

- Anthropogene Materialien
 - Aluminium, Plastik, Beton, Partikel aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe, Technofossilien¹³ etc.
- Chemische Spuren
 - Veränderung des Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorkreislaufs, Klimawandel durch Anreicherung von Treibhausgasen und Aerosolen in der Atmosphäre, Versauerung der Ozeane und Meeresspiegelanstieg, Verbreitung von Radionukliden durch Atombomben(-tests) und Reaktorunfälle, Verbreitung von Schwermetallen und persistenten organischen Schadstoffen (POP), Verändertes Verhältnis von Kohlenstoffisotopen als Resultat der Verbrennung fossiler Rohstoffe

¹⁰ Vgl. Waters et.al. 2016, 1.

¹¹ Vgl. VO+KO Neuere deutsche Literatur: Anthropozän WS17 Universität Wien.

¹² Vgl. Waters et.al. 2016, 1; Grotzinger et.al. 2017, 665; Renn et.al. 2017, 172ff.; Weber 2018, 236; Kadereit et.al. 2014, 805.

¹³ Gemeint sind Magnetbänder, CDs, Mobiltelefone, etc. (Vgl. Renn et.al. 2017, 172).

- Biologische Spuren
 - Rückgang der Biodiversität, Arteninvasionen, Domestikation, Bodenversiegelnde Anthroposphäre¹⁴ und Landwirtschaft verbunden mit der breiten Umgestaltung von Ökosystemen

Zusätzlich können zumindest drei große, treibende Kräfte für diese anthropogenen Veränderungen des Erdsystems angeführt werden:¹⁵

- Beschleunigter, technologischer Fortschritt
- Rasche Vergrößerung der menschlichen Bevölkerung
- Erhöhte Konsumption von Ressourcen.

1.2 Zeitliche Platzierung des Anthropozäns

An dieser Stelle kann also festgehalten werden, dass die hinterlassenen Spuren der Menschheit sehr vielseitig sind und gleichzeitig mit hoher Geschwindigkeit auftreten, wenn man sie in erdgeschichtliche Verhältnisse setzt. So veranschaulichen Grotzinger et.al. den langen Zeitraum der Erdgeschichte von 4,56 Milliarden Jahren in Form eines Kalenderjahres, das mit der Entstehung der Erde am ersten Jänner beginnt:

„[...] Der moderne Mensch, Homo sapiens, erschien an Silvester um 23.42 Uhr auf der Bildfläche, und die letzte Eiszeit endete am 31. Dezember um 23.58 Uhr. Dreieinhalb Sekunden vor Mitternacht landete Kolumbus auf einer der Westindischen Inseln. Und vor wenigen Zehntelsekunden erblickten Sie, liebe Leserin, lieber Leser, das Licht der Welt!“¹⁶

Das ist der Grund, warum es sich bei den hinterlassenen Spuren des Menschen im stratigraphischen Sinne nur um eine sehr dünne Schicht handeln kann. Nichtsdestotrotz wird der Mensch im Rahmen der Debatte als geologischer Faktor gesehen beziehungsweise agiert unsere Zivilisation demnach als globales Geosystem.¹⁷ Während die einen davon überzeugt sind, dass *„die Hinterlassenschaften des modernen Menschen auch noch nach Hunderttausenden von Jahren nachgewiesen werden könnten“¹⁸*, ziehen

¹⁴ Siedlungen, Verkehrsflächen, Industrieflächen, etc. (Vgl. Kadereit et.al. 2014, 805).

¹⁵ Vgl. Waters et.al. 2016, 3.

¹⁶ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 210. Der Begriff Eiszeit wird genau genommen falsch verwendet, da sich die Erde auch heute noch in einer Eiszeit befindet.

¹⁷ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 645 und Oschmann 2016, 361.

¹⁸ Weber 2018, 237.

andere gerade diesen Umstand als Kritikpunkt heran, da die Tauglichkeit neuzeitlicher Marker für die Kennzeichnung des Beginns einer neuen Epoche erst in tausenden von Jahren festzustellen sei.¹⁹ In diesem Streitpunkt spiegelt sich nochmals das Verhältnis der äußerst langen Erdgeschichte zur kurzen Menschheitsgeschichte wider, innerhalb derer diese Veränderungen stattfinden, denn eigentlich wurden die meisten phanerozoischen Zeitintervalle über die erste oder letzte Erscheinung von Schlüsselfossilien definiert.²⁰ In Bezug auf das Anthropozän jedoch eignet sich diese Vorgehensweise nicht, da das Bodensediment seit jenem vergrößerten Einfluss des Menschen in zu geringem Ausmaß gewachsen ist und Extinktionsraten global gesehen zu langsam wie auch ungleich verteilt sind.²¹ Stattdessen müsste auf andere materielle Referenzpunkte zurückgegriffen werden, die durch Eisbohrkerne, die Radiokarbonmethode oder Ähnlichem ermittelt werden.²² Einhergehend mit der Problematik, ob eine neue geologische Epoche zurzeit überhaupt schon festgestellt werden kann, sind sich die Vertreter des Anthropozäns zudem nicht über den Startpunkt desselben einig. So werden in der Literatur bis zu vier Möglichkeiten mit unterschiedlichen Begründungen hierfür diskutiert:²³

- Neolithische Revolution (mind. 10 000 v. Chr.)

Hierbei handelt es sich um den Übergang von Jäger-und-Sammler-Kulturen zu einer sesshaften Lebensweise des Menschen. Charakteristisch für diesen Übergang ist die „Erfindung“ der Landwirtschaft, die beginnende Domestikation von Tieren und Pflanzen, extensive Entwaldung und parallel dazu eine beginnende Zunahme an Kohlendioxid sowie Methan in der Atmosphäre.

¹⁹ Vgl. Welsch et.al. 2017, 279.

²⁰ Vgl. Waters et.al. 2016, 7.

²¹ Dies ändert allerdings nichts an der Tatsache, dass die Aussterberate derzeit dramatisch steigt – gemessen an einer durchschnittlichen Hintergrundausterberate von 0,01 – 0,001 Prozent aller Arten pro Jahrhundert (im erdgeschichtlichen Verlauf) im Vergleich zu einem Prozent heute. Manche Autoren sprechen dem Verlust an Biodiversität eine größere Bedeutung zu als dem Klimawandel, da hierdurch etwa Lebensräume und Nahrungsgrundlagen – auch jeweils menschliche – nicht länger stabilisiert werden könnten (Vgl. Welsch et.al. 2017, 283f. und Oschmann 2016, 362).

²² Gemeint sind etwa Luftteinschlüsse und Feststoffe vergangener Zeiten oder eben die bereits erwähnten Radionuklide, vor allem seit der Erfindung der Atombombe. Im späteren Kapitel wird noch näher auf geologische Datierungsmethoden eingegangen.

²³ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 673; Waters et.al. 2016, 1f.; Renn et.al. 2017, 166f. Manche Autoren führen in diesem Kontext auch die Aussterbewelle der Megafauna am Ende der letzten Kaltzeit (Glazial) im Pleistozän an, welche der Neolithischen Revolution und damit dem Holozän unmittelbar vorausging. Da der Mensch jedoch nicht als alleiniger Grund für dieses Aussterben gesehen werden kann – der Klimawandel von einer Kaltzeit zu einer Warmzeit kann nicht vernachlässigt werden –, wird diese Möglichkeit nicht weiter berücksichtigt.

- Kolumbianischer Austausch (ca. 16. Jahrhundert)

Der Ausdruck umschreibt den Austausch der westlichen und östlichen Hemisphäre hinsichtlich Flora und Fauna mit der Entdeckung Amerikas. Wiederum kommt es hierdurch zu einem drastischen Wandel in der Lebensweise zahlreicher Gesellschaften, nicht nur im Zuge der Kolonisation. Außerdem werden indigene Bevölkerungen durch die Verbreitung von Krankheiten und Krieg dramatisch dezimiert, wenn nicht ausgerottet. Verbunden damit ist die Ausbreitung des europäischen Lebensstils und ihrer Wirtschaftsform.

- Industrielle Revolution (ca. 18. Jahrhundert)

Mit der Erfindung der Dampfmaschine gewinnt Kohle eine neue, wirtschaftliche Bedeutung. Technik und Produktivität erleben einen Aufschwung, der auch zu einem starken Bevölkerungswachstum führt. Wirtschaft und Lebensart erfahren nachhaltige Veränderungen. Der Kohlendioxidanteil in der Atmosphäre nimmt schnell zu und Städte beginnen rasant zu wachsen.

- Great Acceleration (ca. Mitte des 20. Jahrhunderts)

Dieser jüngste, mögliche Startpunkt berücksichtigt das exponentielle Wachstum der menschlichen Bevölkerung, die Herstellung und den breiten Einsatz von Kunstdünger, die nochmalige Steigerung hinsichtlich der Verwendung fossiler Brennstoffe sowie den beschleunigten Rückgang der Biodiversität. Die Auswirkungen auf das Erdsystem sind mit der Great Acceleration zwar zumeist nicht neu, aber sie erfolgen in dramatisch gesteigertem Ausmaß. Eine wesentliche Ausnahme stellt hierbei jedoch die Verbreitung von Radionukliden dar, welche auch einigermaßen synchron erfolgte. Aus diesem Grund führen manche Autoren den sogenannten Trinity-Test als Startpunkt für das Anthropozän an. Hierbei handelt es sich um die erste Detonation einer Atombombe am 16. Juni 1945 in New Mexico.

Um einen vorläufigen Eindruck von geologischen Einheiten in diesem Zusammenhang zu bekommen, soll die nachfolgende Grafik als Veranschaulichung dienen.²⁴ Zu sehen sind die möglichen Ansatzpunkte für das Anthropozän, die sich allesamt innerhalb des

²⁴ Vgl. Vorlesungsunterlagen Michael Wagreich in VO+KO Neuere deutsche Literatur: Anthropozän WS17 Universität Wien

Holozäns – dem derzeit anerkannten Erdabschnitt, der sich bis heute erstreckt – befinden. So erkennt man einerseits, wie knapp beieinander die jeweiligen Punkte liegen, was abermals auf eine sehr rasche Entwicklung hindeutet. Andererseits zeigt diese Grafik, dass ein Festlegen des Beginns des Anthropozäns auf die Neolithische Revolution das gesamte Holozän umwidmen würde. Manche Forscher sprechen sich daher dafür aus, dass ein neues, menschliches Zeitalter lediglich eine Stufe innerhalb des bereits anerkannten Holozäns darstellt.²⁵ Auch Vertreter der Anthropozän-Hypothese selbst bleiben schließlich vorsichtig was die Ausrufung einer neuen Epoche anbelangt, da ein „Zeitalter des Menschen“ Implikationen mit sich bringt, welche die geologische Gemeinschaft weit überschreiten. Dieser Umstand würde auf keine andere Einheit der geologischen Skala zutreffen, sodass damit erst recht wieder ein neuer Streitpunkt erreicht ist.

²⁵ Vgl. Weber 2018, 239.

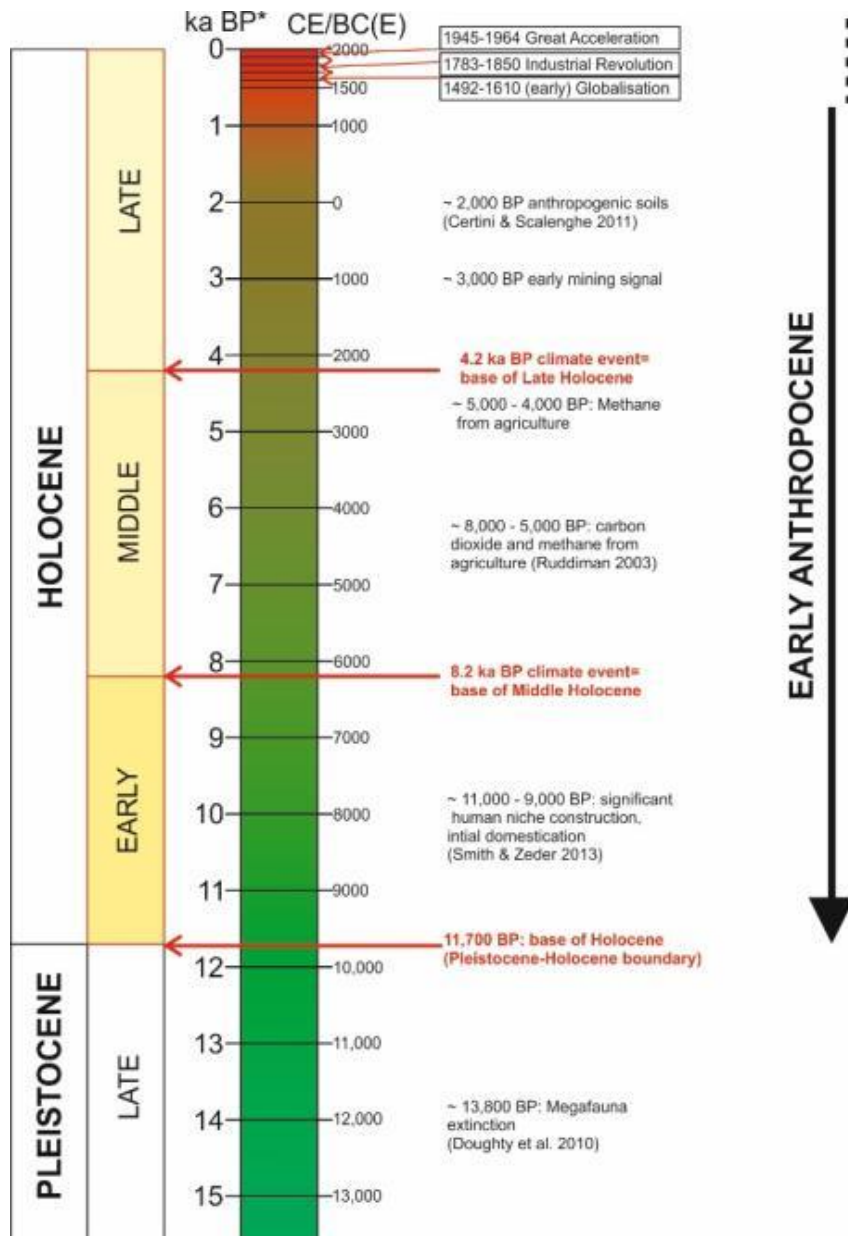


Abbildung 1 Verschiedene Ansatzpunkte für das Anthropozän und damit verbundene, wichtige Ereignisse (aus den Vorlesungsunterlagen von Michael Wagreich in VO+KO Neuere deutsche Literatur: Anthropozän WS17 Universität Wien).

Die vorliegende Arbeit verfolgt jedenfalls nicht das Ziel, eine Lösung für die Debatte zu finden. Stattdessen möchte ich an dieser Stelle auf ein Stufenmodell verweisen, das Behringer im Hinblick auf die diskutierten Startpunkte des Anthropozäns aufbringt.²⁶ Ein solches Modell würde alle vier Ansätze vereinen und zugleich den zunehmenden Einfluss des Menschen auf das Erdsystem zeigen, unabhängig von der Ausrufung einer neuen

²⁶ Vgl. Behringer 2014, 280.

Zeiteinheit. Wenn man noch einmal die vorhergehende Grafik betrachtet und dabei die weiter zurückliegende Entwicklung des modernen Menschen²⁷ berücksichtigt, dann muss man feststellen, dass jener zunehmende Einfluss keineswegs stetig erfolgte, sondern sprunghaft. Ich selbst favorisiere diesen Ansatz darüber hinaus, weil er keinen so starken Kontrast zwischen Natürlichem und vermeintlich Unnatürlichem schafft, sondern Wechselwirkungen betont, die in relativ kurzer Zeit relativ große Veränderungen hervorrufen können. Als ein kleines Zwischenresümee aus den diskutierten Aspekten zum Konzept des Anthropozäns lässt sich nun Folgendes ziehen:

Der Einfluss des Menschen auf das System Erde hat erdgeschichtlich gesehen sprunghaft zugenommen.

Da sowohl Sinnhaftigkeit, Startpunkt und Nachhaltigkeit der anthropogenen Spuren derzeit nicht restlos geklärt sind, lasse ich das Anthropozän weiterhin außen vor.

1.3 Implikationen und Wertungen

Nun soll ein letzter sowie ganz und gar charakteristischer Aspekt des zur Diskussion stehenden Zeitalters betrachtet werden: Wertungen. Diese beruhen zumeist auf der Analyse eines derzeitigen Zustands der Erde, die wiederum aus einem Vergleich resultiert, der erdgeschichtlich gesehen nur eine kurze Zeitspanne berücksichtigt. Meist handelt es sich dabei um klimatische Faktoren.²⁸ So wird etwa immer wieder auf den Anstieg des Kohlendioxidgehalts in der Atmosphäre um beinahe 50% in den vergangenen 200 Jahren verwiesen oder die derzeitige Emissionsrate von atmosphärischem Kohlenstoff als die höchste der letzten 65 Millionen Jahre bezeichnet.²⁹ Die damit zusammenhängende Erwärmung wiederum wird mit dem Temperaturanstieg zu Beginn des Holozäns verglichen, um auch hier eine stark erhöhte Rate in der heutigen Zeit festzustellen.³⁰ Veränderungen die Biosphäre betreffend werden weiters mit den Folgen von Meteoriteneinschlägen verglichen oder der heutige Meeresspiegelanstieg in Relation

²⁷ Die gegenwärtig weitgehendst anerkannte Hypothese geht davon aus, dass sich Homo sapiens vor zumindest 200 000 Jahren von anderen Vertretern der Gattung Homo abspaltete.

²⁸ Eine Symbolik hierfür stellt der sogenannte Hockeyschläger dar, welcher zeigt, wie steil die Temperaturen im Vergleich zu den letzten Tausend Jahren angestiegen sind (Vgl. Behringer 2014, 12).

²⁹ Vgl. Grotzinger et.al. 2017 418 und Waters et.al. 2016, 5. Die Zahlen sind natürlich korrekt, entscheidend ist jedoch, worauf man damit hinweisen möchte.

³⁰ Vgl. Begon 2017, 61.

zu vor 115 000 Jahren gesetzt.³¹ Die Liste solcher Feststellungen ließe sich endlos fortsetzen. Sie demonstrieren in jedem Fall, dass ihre Aussagekraft davon abhängt, wie weit erdgeschichtlich gesehen in die Vergangenheit geblickt wird. Globale Durchschnittstemperaturen, Kohlendioxidgehalte der Atmosphäre und Meeresspiegel waren allesamt bereits höher und die Biodiversität geringer im Verlauf der Erdgeschichte. Naturwissenschaftliche Erkenntnisse, die an sich wertfrei sind, erhalten hierdurch zuweilen negative Konnotationen – vor allem dann, wenn zwischen anthropogenen und ‚natürlichen‘ Veränderungen unterschieden wird. Häufig wird auch von einer ‚unberührten‘ Natur gesprochen, die durch die Technik unserer Zivilisation überformt wird, weshalb das Anthropozän schließlich eine Herrschaft des Menschen über die Erde markiert.³²

Nicht zu vernachlässigen ist dabei jedoch, dass solchen Analysen meistens das Bild eines Idealzustands zugrunde liegt, welches klarerweise in der näheren Vergangenheit des Menschen liegt.³³ Aus diesem Grund sprechen manche Forscher dann auch von einer Energiebilanz, die ‚aus dem Gleichgewicht‘ gebracht wird.³⁴ Dies suggeriert natürlich den Gedanken, es gäbe einen einzigen Gleichgewichtszustand, den es zu bewahren gilt. Auf dieser Vorstellung beruht schließlich auch in weiten Teilen der Naturschutz, wenn in dessen Namen unter anderem das Ziel formuliert wird, „[...] *in allen Lebensräumen der Erde ein Nebeneinander von Natur und Mensch zu ermöglichen, das die Koexistenz von beiden langfristig sichert*“.³⁵ Die Idee eines natürlichen Gleichgewichts geht also einher mit der Gegenüberstellung von Natur und Mensch.³⁶ Letzterer stört demnach mit seinen Eingriffen diese sensible Balance, wie keine Spezies jemals zuvor.³⁷ Diese Ansicht benötigt bei einigen Autoren sowie teilweise generell in der Bevölkerung dann auch keine Statistiken oder erdgeschichtlichen Vergleiche mehr wie sie vorhin dargestellt wurden, denn ‚schützenswerte Natur gegenüber zerstörerischer Mensch‘ ist ein Dogma geworden.

³¹ Vgl. Kadereit 2014, 805 und Waters et.al. 2016, 6.

³² Vgl. Reinkemeier 2014, 81 u. 91.

³³ Hier handelt es sich üblicherweise um einen fiktiven Zustand im Holozän, vermutlich weil die Kontinente damals, durch den Anstieg des Meeresspiegels, weitgehend die heutige Form erhielten und auch unterstellt wird, dass die heutige Flora und Fauna dieser Zeit entstammt (Vgl. Behringer 2014, 62).

³⁴ Vgl. Behringer 2014, 276; Waters et.al. 2016, 7; Renn et.al. 2017, 13 u. 224. Ich werde später noch eine Alternative zu sogenannten Gleichgewichten anführen, insbesondere im Zusammenhang mit „dem ökologischen Gleichgewicht“ wie es oft geschrieben steht.

³⁵ Vgl. Nentwig et.al. 2009, 277.

³⁶ Gegen diese Ansicht werde ich im Verlauf dieser Arbeit vehement argumentieren.

³⁷ Vgl. Weber 2018, 236.

Verschiedenste Vorhersagen das laufende Jahrhundert betreffend stoßen in diesem Zusammenhang dann auf fruchtbaren Boden, vor allem wenn angenommen wird, dass manche Veränderungen im Erdsystem noch nicht zur Gänze ausgebildet sind. Die vermutlich bekanntesten Prognosen werden durch den Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) vermittelt. So wird im Bericht von 2013 ein Temperaturanstieg für das 21. Jahrhundert von 0,5 bis 5,5 °C – bezogen auf die durchschnittliche Temperatur auf der Erdoberfläche – prognostiziert, beruhend auf der steigenden Konzentration von Treibhausgasen, die wiederum auf menschliche Tätigkeiten zurückgehen.³⁸ Diese Änderungen wiederum gehen mit erhöhten Niederschlagsmengen im östlichen Nord- und Südamerika, in Nordeuropa sowie in Nord- und Zentralasien beziehungsweise verstärkter Trockenheit in der Sahelzone, im Mittelmeerraum, Südafrika und Südasien sowie einer Zunahme in der Häufigkeit von Hitzewellen und dem Ausmaß starker Hurrikane einher.³⁹ Hinzu kommt ein Abschmelzen von Eisschilden und Gletschern, die zu einem Anstieg des Meeresspiegels führen, weshalb Küsten versetzt beziehungsweise Inseln in ihrer Größe dezimiert werden.⁴⁰ Nach der Meinung mancher Autoren ist der Mensch daher nicht nur „*Verursacher der Degradation der Natur und seiner eigenen Umwelten [...], sondern zugleich Betroffener seines Handelns*“.⁴¹ In diesem Sinne wird also nicht nur die schützenswerte Natur durch anthropogene Einflüsse beeinträchtigt – auch der Mensch selbst ist trotz der vermeintlichen Gegenüberstellung zur Natur betroffen. Die Konsequenzen des veränderten Erdsystems betreffen neben dem gesamten Klimasystem, einschließlich der Bio- und Ökosphäre, nämlich auch die sogenannte „Anthroposphäre“, welche unter anderem ökonomische und soziale Belange umfasst.⁴² Die Antwort der menschlichen Erdbevölkerung auf die Veränderungen im Erdsystem stellt daher einen nicht zu vernachlässigenden Faktor hinsichtlich solcher Prognosen dar. Aus diesem Grund kann nun weiterhin festgehalten werden:

Der Einfluss des Menschen auf das System Erde wirkt in vielfältiger Weise ihn zurück.

³⁸ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 667f.

³⁹ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 669f.

⁴⁰ Die Erwärmung der Ozeane allein führt dabei bereits zu einer Ausdehnung des Wasserkörpers und damit zu einem Meeresspiegelanstieg. Das Abschmelzen von Eismassen auf dem Meer hingegen führt nicht zu einem höheren Meeresspiegel, da die verdrängte Wassermasse ungefähr dem eingeschlossenen Wasser entspricht (Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 617 und Brönnimann 2018, 307).

⁴¹ Ehlers 2008, 234.

⁴² Vgl. Schönwiese 2013, 368.

Die Verstrickung von Erdgeschichte und Menschheitsgeschichte kommt also auch hier wieder zum Ausdruck. Manche sehen darin ein ‚Zurückschlagen‘ der Natur, andere erkennen darin ein zunehmendes Risiko, planetarische Grenzen zu überschreiten. So würde eine weitere Beschleunigung der globalen Klimaänderungen zum Erreichen von sogenannten Tipping-Points – auch Umkehr- oder Kipppunkte⁴³ – führen, *„an denen es zu unkontrollierbaren Rückkopplungen kommt, welche die globale Erwärmung noch weiter verstärken.“*⁴⁴ Rockström et.al. führen in diesem Zusammenhang neun kritische Prozesse im Erdsystem an, die zu einer solchen Transition der Erde führen können:⁴⁵

- Klimawandel
- Rate des Biodiversitätsverlusts
- Eintrag von Stickstoff und Phosphor in die Biosphäre bzw. Ozeane
- Abbau des stratosphärischen Ozons
- Versauerung der Ozeane
- Süßwasserverbrauch
- Veränderungen der Landnutzung
- Luftverschmutzung durch Aerosole und
- Chemische Verschmutzung

Solange die Menschheit die Grenzen hinsichtlich dieser neun Prozesse nicht überschreitet, wäre der menschlichen Entwicklung auf der Erde *„a long-term safe operating space for human development“* gewährt.⁴⁶ Jedoch wurden nach Ansicht der Autoren bereits drei dieser planetarischen Grenzen überschritten, nämlich durch Biodiversitätsverlust, Stickstoffeintrag und Luftverschmutzung hinsichtlich Kohlendioxid, wobei wir uns einigen weiteren nähern. An dieser Stelle tritt wieder das zuvor erwähnte Bild eines Idealzustands in Erscheinung, denn Rockström et.al. verweisen mit jenem ‚safe operating space‘ explizit auf den stabilen Zustand des Holozäns. Hierbei muss jedoch betont werden, dass es sich nicht um ein Ideal für das Erdsystem handelt, sondern um einen extrem kurzen Abschnitt in der Erdgeschichte, innerhalb dessen die Kultur des Menschen einen vehementen Aufschwung erlebte und sich komplexe soziale

⁴³ Allgemein auch als Bifurkationen oder Gabelungen nichtlinearer dynamischer Systeme bezeichnet (Vgl. Welsch 2017, 297).

⁴⁴ Begon 2017, 464.

⁴⁵ Vgl. Rockström 2010, 73; Anderies et.al. 2013, 2.

⁴⁶ Rockström 2010, 73.

sowie ökonomische Strukturen entwickelten.⁴⁷ Die planetarischen Grenzen stellen daher einen für die menschliche Zivilisation als notwendig suggerierten Rahmen dar und nicht existenzielle Grundlagen für das System Erde. Ein weiterer Leitsatz in der umfangreichen Debatte lautet deshalb:

Der Einfluss des Menschen auf das Erdsystem ist eine menscheitsgeschichtlich neue, moralische Herausforderung.

Andere Wissenschaftler betonen dahingegen die Unscheinbarkeit dieser Tipping-Points solange keine Transition erfolgt ist.⁴⁸ Als Hinweis für solche Grenzüberschreitungen wird das Phänomen des ‚critical slowing down‘ diskutiert. Im Zuge dessen weisen Systeme, die einem Kipppunkt nahe sind, eine sehr langsame Erholungsrate bei Störungen auf. Außerdem erfolgt eine Erhöhung der Korrelation zwischen verbundenen Einheiten eines solchen Systems.⁴⁹ Jedoch beschränken sich diese Charakteristiken nicht auf jene neun dargestellten, kritischen Prozesse im Erdsystem. Stattdessen lassen sich Tipping-Points auf vielen verschiedenen Ebenen wiederfinden: global etwa in wirtschaftlicher Hinsicht, in lokalen Ökosystemen genauso wie innerhalb von Organismen – letztendlich also bei allen Phänomenen, die sich als System beschreiben lassen. Manche Autoren schlagen des Weiteren eine dynamische Interaktion von mit solchen Umkehrpunkten assoziierten Grenzen vor. Auf diese Weise könnten sich zahlreiche lokale und regionale Tipping-Points aggregieren, um eine neue planetarische Grenze zu generieren. Ebenso läuft die Überschreitung eines Kipppunktes Gefahr, die Verlagerung anderer hervorzurufen.⁵⁰ In diesem Kontext werden Komplexität, Rückkopplungen und Nicht-Linearität betont, die Vorhersagen schwierig machen. Als weitere Manifestationen solcher Punkte werden unter anderem folgende Aspekte diskutiert:⁵¹

- Verlust von Wäldern und damit Kohlenstoffspeichern, welche der atmosphärischen Treibhausgaskonzentration entgegenwirken würden.

⁴⁷ In diesem Kontext sei zu erwähnen, dass sich der Großteil der Menschheitsgeschichte nicht im Holozän abspielte, sondern im Pleistozän. Ein safe operating space wie von Rockström et.al. vorgeschlagen referiert daher sowohl in der Erdgeschichte als auch in der Menschheitsgeschichte auf einen lediglich sehr kurzen Zeitabschnitt.

⁴⁸ Vgl. Scheffer 2010, 411.

⁴⁹ Als Beispiele werden Finanzmärkte kurz vor einer Wirtschaftskrise und Neurone kurz vor einem epileptischen Anfall angeführt (Vgl. Scheffer 2010, 412).

⁵⁰ Vgl. Anderies 2013, 1 u. 7.

⁵¹ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 672; Welsch 2017, 297.

- Rasches Abschmelzen von Gletschern, Eisschilden und arktischem Meereis, was die irdische Albedo⁵² verringern würde.
- Unterbrechung der thermohalinen Zirkulation und daraus resultierend ein veränderter Wärmehaushalt.
- Freisetzung von Methan aus Permafrostböden und Sedimenten des Meeresbodens als Beitrag zu einer Erhöhung des Treibhauseffektes.

Es kann also festgehalten werden, dass es sich bei den einzelnen Komponenten des Anthropozäns um komplexe Sachverhalte handelt, die zuweilen auf einfache Korrelationen reduziert werden. Des Weiteren herrscht kein Konsens hinsichtlich Definition, Folgen oder Maßnahmen im vermeintlichen Zeitalter des Menschen. Der öffentliche Diskurs ist daher durch kulturell und emotional gefärbte Bilder geprägt, was sich etwa in der Postulierung von Idealzuständen der Erde oder der Gegenüberstellung von Mensch und Natur widerspiegelt.⁵³ Die Formulierung eines neuen, geologischen Zeitabschnitts ist folglich kritisch zu hinterfragen, vor allem weil es die gegenwärtige Haltung zur Natur – welche als schnelles, heuristisches Orientierungsinstrument dient⁵⁴ – als Gegenüber zum Menschen letztlich verstärken könnte. Vielfach gelten heute inadäquate Reduktionismen als Grundlage für moralische Urteile in komplexen Problemstellungen. Statt einen ‚Einklang‘ mit der Natur zu fordern, wie es beispielsweise Jürgen Manemann tut, spricht einiges dafür, ein neues Verständnis von Natur zu entwickeln, nämlich als allumfassende Existenz einschließlich des Menschen.⁵⁵ Eine sachlich wie auch fachlich gut aufbereitete Auseinandersetzung mit dieser Materie muss allerdings Wertungen an die richtige Position verorten. Deshalb widmet sich das folgende Kapitel wissenschaftlichen Erkenntnissen, die im Rahmen dieser Debatte untergehen zu scheinen, während wir auf die Zuschreibung von Werten erst im späteren Verlauf der vorliegenden Arbeit eingehen.

Als Abschluss dieses Kapitels sollen die aufgebrachten Leitsätze nochmals tabellarisch dargestellt werden, um die zentralen Aspekte darzustellen.

⁵² Auch als Rückstrahlvermögen bezeichnet. Später wird noch genauer auf den Begriff eingegangen.

⁵³ Dies zeigt auch ein Beitrag Peter Sloterdijks, der anstelle eines Anthropozäns die Ausrufung eines Eurozäns befürwortet, da der mehrheitliche Einfluss auf das Erdsystem seiner Meinung nach von den Europäern ausgeübt wird (Vgl. Weber 2018, 240).

⁵⁴ Vgl. Herrmann 2013, 37.

⁵⁵ Vgl. Weber 2018, 239. Ein Einklang mit der Natur ist aus dieser Perspektive ohnehin unumgänglich.

1.4 Zusammenfassung

Tabelle 1 Leitsätze und dazugehörige Faktoren als Orientierung im Anthropozän.

Leitsatz	Faktoren
Der Einfluss des Menschen auf das System Erde hat in hohem Ausmaß zugenommen.	• Anthropogene Materialien • Chemische Spuren • Biologische Spuren Angetrieben durch: • hohen technischen Fortschritt • rasches Bevölkerungswachstum • erhöhten Ressourcenverbrauch
Der Einfluss des Menschen auf das System Erde hat erdgeschichtlich gesehen sprunghaft zugenommen.	Stufenmodell: • Neolithische Revolution • Kolumbianischer Austausch • Industrielle Revolution • Great Acceleration
Der Einfluss des Menschen auf das System Erde wirkt in vielfältiger Weise auf ihn zurück.	Verstrickung von Erd- und Menschheitsgeschichte: • Wandel im Erdsystem gehen mit Veränderungen in der Anthroposphäre einher
Der Einfluss des Menschen auf das Erdsystem ist eine menschheitsgeschichtlich neue, moralische Herausforderung.	• „safe operating space for human development“ • planetarische Grenzen • Tipping Points • Mensch und Natur

2) Beitrag der Erdwissenschaften und Systemtheorie

Da im Zuge der Debatte rund um das Anthropozän allen voran Veränderungen anthropogenen Ursprungs über den gesamten Globus betont werden, scheint es nun angebracht, die Erde aus einem geologischen Blickwinkel zu betrachten. Menschliche Zeitrelationen und Vorstellungen von idealen Gegebenheiten erlangen hierdurch eine Relativierung. Die Geschichte unseres Planeten offenbart eine bemerkenswerte Wandlungsfähigkeit, um nicht zu sagen Ruhelosigkeit, welche zu ihrem heutigen Erscheinungsbild geführt hat. Die hierfür notwendigen Prozesse werden grundsätzlich durch zwei Energielieferanten angetrieben: einen inneren und einen äußeren.⁵⁶

2.1 Wärmekraftmaschinen

Ersterer lässt sich primär auf Wärme zurückführen, die während der Entstehung der Erde vor ungefähr 4,6 Milliarden Jahren gespeichert wurde. Sekundär dienen auch Kollisionen, Kristallisation und radioaktiver Zerfall in diesem Zusammenhang als Wärmeproduzenten. Ein Resultat dieser Umstände ist die Übersetzung in Bewegungen, wie sie im Erdkern und Erdmantel vorkommen und welche wiederum zu Umformungen an der Erdoberfläche führen. In gewisser Hinsicht erfolgt also ein Energietransport über verschiedene Mechanismen von innen nach außen. Den zweiten Energielieferanten der Erde bildet die Sonne, welche die Atmosphäre, Landmassen und Ozeane erwärmt. Auf diese Weise spielt sie eine zentrale Rolle hinsichtlich Wetter und Klima, welche ihrerseits die Erdoberfläche, etwa über Verwitterung und Erosion, formen können. Neben Wärme liefert die Sonne auch Energie, die durch den Prozess der Photosynthese in Biomasse übersetzt werden kann. Hieraus resultiert letztlich der klassische, biologische Stoffkreislauf aus Produzenten, Konsumenten und Destruenten.

Weil also Masse und Energie vom Erdinneren nach außen transportiert beziehungsweise ein gewisser Anteil der Strahlung der Sonne an der Erdoberfläche reflektiert wird, ist die Erde als offenes System zu betrachten, das sich im Austausch mit dem Kosmos befindet. Entgegen manchen Auffassungen im Rahmen der Anthropozän-Debatte stellt der Mensch

⁵⁶ Grotzinger et.al. sprechen in diesem Zusammenhang auch von ‚Wärmekraftmaschinen‘, da Wärmeenergie in mechanische Bewegung beziehungsweise Arbeit umgewandelt wird (Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 14).

also sicherlich nicht den hauptsächlichen Faktor für Veränderungen der Erde dar. Zudem muss das vielfach aufgebrachte Argument, wonach irdische Ressourcen limitiert sind, in der Hinsicht korrigiert werden, dass ein bedeutsamer Anteil derselben durch außerirdische Energiequellen gespeist wird.⁵⁷

2.2 Geosysteme

Das Erdsystem lässt sich nun in weitere Subsysteme unterteilen, was auch einem besseren Verständnis von verschiedenen Phänomenen dienlich ist. Grotzinger et.al. sprechen in diesem Kontext von Geosystemen, wobei sie hierbei drei global agierende unterscheiden: Klima, Plattentektonik und Geodynamo.⁵⁸

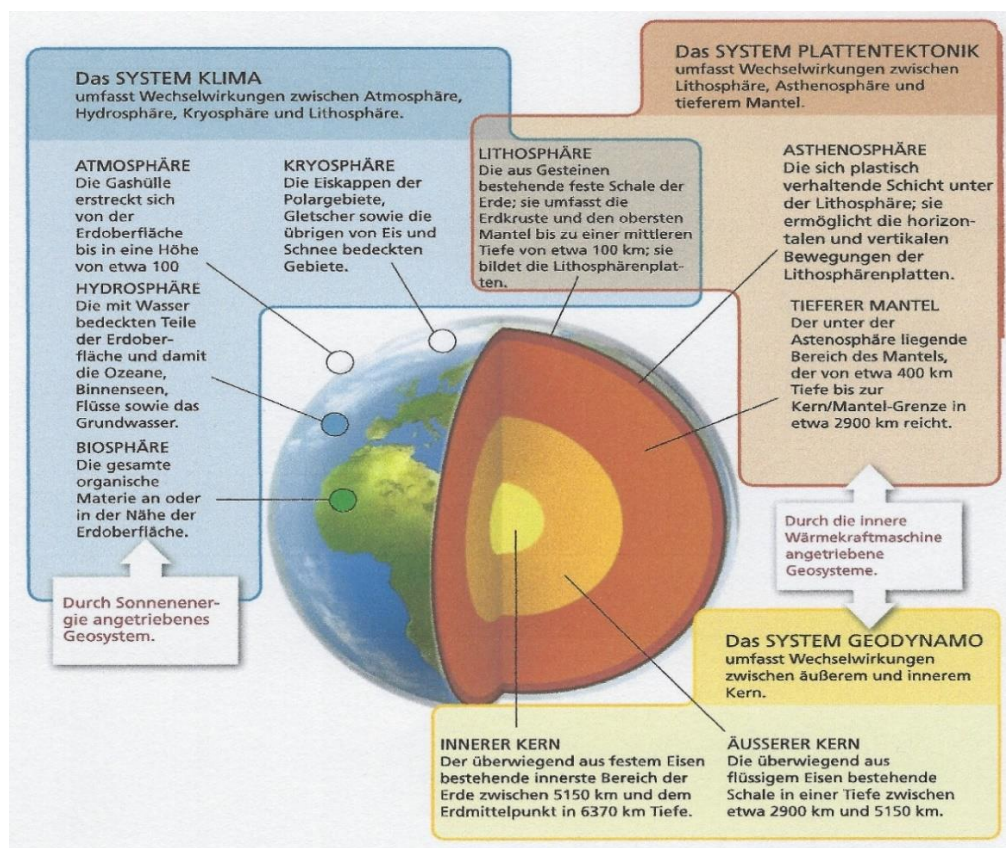


Abbildung 2 Die Einteilung des Erdsystems in drei Geosysteme mit jeweils unterschiedlichen Bestandteilen (aus Grotzinger et.al. 2017, 15).

⁵⁷ Ressourcen sind natürlich nicht in unendlichem Ausmaß vorhanden, doch solange die beiden großen Energielieferanten nicht urplötzlich versiegen werden sie noch für lange Zeit – Millionen von Jahren – neu gebildet. Dahinterstehende Kreisläufe können allerdings für menschliche Zeitverhältnisse ins Stocken geraten.

⁵⁸ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 15f.

Bei der Betrachtung der Systeme von innen nach außen, muss zuerst der Geodynamo in den Fokus gerückt werden. Wie bereits erwähnt, findet ein Energietransport vom Erdinneren zur Erdoberfläche und darüber hinaus statt. Dieser beruht auf Temperaturunterschieden, welche wiederum Bewegungen in Gang setzen. So wandert die im festen, inneren Erdkern gespeicherte Wärme gegen die Gravitation weiter nach außen, wo sie im flüssigen Teil zu Konvektionsströmungen führt.⁵⁹ Im Zuge dessen wird elektrisch leitfähige Materie, vor allem Eisen, zunächst nach außen bewegt wo schließlich eine Abkühlung erfolgt und womit ein Absinken verbunden ist. Auf diese Weise entsteht ein Kreislauf, da das Material stetig neu erwärmt wird. Als Resultat liegen elektrische Ströme vor, die ein Magnetfeld erzeugen, das die gesamte Erde durchdringt und umgibt. Da sowohl im festen als auch im flüssigen Erdkern Temperaturen jenseits des Curiepunktes herrschen, geht man davon aus, dass die beschriebenen Konvektionsströmungen das Erdmagnetfeld ständig erzeugen und aufrechterhalten.⁶⁰ Umpolungen dieses Magnetfelds waren im Verlauf der Erdgeschichte keine Seltenheit. Das System Geodynamo beschreibt also die für das Entstehen des Erdmagnetfeldes notwendigen Prozesse. Große Bedeutung kommt diesem im Zusammenhang mit der Biosphäre – auf welche noch genauer eingegangen wird – zu, da es energiereiche Partikelströme der Sonne abfängt und so die zahlreichen Lebensformen schützt.⁶¹

Nun soll das nächste Geosystem, die Plattentektonik, näher betrachtet werden. Wie zuvor beschrieben, kühlt sich das bewegte Material im flüssigen Erdkern außen ab und wandert dann wieder nach innen. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass Wärme noch weiter nach außen transportiert wird, nämlich in den Erdmantel. Hier setzt sich der Wärmetransport fort, da das Material an der Grenze äußerer Kern – Mantel erhitzt wird und folglich aufsteigt. Schließlich setzen auch hier Konvektionsströme ein – man spricht von ‚Mantelkonvektion‘ –, sodass sich heiße Schmelzen ausdehnen und aufgrund des Dichteunterschieds nach oben gelangen. An ozeanischen Rücken tritt das Material

⁵⁹ Der innere, feste Erdkern besteht ebenso wie der äußere, flüssige Erdkern vorwiegend aus Eisen und zu einem geringeren Anteil aus Nickel, jedoch enthält letzterer zudem leichte Elemente, die jene Fluidität erlauben.

⁶⁰ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 18. Mit dem Curiepunkt wird das Phänomen beschrieben, wonach bestimmte Temperaturbereiche bei bestimmten Materialien zum reversiblen Verlust magnetischer Eigenschaften führen. Im Falle des äußeren Erdkerns würde damit der Curiepunkt für Eisen überschritten, weshalb man sich auf die Konvektionsströmung für die Erklärung beziehungsweise Aufrechterhaltung des Erdmagnetfelds beruft. Auch die Rolle der Rotation der Erde wird in diesem Zusammenhang diskutiert, weil sie die Strömungsbewegung beeinflusst.

⁶¹ Darüber hinaus dient es manchen Arten auch zur Orientierung, beispielsweise Vögeln.

schließlich aus und bildet neuen Ozeanboden in Form von ozeanischer Kruste – ein Phänomen das auch ‚Seafloor-spreading‘ genannt wird.⁶² Die äußerste Schicht der Erde, die Erdkruste, ist aufgrund der Abkühlung an der Oberfläche starr und so auch die Lithosphäre, welche von der Erdoberfläche bis zum äußeren Mantel reicht. Sie ist in Platten organisiert, die der wärmeren, duktilen Asthenosphäre – welche dem Mantel zuzurechnen ist – aufliegen oder bildlich gesprochen auf dieser ‚schwimmen‘.⁶³ Ein Resultat der Mantelkonvektion ist also die Bewegung ebenjener Lithosphärenplatten. An den bereits erwähnten ozeanischen Rücken kommt es zur Divergenz, also dem Auseinanderdriften von Platten, während dies konsequenterweise zu verschiedenen Formen des Aufeinandertreffens, Konvergenz genannt, an anderen Stellen führt.⁶⁴ Durch den zentralen, tektonischen Prozess der Subduktion gelangt ozeanische Lithosphäre schließlich wieder zurück in den Erdmantel, womit sich also der Kreislauf für die Mantelkonvektion schließt. Das Material durchläuft hierbei eine Metamorphose, gewinnt an Dichte und sinkt dadurch ab. Das System Plattentektonik beruht folglich zunächst auf dem zonaren Aufbau der Erde aus innerem und äußerem Kern, Mantel sowie Kruste, die jeweils völlig unterschiedlich aufgebaut sind und dementsprechend verschiedene Eigenschaften aufweisen. Das Zusammenspiel aus Mantelkonvektion und Lithosphärenplatten beschreibt das genannte System dann im Näheren. Ergebnis ist abermals die Umformung des Planeten, insbesondere seiner für uns relevanten Oberfläche. Die zugrunde liegenden Prozesse laufen über lange Zeiträume, in der Größenordnung von Millionen von Jahren, ab. Die nachfolgende Grafik soll zur besseren Veranschaulichen des Geosystems verhelfen.

⁶² Vgl. Faupl 2003, 245. Verschiedene Formen des Vulkanismus führen auch dazu, dass heißes Material aus dem Erdmantel an die Erdoberfläche gelangt.

⁶³ Nach Peter Faupl umfasst die Erde heute sieben große Lithosphärenplatten, die nicht ident mit den geographischen Kontinenten sind: Eurasiatische, Afrikanische, Nord- und Südamerikanische, Indisch-Australische, Pazifische und Antarktische Platte, sowie einige kleinerer Platten (Ebd.).

⁶⁴ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 24 ff.

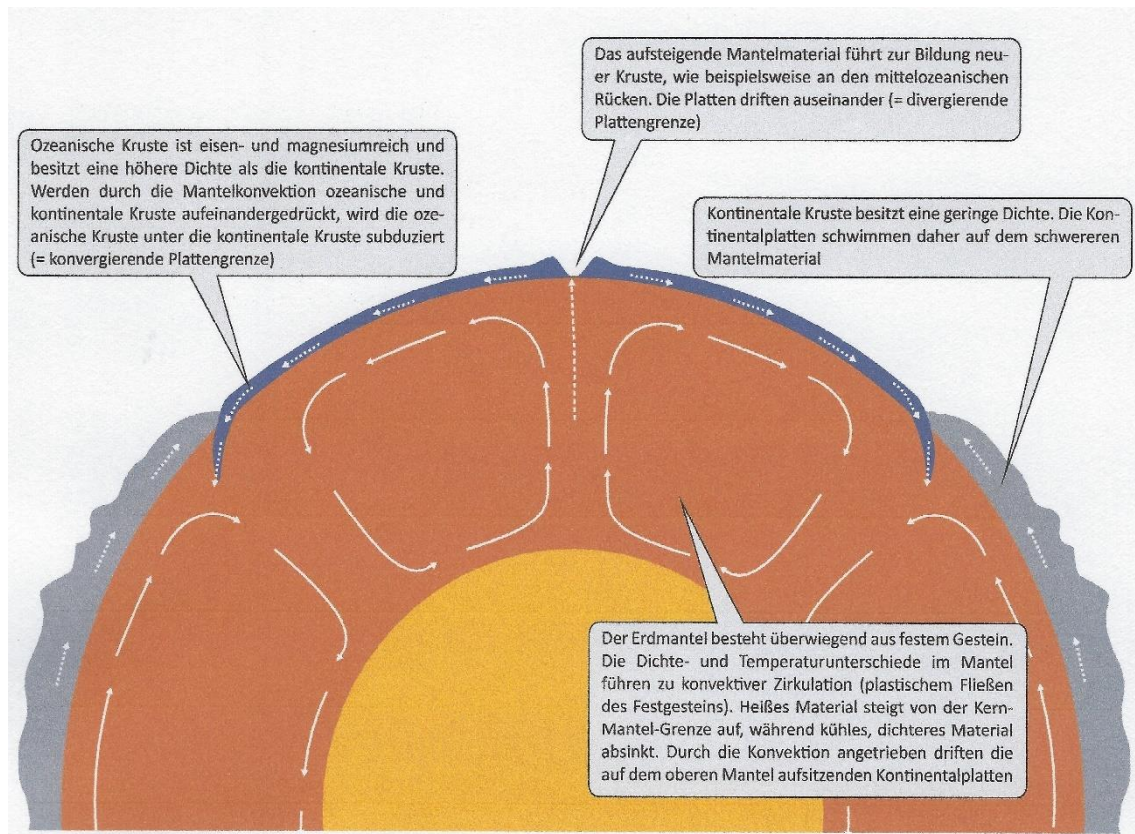


Abbildung 3 Darstellung der Mantelkonvektion als Ursache für die Kontinentaldrift (aus Boenigk & Wodniok 2014, 19).

Bevor das letzte Geosystem in den Fokus gerückt werden soll, sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass der Mensch bisher weder auf Geodynamo, noch auf Plattentektonik nennenswerten Einfluss nimmt, welcher diese Systeme in irgendeiner Weise verändern würde. Erneut muss also eine Beherrschung der Erde dementiert werden. Stattdessen beschränkt sich die zunehmende, anthropogene Einflussnahme primär auf die Erdoberfläche, denn auch diverse Formen des Untertagebaus stellen aus geologischer Perspektive nichts weiter als Nadelstiche in den gewaltigen Erdkörper dar.⁶⁵ Dem Klimawandel und der Biodiversität kommen aus diesem Grund größere Bedeutung im Rahmen der Anthropozän-Debatte zu.

⁶⁵ Vgl. Welsch 2017, 289. Auch die Folgen unterirdischer Atombombentests, etwa Erdbeben, breiten sich nur in einem hauchdünnen Teil der Erde mit ihrem ca. 6370 m starken Radius aus.

2.3 Das Klimasystem

Dem Geosystem Klima soll daher noch etwas mehr Raum zugesprochen werden, zumal es sich aus mehreren, interagierenden Komponenten zusammensetzt, nämlich:⁶⁶

- Atmosphäre
- Hydrosphäre
- Kryosphäre
- Biosphäre
- Lithosphäre.

Einen zentralen Aspekt stellt hierbei die Fähigkeit, Energie sowie Material zu speichern und zu transportieren dar, welche hinsichtlich dieser verschiedenen Sphären in unterschiedlichem Ausmaß vorhanden ist. Die grundsätzlichen Energielieferanten dürfen also nicht vergessen werden, wobei betont werden muss, dass der hauptsächliche Antreiber des Klimasystems die Sonne ist.⁶⁷

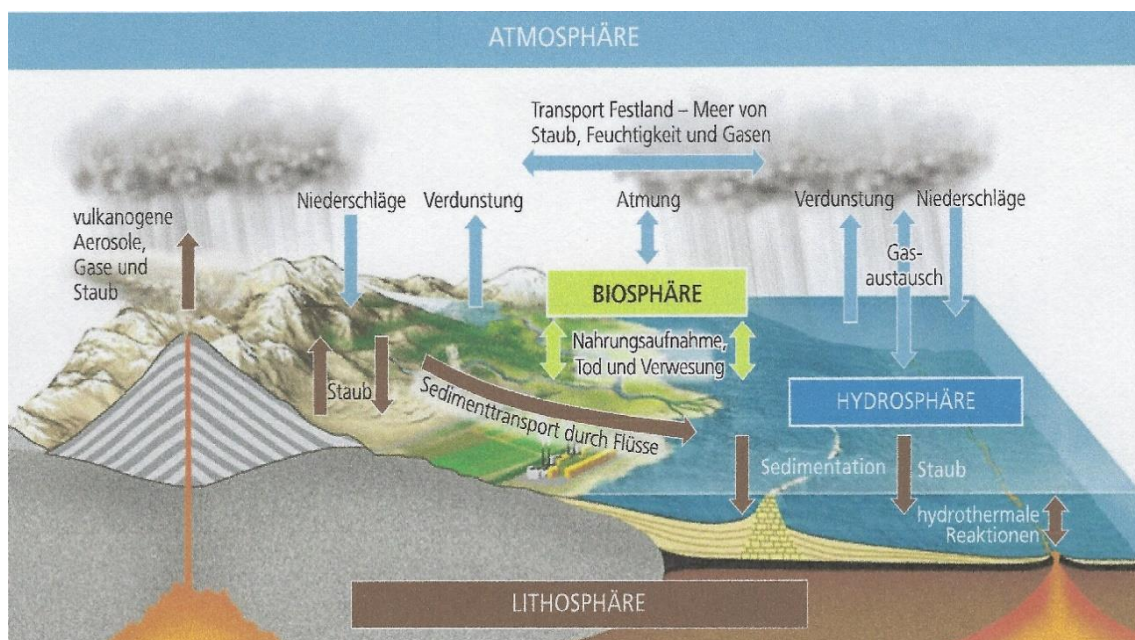


Abbildung 4 Vereinfachte Darstellung des Materialtransports im Klimasystem unter Vernachlässigung der Kryosphäre (aus Grotzinger et.al 2017, 420).

⁶⁶ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 16 u. 403f.

⁶⁷ Die durchschnittliche Menge der Strahlung, die auf die Erdoberfläche gelangt beträgt über das Jahr etwa 342 W/m^2 ($1\text{W}=1 \text{ Joule/s}$), während der Wärmefluss durch Konvektion im Erdmantel lediglich $0,06 \text{ W/m}^2$ beträgt – geringe Abweichungen führen zu globaler Erwärmung oder Abkühlung (Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 407).

Lithosphäre

Zunächst soll an das Geosystem Plattentektonik angeschlossen und daher nun die Lithosphäre betrachtet werden. Wie bereits erwähnt, bewegen sich die tektonischen Platten im Verlauf der Erdgeschichte und bestimmen somit die Verteilung der Kontinente. Damit zusammenhängend wird auch der Anteil der Festlandoberfläche festgelegt, welcher entscheidend für das Ausmaß der Absorption und Reflexion von Wärmeenergie der Sonne ist, worauf noch zurückgekommen werden soll.⁶⁸ Im Allgemeinen beeinflussen die Lithosphärenplatten damit beispielsweise die Asymmetrie der Hemisphären, den Meeresspiegel sowie Meeresströmungen, die Wärme transportieren.⁶⁹ Darüber hinaus steht diese Komponente des Klimasystems über vulkanische Phänomene in Verbindung mit der Atmosphäre, da deren Zusammensetzung auf diese Weise dramatisch verändert werden kann.⁷⁰

Atmosphäre

Im Allgemeinen repräsentiert die Atmosphäre jenen Teilbereich dieses Geosystems, der sich am leichtesten und schnellsten verändert. Die Atmosphäre gliedert sich wiederum in mehrere Schichten, wobei Konvektionsbewegungen innerhalb der sogenannten Troposphäre im Zusammenspiel mit der Erdrotation hauptsächlich für das Windsystem – einem weiteren Wärmetransporter – verantwortlich sind. Das Gasgemisch der Erdatmosphäre, die Luft, setzt sich wie folgt zusammen: Stickstoff N₂ (78,08%), Sauerstoff O₂ (20,94%), Argon Ar (0,938%), Kohlenstoffdioxid CO₂ (0,0385%) sowie in geringeren Anteilen: Methan CH₄, Ozon O₃, Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), Schwefeldioxide SO₂ und andere Verbindungen.⁷¹ Luft respektive ihre Bestandteile sind für die Wirkung der Sonnenstrahlen auf der Erde von großer Bedeutung. Der von manchen Autoren falsch verstandene Treibhauseffekt ist beispielsweise prinzipiell dafür verantwortlich, dass die Temperatur der Erdoberfläche um ungefähr 32°C höher ist und auf diese Weise die Existenz von Leben erst ermöglicht.⁷² Der Effekt beruht auf in der

⁶⁸ Während die Ozeane ca. 70% der Erdoberfläche einnehmen, sind es ca. 30% bei Festlandsflächen.

⁶⁹ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 406.

⁷⁰ Auch die anderen Komponenten sind nicht von der Lithosphäre zu trennen, sie alle stehen über biogeochemische Kreisläufe miteinander in Verbindung.

⁷¹ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 404.

⁷² Vgl. ebd., 408. Die durchschnittliche Temperatur der Erdoberfläche beträgt dadurch ca. 14°C, andernfalls würde sie bei ca. -18°C liegen. So vermutet man beispielsweise als Ursache für eine globale Abkühlung im huronischen Eiszeitalter vor ungefähr 2 Milliarden Jahren eine Unterbrechung des Treibhauseffekts (Vgl. Behringer 2014, 35). In Bezug auf Autoren, die den Treibhauseffekt als

Atmosphäre enthaltenen Treibhausgasen, wovon Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan, Lachgas, einige Fluorchlorkohlenwasserstoffe und Ozon die wichtigsten sind.⁷³ Sie absorbieren die von Sonne und Erdoberfläche emittierten Strahlen und reflektieren sie als infrarote Strahlung in alle Richtungen, also auch wieder zurück zur Erde. Auf diese Weise wird Wärme im bodennahen Bereich zurückgehalten, während die Temperatur mit zunehmender Höhe sinkt. Über anthropogene Kohlenstoffdioxid-Emissionen nimmt der Anteil an Treibhausgasen in der Atmosphäre zu, weshalb wir heute einen gesteigerten Treibhauseffekt vorfinden.

Hydrosphäre

Die Hydrosphäre umfasst das gesamte Wasser der Erde – sowohl auf, über als auch unter der Erdoberfläche. Damit sind Ozeane – in denen sich flüssiges Wasser beinahe zur Gänze befindet –, Binnenseen, Flüsse, Bäche und das Grundwasser ebenso inkludiert. Im Gegensatz zur Atmosphäre weist Wasser ein höheres Wärmespeichervermögen auf, sodass Ozeanzirkulationen für das globale Klima große Bedeutung zugesprochen werden muss.⁷⁴ Außerdem fungieren die Ozeane als Kohlenstoffsinken indem sie atmosphärisches Kohlendioxid aufnehmen. Dies wirkt also dem Treibhauseffekt entgegen, geht gegenwärtig allerdings mit einer Erhöhung des pH-Werts einher, was die marine Fauna belastet.⁷⁵

Kryosphäre

Die Kryosphäre beschreibt jene Teilkomponente des Klimasystems, die sich aus Eis, Gletscher und Schnee zusammensetzt. Sie besitzt hinsichtlich auf die Erde einfallende Sonnenstrahlen ein hohes Reflexionsvermögen – ein Phänomen das auch als ‚Albedo‘ bezeichnet wird.⁷⁶ Außerdem korreliert ihre Größe negativ mit dem Meeresspiegel und daher wiederum mit der Menge an absorbierter Wärme in der Hydrosphäre. Darüber

ökologisches Problem auffassen und dabei aber nicht anthropogene von nicht-anthropogenen Anteilen unterscheiden siehe beispielsweise Martin Gorke (Gorke 1999, 23).

⁷³ Vgl. Brönnimann 2018, 292

⁷⁴ Man denke beispielsweise an den Golfstrom oder umgekehrt an die zirkumpolare Strömung, welche die Antarktis von warmen Strömungen isoliert. Solche Umstände vermögen es im Übrigen durch kleine Änderungen große Klimaschwankungen auszulösen (Vgl. Oschmann 2016, 336).

⁷⁵ So sind vor allem kalkskelettbildende Tiere beeinträchtigt, da Carbonat-Ionen zum Aufbau kalkhaltiger Strukturen in geringerem Ausmaß zur Verfügung stehen. Diese Problematik soll später noch genauer betrachtet werden.

⁷⁶ Die Farbe der Oberfläche eines Körpers ist in diesem Zusammenhang ausschlaggebend: Dunkle Körper absorbieren mehr Strahlung(-swärme) als helle Körper ehe sie diese zurückwerfen. Die Albedo der Erde beträgt ungefähr 31% der einfallenden Lichtstrahlung (Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 407).

hinaus lässt sich eine Abhängigkeit von der Lithosphäre erkennen: Mit Ausnahme der Nordpolregion bilden sich Eis-, Gletscher- und Schneeflächen größtenteils auf Landmassen, wo sie auch bis zu mehrere tausend Meter Dicke erreichen können.⁷⁷ Als Süßwasserquelle spielt die Kryosphäre ebenso eine wichtige Rolle.⁷⁸

Biosphäre

Zuletzt gilt es noch, die Biosphäre zu beleuchten. Da im nächsten Kapitel noch genauer auf sie referiert wird, seien zunächst nur die wesentlichsten Charakteristika genannt. Der Terminus umfasst die Gesamtheit der Lebewesen der Erde, die sich beinahe überall auf oder in der Nähe der Erdoberfläche – also auch in der Atmosphäre und in Gewässern – finden lassen. In den Meeren reicht sie bis in 12 km Tiefe und an der Oberfläche in Höhen von bis zu 9 km.⁷⁹ Die Biosphäre vermag vergleichsweise nur in geringem Ausmaß Energie zu binden und transportieren, jedoch steht sie über verschiedene Kreisläufe in Verbindung mit dem Klima. Zu betonen ist, dass sowohl Speicherung als auch Transport verschiedener Stoffe über einzelne Organismen erfolgt. Die Verteilung der Biosphäre, ebenso Fossilien oder bestimmte Isotope von gebundenem Sauerstoff ebenjener erlauben darüber hinaus Rückschlüsse auf vergangene Klimata.

2.4 Die Dynamik der Klimakomponenten

Da nun die wichtigsten Komponenten des Klimasystems vorgestellt wurden, soll nun deren Interaktion untersucht werden. Diese äußern sich in grundsätzlich zwei Arten von Rückkopplungen:⁸⁰

- **Positive Rückkopplung:** Die Veränderung einer Größe erlangt über die Veränderung einer daran gekoppelten Größe ein verstärktes Ausmaß. Kurz gesprochen kommt es hierdurch zu einer Verstärkung.

⁷⁷ Vgl. Faupl 2003, 243. Erst die Bildung von Eismassen in der Antarktis mithilfe der zirkumpolaren Strömung, welche warme Meeresströmungen weitgehendst abhält, und der darauffolgenden Abkühlung – die sich zunächst auf die Südhalbkugel beschränkte – änderte auch die globale Ozeanzirkulation. Diese wiederum erlaubte nach und nach die Eisbildung in der Nordpolregion (Vgl. Oschmann 2016, 334f und Faupl 2003, 199f).

⁷⁸ Gefrorenes Wasser enthält keine (oder kaum) gelöste Salze, da diese einen anderen Gefrierpunkt aufweisen.

⁷⁹ Vgl. Penzlin 2016, 21.

⁸⁰ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 408.

- **Negative Rückkopplung:** Die Veränderung einer Größe erlangt über die Veränderung einer daran gekoppelten Größe ein verringertes Ausmaß. Kurz gesprochen kommt es hierdurch zu einer Stabilisierung.

An dieser Stelle sollen nochmals die bereits erläuterten Tipping-Points erwähnt werden. Diese werden durch positive Rückkopplung erreicht, während negative Rückkopplung ein bestehendes System erhält. Ein paar Beispiele im Folgenden sollen dem besseren Verständnis dieser Wechselwirkungen dienen:⁸¹

- Wasserdampf-Rückkopplung: Tritt ein Temperaturanstieg auf, führt dies zu erhöhter Verdunstung und damit zu einem Anstieg des Wasserdampfgehalts in der Atmosphäre. Da es sich um ein Treibhausgas handelt, wird noch mehr Wärme im bodennahen Bereich gehalten – ein verstärkender Effekt. Andererseits folgt aus einem höheren Wasserdampfgehalt auch vermehrte Wolkenbildung, die wiederum die Albedo erhöht – ein stabilisierender Effekt. Wolken können allerdings auch den Weg der Infrarotstrahlung in den Weltraum blockieren und somit den Treibhauseffekt verstärken. Wie zu erkennen ist, hängt eine gesamtheitliche Entwicklung im Detail von vielen Faktoren ab.
- Albedo-Rückkopplung: Das Vorhandensein von Eis, Schnee und Gletscher reflektiert einfallende Strahlung und verringert somit die Temperatur auf der Erdoberfläche. Die Rückkopplung kann in beide Richtungen erfolgen: entweder die Kryosphäre verliert an Ausmaß und es verbleibt mehr Wärme auf dem Planeten oder ihre Massen nehmen zu und die Temperaturen fallen noch weiter. Große Bedeutung kommt in diesem Kontext der Lithosphäre zu. Ist mehr Landoberfläche vorhanden und befindet sich ein gewisser Anteil davon in Pol-Lage, wird die Eisbildung und damit die Albedo begünstigt.
- Biotische-Rückkopplung: Steigende Temperaturen in Kombination mit zunehmendem Kohlendioxid-Gehalt in der Atmosphäre fördern das Pflanzenwachstum. Im Zuge der Photosynthese wird atmosphärischer Kohlenstoff wiederum zum Aufbau von Biomasse gebunden. Dadurch verringert sich der Treibhausgasanteil und weniger Wärme wird auf der Erdoberfläche zurückgehalten.

⁸¹ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 409ff. und Brönnimann 2018 290ff.

Hierbei handelt es sich lediglich um einen Auszug der vielen Möglichkeiten an Wechselwirkungen und Rückkopplungen, die letztlich in einer komplexen, nichtlinearen Dynamik resultieren. Während also eine Vielzahl an Elementen gleichzeitig interagiert, kommen darüber hinaus noch periodische wie auch aperiodische Faktoren hinzu. Hinsichtlich Letzteren sind Vulkanismus und Meteoriteneinschläge zu nennen, die ihre Klimawirksamkeit über Veränderungen der Atmosphäre entfalten.⁸²

In Abhängigkeit von der Art und dem Ausmaß des vulkanischen Ereignisses können Asche, Wasserdampf, Schwefeldioxid und andere Schwefelgase in die Stratosphäre befördert werden.⁸³ Die Schwefelverbindungen oxidieren dort zu Sulfataerosolen. In jedem Fall kommt es dadurch zu einer Veränderung der Strahlungsbilanz der Erde, weil jene Aerosole kurzwellige Sonnenstrahlen vermehrt in den Weltraum reflektieren und gleichzeitig langwellige, terrestrische Strahlung absorbieren. Auf diese Weise kommt es zur Erwärmung der Stratosphäre bei gleichzeitiger Abkühlung der Erdoberfläche, womit auch die Verdunstung vermindert ist. Das Ergebnis ist – meist nicht global – kaltes und trockenes Klima, auch ‚vulkanischer Winter‘ genannt.⁸⁴ Meteoriteneinschläge weisen eine ähnliche Wirkung auf wie Vulkanismus, da große Staubmengen freigesetzt werden, welche die Sonneneinstrahlung mindern können.⁸⁵

2.5 Erdbahn- und Orbitalparameter

Auch in diesem Kontext wird erneut vor Augen geführt, dass es sich bei der Erde um ein offenes System handelt, das im Austausch mit seiner kosmischen Umgebung steht. So ist die Strahlungsbilanz der Erde noch von anderen Faktoren abhängig. Hinsichtlich der allgemeinen Schwankung der Sonnenaktivität sind die Auswirkungen schwer zu belegen, aber zumindest vorstellbar.⁸⁶ Umgekehrt konnten aber deutliche Zusammenhänge zwischen Erdbahn- oder Orbitalparameter und Klimawandel nachgewiesen werden. Milutin Milanković erlangte Anfang des 20. Jahrhunderts durch die Vermutung,

⁸² Direkt aber auch indirekt haben diese Ereignisse zudem dramatischen Einfluss auf die Biodiversität. Sie dienen daher als Erklärung für Massenaussterben und abrupte Klimawandel.

⁸³ Vgl. Brönnimann 2018, 288f.

⁸⁴ Aerosole werden im Übrigen auch durch den Menschen freigesetzt, ihr Effekt wird aber von jenem der anthropogenen Treibhausgase deutlich übertroffen. „Nuklearer Winter“ stellt das Pendant zu dem beschriebenen vulkanischen Winter dar und beruht auf ähnlichen Auswirkungen infolge von Kernwaffenexplosionen.

⁸⁵ Vgl. Behringer 2014, 30 und Schönwiese 2013, 294.

⁸⁶ Vgl. Brönnimann 2018, 288.

Variierungen dieser Parameter würden Eiszeiten auslösen, große Bekanntheit. Ihre periodischen Veränderungen werden deshalb auch als ‚Milanković-Zyklen‘ bezeichnet. Seine These ist nach heutigen Erkenntnissen allerdings unzureichend. So wirken die Erdbahnparameter vielmehr als Auslöser für Klimaschwankungen, die letztlich aber durch Rückkopplungseffekte aller Teile des Klimasystems zustande kommen.⁸⁷ Nach Ansicht mancher Autoren handelt es sich daher um kleine Änderungen von Rahmenbedingungen, die erst unter gewissen Umständen – wie etwa die moderne, kühlende Ozeanzirkulation – große Klimaschwankungen hervorrufen können.⁸⁸ Auch muss an dieser Stelle betont werden, dass sie die jährliche Gesamteinstrahlung durch die Sonne nicht oder nur kaum beeinflussen, sondern stattdessen die jahreszeitliche Verteilung. Auf alle Fälle ist ihre Bedeutung für den Klimawandel im Allgemeinen unbedingt zu berücksichtigen.⁸⁹

Betrachten wir die Orbitalparameter nun im Detail. Sie gliedern sich wie folgt:⁹⁰

- Exzentrizität: Beschreibt die Erdbahn, welche mehr oder weniger elliptisch verlaufen kann. Die Periodizität dieses Parameters hat sich im Verlauf der Zeit von etwa 400 000 auf ungefähr 100 000 Jahre verkürzt.
- Obliquität: Auch ‚Schiefe‘, beschreibt die Neigung der Erdachse, die sich alle 40 000 bis 43 000 Jahre ändert.
- Präzession: Umschreibt die Neigung der Erdrotationsachse⁹¹, die alle 18 000 bis 23 000 verändert wird.⁹² Hierdurch verschieben sich unter anderem die Jahreszeiten relativ zum sonnennächsten Punkt der Umlaufbahn.

⁸⁷ Vgl. Brönnimann 2018, 283.

⁸⁸ Vgl. Oschmann 2016, 336. Es werden hiermit auch die quartären Schwankungen aus Kalt- und Warmzeiten erklärt, welche zumindest anfänglich ungefähr einem 100 000-Jahrezyklus folgten.

⁸⁹ Ein interessanter Aspekt ist auch der Einfluss anderer großer Himmelskörper auf die Periodizität ebenjener Parameter, womit die Komplexität allein des Klimasystems erneut veranschaulicht wird.

⁹⁰ Vgl. Oschmann 2016, 336; Faupl 2003, 232; Schönwiese 2013, 283 und Behringer 2014, 27f. Die konkreten Zahlenwerte variieren in der Literatur.

⁹¹ Zur Vorstellung denke man an einen Kreisel, der ins Schwanken gerät.

⁹² Manchmal findet sich in der Literatur zusätzlich eine Präzession der Erdbahn.

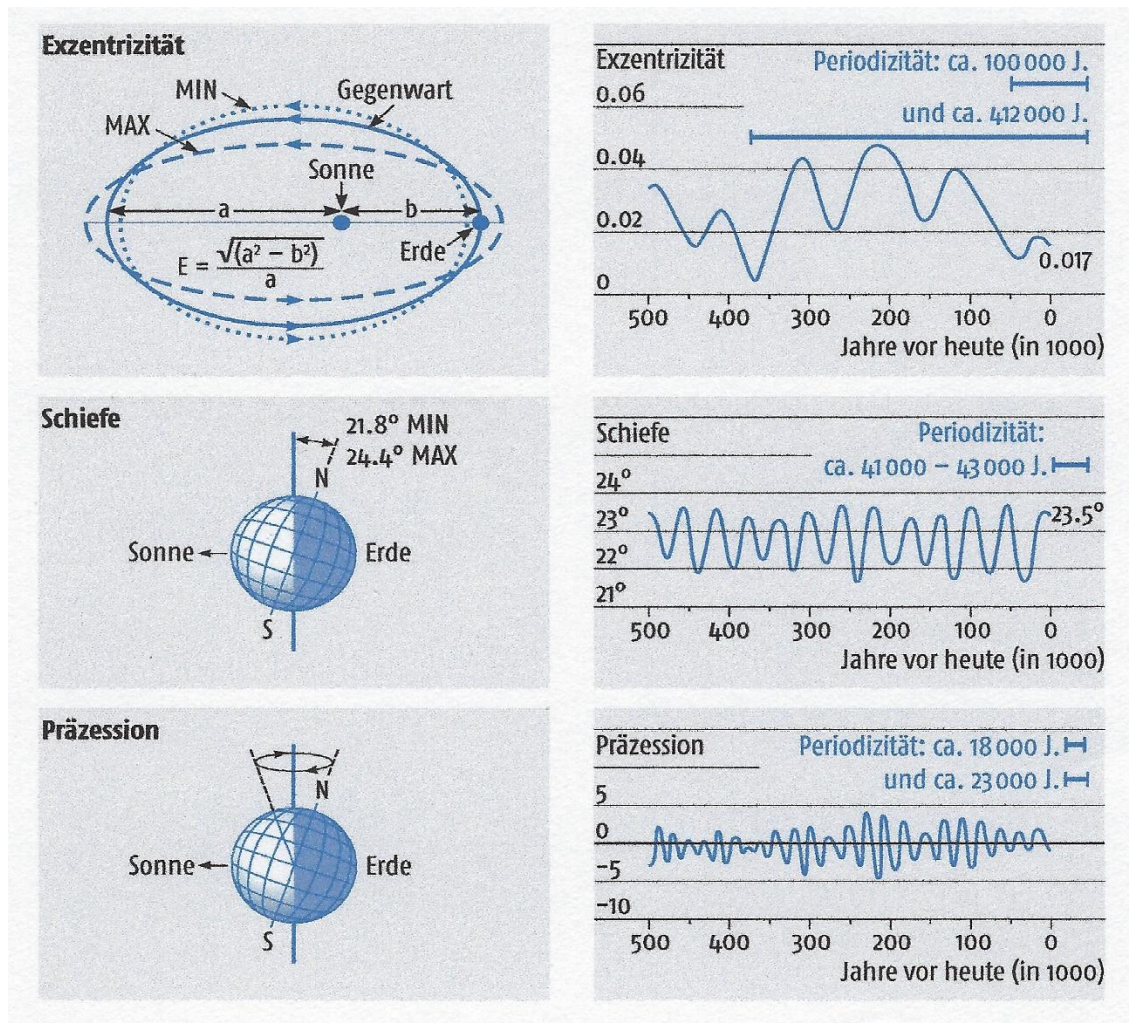


Abbildung 5 Die Erdbahnparameter und ihre Veränderungen über die letzten 500 000 Jahre (aus Brönnimann 2018, 284).

Angesichts dieser Vielzahl an Klimaelementen treffen die im Rahmen der Anthropozän-Debatte aufgebrachten Argumente auf neue Relationen. Zu betonen ist, dass der menschliche Einfluss auf das Erdsystem in die Biosphäre einzuordnen ist und die übrigen Sphären sowie Geosysteme nicht verdrängt.⁹³ Anthropogene und nicht-anthropogene Faktoren – egal ob das Klima- oder Erdsystem als Ganzes betreffend – überlagern einander, wobei Letztere in deutlich breiterem Ausmaß ihre Wirkung entfalten. Den wesentlichen Unterschied repräsentiert sicherlich die zeitliche Komponente: Die menschlichen Aktivitäten und ihre Folgen erstrecken sich im Vergleich zu geologischen

⁹³ Auch die Kryosphäre bleibt nach gegenwärtigen Einschätzungen erhalten, da für das antarktische Packeis in Zukunft sogar eine Akkumulation erwartet wird, weshalb die globale Erwärmung lokal mit Abkühlung einhergehen kann (Vgl. Schönwiese 2013, 311 u. 365 sowie Behringer 2014, 263). Die Biosphäre hingegen erlebt eine drastische Reduktion in der Artenvielfalt, bleibt aber erhalten.

beziehungsweise astronomischen Entwicklungen über einen extrem kurzen Zeitraum. Zudem beschränken sich die Auswirkungen auf die Erdoberfläche, was mitunter ein Grund ist, weshalb nicht von einer Beherrschung der Natur gesprochen kann. Es soll später noch einmal darauf zurückgekommen werden. Zunächst sind Komplexität und Nicht-Linearität als Resultat der vielen interagierenden Komponenten des Erdsystems zu betrachten, zu denen der Mensch hinzuzuzählen ist.

2.6 Komplexität und Nichtlinearität in der Systemtheorie

Zuerst soll eine wichtige Unterscheidung hinsichtlich Systemarten vorgenommen werden:⁹⁴

- Isolierte Systeme weisen weder Stoff- noch Energieaustausch mit ihrer Umwelt auf und streben von selbst in den Gleichgewichtszustand maximaler Entropie.⁹⁵
- Abgeschlossene Systeme befinden sich nicht im Stoff- aber im Energieaustausch mit ihrer Umwelt. In der Nähe des thermischen Gleichgewichts⁹⁶ fügen sich die Systemelemente von selbst zu einer Ordnung zusammen. Man bezeichnet dieses Phänomen als konservative Selbstorganisation.
- Offene (dissipative) Systeme sind sowohl durch Stoff- als auch Energieaustausch mit ihrer Umwelt charakterisiert. Ordnungsstrukturen entstehen fern des thermischen Gleichgewichts und werden durch komplexe, nichtlineare Wechselwirkungen der systemischen Elemente und Dissipation – welche die Entropieabnahme ausgleicht – aufrechterhalten. Hieraus resultiert eine Dynamik, die entgegen des thermischen Gleichgewichts verläuft und entsprechende Phasenübergänge aufweist, die sprunghaft erfolgen. Man bezeichnet dieses Phänomen als dissipative Selbstorganisation. Die gebildeten Strukturen besitzen eine gewisse Stabilität gegenüber Störungen.

In Bezug auf die Erde, insbesondere ihrer Oberfläche, kann angesichts der dargelegten Erkenntnisse von einem offenen System ausgegangen werden. Ebenso lässt sich diese

⁹⁴ Vgl. Mainzer 1999, 7f.

⁹⁵ Unter Entropie kann z.B. eine Verteilung von Atomen oder Molekülen verstanden werden, die keiner Ordnung folgt. Entropie dient in diesem Sinn als Maß für Unordnung, welche durch Energiezufuhr abnehmen kann (Vgl. Eidemüller 2017, 23).

⁹⁶ Im thermischen Gleichgewicht finden keine Wärme Flüsse zwischen System und Umwelt mehr statt, da alle Temperaturunterschiede ausgeglichen sind.

Ansicht auf einzelne Komponenten von Geosystemen – beispielsweise die Atmosphäre – oder andere Subsysteme – wie etwa Ökosysteme – genauso wie kleinere Phänomene – zum Beispiel Organismen – übertragen. Wir befinden uns hier also im Bereich der Synergetik, einer Lehre, die sich mit zentralen Prinzipien über verschiedenste Komplexitätsebenen hinweg beschäftigt. Hierzu zählen die Wechselwirkungen zwischen den Systemelementen, wobei diesbezüglich gelegentlich zwei Arten von komplexen Systemen unterschieden werden:⁹⁷

- Erster Art: Die Interaktion der Elemente folgt stets derselben Dynamik.
- Zweiter Art: Nichtlineare Wechselwirkungen verändern die dynamische Struktur zwischen den Elementen. Es gibt Entwicklung und die Möglichkeit zur Evolution komplexer(er) Systeme.

Analog zu dieser Unterscheidung wird komplexen Systemen der ersten Art die Fähigkeit des Selbstordnens zugesprochen, während man im Zusammenhang mit komplexen Systemen der zweiten Art von Selbstorganisation spricht, welche einem historischen Prozess entspricht. Auch das Erdsystem weist eine Entwicklung auf, da die Geosysteme nicht von Anfang an bestanden und einzelne Komponenten ebenjener im Verlauf der Erdgeschichte unterschiedliche Formen von komplexen Systemen hervorbrachten. Die Biosphäre, welche etwa ab 800 Millionen Jahren nach Entstehung der Erde mit ersten, primitiven Lebensformen ihren Anfang nahm, kann an dieser Stelle als Beispiel angeführt werden.⁹⁸

Im Allgemeinen lässt sich die Dynamik von dissipativen Systemen mit folgender Gleichung näherungsweise darstellen:⁹⁹

$$\dot{z} = f(z, a) + F(t)$$

Es wird eine nichtlineare Abhängigkeit zukünftiger Zustände $\dot{z}$ vom Gegenwartszustand z und einem Kontrollparameter a für Stoff- beziehungsweise Energieaustausch beschrieben. Der Summand $F(t)$ berücksichtigt innere und äußere Fluktuationen des Systems. Letztere sind dazu imstande kollektive Wechselwirkungen der Systemelemente hervorzurufen, die zum Beispiel zu räumlichen Konfigurationen führen. Die Amplituden

⁹⁷ Vgl. Mainzer 1999, 91f.

⁹⁸ Vgl. Penzlin 2016, 10.

⁹⁹ Vgl. Mainzer 1999, 8.

mancher Konfigurationen können schließlich maßgebend sein und einen neuen Gleichgewichtszustand bestimmen. Solche Zustände können aber bei weiterer Änderung von a oder entsprechenden Fluktuationen instabil werden, sodass neue Gleichgewichtszustände eingenommen werden. Herman Haken spricht in diesem Kontext auch von Ordnungsparametern, welche in der Nähe von Instabilitätspunkten die Mikrozustände ‚versklaven‘.¹⁰⁰ Dieses Versklavungsprinzip beruht auf ‚zirkulärer Kausalität‘: Die Elemente eines Systems führen zu einem Phänomen, das ebenjene Elemente seiner Ordnung unterwirft.¹⁰¹ Mit anderen Worten wird die Dynamik der Elemente eines komplexen Systems durch wenige Parameter einer höheren Ebene bestimmt. Nach Störungen erholen sich die Ordnungsparameter jedoch langsamer als die zuvor beherrschten Mikrozustände¹⁰², weshalb eben neue Gleichgewichtszustände – nach Durchsetzung neuer Ordnungsparameter – etabliert werden können.¹⁰³ Für gewisse Systemkonstellationen gibt es daher kritische Werte, die mit Instabilität einhergehen. Sie können aber sprunghaft, über dissipative Selbstorganisation, überwunden werden. Im Zuge solcher Transitionen kann das System neue Qualitäten aufweisen, die vorher auf keiner Ebene vorhanden waren. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Emergenz oder emergenten Eigenschaften, die als Kennzeichen biologischer Organisationsebenen gesehen werden können.¹⁰⁴ Hier spiegelt sich die These wider, wonach das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile. Natürlich ist eine grundsätzliche Stabilität komplexer Systeme nicht zu vernachlässigen. Auf der anderen Seite kann die Unterbrechung der Energie- oder Stoffzufuhr genauso wie zu starke Fluktuationen zu einem Zusammenbrechen des Systems führen, sofern nicht adäquate Puffermechanismen vorhanden sind.

In jedem Fall handelt es sich bei diesen synergetischen Erkenntnissen um Zugänge, die die Berechenbarkeit komplexer Systeme erlauben sollen. Bestimmte Probleme, vor allem hinsichtlich Vorhersagbarkeit, lassen sich damit allerdings nicht umgehen. So weist dynamische Komplexität eine Sensitivität für Anfangsbedingungen auf, wodurch winzige

¹⁰⁰ Vgl. Mainzer 1999, 8.

¹⁰¹ Vgl. Mainzer 1999, 33.

¹⁰² Hiermit ist nichts anderes als die Dynamik der Systemelemente gemeint. Mikrozustände beschränken sich allerdings nicht auf molekulare oder atomare Strukturen.

¹⁰³ In ökologischen Systemen können auch periodische Oszillationen bzw. Grenzyklen solche Gleichgewichtszustände darstellen (Vgl. Mainzer 1999, 13).

¹⁰⁴ Vgl. Campbell et.al. 2016, 4. Es handelt sich um eine Theorie, die dem Reduktionismus gegenübersteht. Darauf soll an späterer Stelle nochmals referiert werden.

Abweichungen der Eingangsdaten für Prognosen sehr schnell zu Ergebnissen führen, die mit der Wirklichkeit kaum noch Gemeinsamkeiten aufweisen.¹⁰⁵ Des Weiteren wird jede Erhebung des Ist-Zustands über Messungen erfolgen, die wiederum nicht absolut genau sein können. So ist jede Messmethode durch eine bestimmte Unsicherheit charakterisiert, etwa durch die Beschränkungen des Messinstruments oder durch den Wissenschaftler selbst.¹⁰⁶ Damit einhergehend nimmt jede Messung Einfluss auf das zu messende System, was am deutlichsten in der Heisenberg'schen Unschärferelation zum Ausdruck kommt. Das Planck'sche Wirkungsquantum ist allerdings sehr klein, sodass es für makroskopische Phänomene näherungsweise vernachlässigt werden kann.¹⁰⁷ Jedoch können bei der Untersuchung komplexer Systeme ähnliche Effekte auftreten, weil systemische Sensibilität im Zusammenspiel mit dem Einfluss der Messmethoden zu nachhaltigen Verfälschungen führen.¹⁰⁸ Dieser Umstand verstärkt also das Problem des Anfangswerts, der folglich nur mit endlicher Genauigkeit bestimmt werden kann.¹⁰⁹ Beliebig genaue Berechnungen sind daher im Kontext von nichtlinearen Wechselwirkungen und Komplexität nicht zu bewerkstelligen. Natürlich sind Näherungen legitim, doch im Gegensatz zu linearen Phänomenen kann die Abweichung unpraktikable Ausmaße annehmen. Die praktische Unmöglichkeit langfristig genauer Prognosen spricht nicht zwangsläufig gegen deterministische Vorannahmen.

2.7 Gleichgewicht, Prognosen und Projektionen

An dieser Stelle soll erneut das Erdsystem betrachtet werden. Die Debatte rund um das Anthropozän zeichnet sich unter anderem durch schlimme Befürchtungen aus, die wiederum mit Vorhersagen für das kommende Jahrhundert einhergehen. Zumeist steht hierbei das Klimasystem mit seinen Komponenten, das als dissipatives System mit dynamischer Komplexität gesehen werden kann, im Zentrum. Wie bereits gezeigt wurde, erfolgt ein Stoff- und Energieaustausch mit der Umgebung und nichtlineare

¹⁰⁵ Man bezeichnet dieses Phänomen auch als Schmetterlingseffekt. Neben der Sensitivität weisen komplexe, dynamische Systeme auch Selbstähnlichkeitseigenschaften auf.

¹⁰⁶ Auch die Anwendung technologisch hoch entwickelter Instrumente ist an menschliche Fähigkeiten gekoppelt, die ihrerseits jedoch Limitierungen aufweisen, u.a. weil ihre evolutionäre Entstehung ganz anderen Bedingungen galt. Jedes Messen bleibt daher ein Schätzen – mit variierender Genauigkeit.

¹⁰⁷ Vgl. Eidemüller 2017, 55.

¹⁰⁸ Vgl. Gorke 1999, 35f.

¹⁰⁹ Hinsichtlich der oben angeführten Formel scheitert die Berechenbarkeit also bereits bei z.

Wechselwirkungen zwischen den Klimaelementen – siehe Rückkopplungen sowie Tipping-Points – können neue Dynamiken hervorrufen. Demnach kann eine Übertragung synergetischer Modelle vorgenommen werden. In diesem Sinne gibt es dann eben kein einziges, ökologisches Gleichgewicht – auch nicht in Ökosystemen – sondern Gleichgewichtszustände, die gewissen Ordnungsparametern folgen und welche unter bestimmten Gegebenheiten durch neue Gleichgewichtszustände ersetzt werden können.¹¹⁰ Die damit zusammenhängende Sprunghaftigkeit bei der Etablierung dissipativer Strukturen weist eine interessante Parallele zum vorgestellten Stufenmodell des Anthropozäns auf. Der sprunghaft angestiegene Einfluss des Menschen auf das Erdsystem könnte in Anlehnung an das Konzept der Tipping-Points auf einen Übergang zu neuen Ordnungsparametern hindeuten. Eine solche Transition wäre dieser Auffassung nach allerdings weder unnatürlich noch erstmalig. Der Mensch hätte sich in diesem Gedankenspiel vom gelenkten Systemelement zum Ordnungsparameter gewandelt.¹¹¹ Wie sich die Folgen einer Wandlung dieses komplexen, offenen Systems äußern, lässt sich jedoch nur schwer vorhersagen. Auch auf die Erde, im Speziellen das Klimasystem, trifft die Beschränkung der Berechenbarkeit, wie zuvor dargestellt, zu. Aus diesem Grund sollte in der Debatte rund um das Anthropozän unbedingt auf den Unterschied von Projektionen und Prognosen verwiesen werden:

„Kurz gesagt liefern Klimamodell-Zukunftsprojektionen somit bedingte (nicht alle Prozesse berücksichtigt) Szenarien-gestützte Wenn-Dann-Aussagen in Form von relativ langzeitlichen Statistiken. Daher die strikte Verwendung des Wortes „Projektion“ statt „Prognose (Vorhersage)“.“¹¹²

Da die Gesamtheit an möglichen Klimaänderungen also nicht erfasst werden kann, spielen zugrunde liegende Erwartungen oder Konzepte, verwendete Variablen und zugeführte Daten eine entscheidende Rolle was Zukunftsvisionen anbelangt.¹¹³ Aus diesem Grund waren manche Forscher Anfang der siebziger Jahre auch der Ansicht, dass

¹¹⁰ Sprunghaftigkeit ist in diesem Zusammenhang jedoch ein relativer Begriff und es kann angenommen werden, dass die Zeitdauer für die Etablierung neuer dissipativer Strukturen auf verschiedenen Komplexitätsebenen variiert. Was erdgeschichtlich schnell abläuft, kann daher aus menschlicher Sicht sehr viel Zeit beanspruchen. Für die Kritik am ‚ökologischen Gleichgewicht‘ siehe auch Gorke 1999, 39f.

¹¹¹ Hier muss allerdings betont werden, dass keine Unabhängigkeit von den restlichen Systemelementen oder den höheren Geosystemen besteht.

¹¹² Schönwiese 2013, 362.

¹¹³ Vgl. Behringer 2014, 250.

eine erneute Kaltzeit respektive ein ‚Global Cooling‘ bevorstehe.¹¹⁴ Bei Betrachtung etwa des klimatischen Verlaufs der jüngeren Erdgeschichte mit den nahezu zyklisch auftretenden Wechsel aus Kalt- und Warmzeiten im Pleistozän (Quartär), könnte im Anschluss an das heutige Holozän – einer Warmzeit – eine erneute Kaltzeit erwartet werden. Allerdings unterscheidet sich das Quartär mit diesen vielfachen Wechseln deutlich von den vorhergehenden Abschnitten in der Erdgeschichte.¹¹⁵ Weder kann man deshalb von ‚natürlichen‘ Abläufen im Unterschied zu ‚unnatürlichen‘ Abweichungen sprechen noch ist zu erwarten, dass diese Schwankungen für immer bestehen bleiben. Vertreter der Anthropozän-Hypothese verweisen in diesem Zusammenhang auf die anthropogene, globale Erwärmung, welche vor allem auf atmosphärisches Kohlendioxid zurückzuführen ist. Für die langfristige Entwicklung führen manche Autoren daher drei Möglichkeiten an:¹¹⁶

1. Eine Kaltzeit tritt den quartären Schwankungen folgend ein.
2. Die derzeitige Warmzeit wird durch anthropogene Faktoren ausgedehnt und die nahende Kaltzeit hinausgezögert.
3. Es tritt keine Kaltzeit ein und die Erde gelangt in ein langanhaltendes Treibhausklima.

Egal, welche der angeführten Entwicklungsmöglichkeiten favorisiert wird, die beschränkte Berechenbarkeit erlaubt nur spekulative Aussagen. Es ist daher zu hinterfragen, ob hieraus bereits moralische Appelle oder Anschuldigungen abgeleitet werden sollten.

Eine wichtige, terminologische Unterscheidung muss in diesem Kontext betont werden, da es in den Diskussionen rund um globale Erwärmung und das Anthropozän immer wieder zu Verwechslungen kommt. So sind die Begriffe Eiszeit und Kaltzeit keineswegs als synonym zu verstehen. Je nach definitorischer Rahmensetzung bezeichnet eine kryogene Periode oder Eiszeit einen Zeitabschnitt in der Erdgeschichte, während dem sich an einem oder beiden Polen Eisschilde befinden.¹¹⁷ Eine Kaltzeit – auch Glazial genannt – hingegen beschreibt einen Zeitraum innerhalb eines Eiszeitalters, der sich

¹¹⁴ Vgl. ebd., 248 und Welsch 2017, 293. Heute gehen dafür andere Forscher davon aus, dass die Erde einer erneuten Kaltzeit nur knapp entging.

¹¹⁵ Vgl. Faupl 2003, 232.

¹¹⁶ Vgl. Oschmann 2016, 364.

¹¹⁷ Vgl. Faupl 2003, 243 und Schönwiese 2013, 290.

aufgrund durchschnittlich tieferer Temperaturen von Warmzeiten – auch Interglazial – innerhalb desselben Zeitalters abgrenzt.¹¹⁸ Es ist daher für alle an der Debatte zum Anthropozän oder Global Warming Beteiligten von großer Bedeutung zu verstehen, dass sich das Erdsystem gegenwärtig in einem Interglazial innerhalb einer Eiszeit befindet.¹¹⁹ Beide Pole sind aktuell ganzjährig mit Eis bedeckt. Im Verlauf der Erdgeschichte ist es zwar schon mehrmals zu solchen kryogenen Perioden gekommen, doch in Summe nehmen sie nur einen Bruchteil der Zeit ein. Während mehr als 95% der Geschichte unseres Planeten gab es kein permanentes Eis an den Polen, weshalb Warmzeiten ein Charakteristikum der Erde repräsentieren.¹²⁰ Auch an dieser Stelle wird also deutlich, dass postulierte Idealzustände oder vermeintlich ‚natürliche‘ Zustände eher willkürlichen Behauptungen entspringen als wissenschaftlichen Erkenntnissen. Zudem äußert sich Stabilität im Zusammenhang mit dissipativen Strukturen – hier speziell das Klimasystem betreffend – nicht in Form von konstanten Verhältnissen, sondern durch Dynamik, was Veränderungen durchaus miteinschließt. Mit anderen Worten ändern sich diese Strukturen, weil neue Ordnungsparameter auftreten, aber das System bleibt grundsätzlich erhalten – zuweilen weist es neue Qualitäten auf. Im Rahmen der anthropogenen Einflussnahme auf das Erdsystem findet daher keine Naturzerstörung statt, sondern qualitative Änderungen der Subsysteme werden vorgenommen. So war auch das Geosystem Klima schon immer durch Schwankungen in allen Zeitskalen gekennzeichnet.¹²¹ Die nachfolgende Tabelle soll in diesem Zusammenhang einen groben Überblick sowohl über die erdgeschichtlichen Zeiteinheiten als auch deren dominierenden Klimata verschaffen.

¹¹⁸ Warmzeiten außerhalb von Eiszeiten werden daher nicht als Interglazial bezeichnet. Sie sind dadurch charakterisiert, dass sich an den Polen kein Eis befindet.

¹¹⁹ Vgl. Behringer 2014, 33 und Schönwiese 2013, 295.

¹²⁰ Innerhalb der allermeisten Warmzeiten war es mitunter beträchtlich wärmer als heute und der Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre zudem deutlich höher.

¹²¹ Vgl. Schönwiese 2013, 267.

Tabelle 2 Geologische Gliederung der Erdgeschichte mit groben Klimacharakteristiken (verändert nach Schönwiese 2013, 291)

Zeit in 10⁶ Jahren vor heute	Äon	Ära	Periode	Grobe Klimacharakteristik
ab 2,58	Phanerozoikum	Känozoikum	Quartär	Quartäres Eiszeitalter, global, seit ca. 2-3 Mio. J.v.h., im Holozän Neo-Warmzeit, davor Wechsel zwischen Kalt- und Warmzeiten
ab 65			Neogen Paläogen	Europa warm-feucht, im Paläogen allmähliche, dann stärker einsetzende Abkühlung; im Neogen beginnende Vereisung der Südhemisphäre (Antarktis)
ab 142		Mesozoikum	Kreide	In Europa sehr warm (Warmklima) und meist trocken
ab 205			Jura	In Europa warm (Warmklima) und sehr trocken
ab 250			Trias	Warm (Warmklima) und meist sehr trocken
ab 290		Paläozoikum	Perm	Permokarbonisches Eiszeitalter, Südhemisphäre (ca. 320-260 Mio. J.v.h.),

ab 355	Phanerozoikum	Paläozoikum	Karbon	davor (Karbon) warm-feucht, danach (Perm) warm-trocken
ab 410			Devon	Warmklima und relativ trocken
ab 438			Silur	Silur-Ordovizisches Eiszeitalter, Südhemisphäre (um ca. 450-440 Mio. J.v.h.), danach warm und zeitweise sehr feucht
ab 510			Ordovizium	Warm (Warmklima) und feucht, später kühler
ab 570			Kambrium	Warm (Warmklima) und wahrscheinlich feucht
ab 2500	Proterozoikum (Äon)		Mehrere Präkambrische Eiszeitalter (um ca. 620, 750 und 950 Mio. J.v.h.), dazwischen sehr warm; um ca. 2,3 Mrd. J.v.h. sog. „Huronisches“ Eiszeitalter	
ab 3900	Archaikum (Äon)		Exzessives Warmklima	
ab 4600	Hadaikum (Äon)		Formation des Planeten	

In Bezug auf Vorhersagen kann langfristig nur eine These mit großer Wahrscheinlichkeit eintreten: Die aufgrund von Kernfusion abgestrahlte Energie der Sonne wird über die nächsten Milliarden Jahre stark zunehmen und so auch die Energiebilanz der Erde dramatisch beeinflussen. Der Stern unserer Galaxie wird hierdurch irgendwann zum roten Riesen. Während der Kohlendioxidanteil der Atmosphäre genauso wie das Volumen der Ozeane abnehmen wird, steigen die Temperaturen auf der Erdoberfläche stark an.¹²² Die Möglichkeit zur Photosynthese ist Schätzungen zufolge nach 500 Millionen bis 1,6 Milliarden Jahren beendet, womit das Verschwinden des Lebens der umgekehrten Reihenfolge des Entstehens folgt.¹²³

Der Blick soll nun von der ungewissen Zukunft in die Vergangenheit der Erde gelenkt werden, die gesichertere Erkenntnisse zulässt. Das Hauptaugenmerk wird dabei – um einen Vergleich mit den heutigen, anthropogenen Einflüssen anzustellen – auf dem Beitrag der Biosphäre liegen.

¹²² Vgl. Behringer 2014, 285 und Oschmann 2016, 366. Wasser und Kohlendioxid – in Form von Karbonat und Kerogen – wird durch Subduktion im Zuge der Plattentektonik in den Erdmantel transportiert.

¹²³ Vgl. Oschmann 2016, 367.

3) Erdgeschichte und Leben

Für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit ist es natürlich nicht zweckmäßig, die gesamten Beschäftigungsgebiete der historischen Geologie in allen ihren Details aufzurollen. Um den Rahmen daher nicht zu sprengen, sollen zunächst erdgeschichtliche Methoden vorgestellt und ein grober Überblick hinsichtlich der Erdzeitalter geschaffen werden. Das Quartär nimmt hierbei eine besondere Stellung ein. Anschließend soll vermehrt die Biosphäre betrachtet werden.

3.1 Methoden der historischen Geologie

Bei dem Material, das der Erdgeschichte als Quelle dient, handelt es sich primär um Gesteine sowie den darin eingeschlossenen Resten vorzeitlichen Lebens, auch Fossilien genannt. Im Allgemeinen werden in diesem Zusammenhang zwei Disziplinen zur Rekonstruktion der Geschichte der Erde unterschieden:¹²⁴

Chronostratigraphie

Die Ergebnisse liefern relative Altersangaben, die eine hierarchisch gegliederte Einteilung der Erdgeschichte erlauben. Neben der zeitlichen Ordnung können hierdurch außerdem Korrelationen von Gesteinseinheiten über große Entfernungen gefunden werden, weil neben Beziehungen zwischen den Gesteinen auch die räumlich-zeitliche Verbreitung untersucht wird. Beschreibung, Schichtvergleich und Klassifizierung von Schichten in Sedimentgesteinen stellen zentrale, stratigraphische Tätigkeiten dar. Die Grundlagen der Stratigraphie beruhen auf Thesen von Nicolaus Steno aus dem Jahre 1667. Demnach werden Sedimente unter dem Einfluss der Schwerkraft zunächst in horizontalen Schichten abgelagert und Störungen erfolgen in der Regel erst nach der Ablagerung. Daraus ergibt sich die logische Schlussfolgerung, dass im ungestörten Zustand untere Sedimentschichten auch die älteren sind. Oft sind Gesteinsverbände jedoch unvollständig oder weisen mitunter ausgeprägte Lücken, Falten, Brüche oder Scherzonen auf. Fossilien nehmen innerhalb der Stratigraphie eine bedeutende Rolle ein. So ist das gesamte Phanerozoikum, das jüngste Äon der Erdgeschichte, in Einheiten gegliedert, die durch unterschiedliche Fossilführungen gekennzeichnet sind und damit

¹²⁴ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 192ff und Faupl 2003, 13ff.

auf den Prozess der Evolution zurückgehen.¹²⁵ Abrupte Änderungen des fossilen Inhalts der Schichten markieren dabei die Grenzen zwischen diesen Einheiten – zuweilen handelt es sich dabei um Massenaussterben. Die relativen Zeitangaben der Stratigraphie allein reichen nicht aus, um die Gliederung mit konkreten Jahreszahlen zu versehen. Darüber hinaus beschränken sich die genannten Erhebungsmethoden zu einem Großteil auf jene Zeit der Erdgeschichte, in der hartschaliges Leben bereits vorkam, sodass das Alter der Erde selbst hierdurch nicht bestimmt werden kann.¹²⁶

Geochronologie

Die Ergebnisse liefern absolute Zeitangaben und beruhen auf radiometrischen Datierungsverfahren. Der Zerfall eines radioaktiven Isotops unter Freisetzung von Teilchen beziehungsweise Strahlung erfolgt mit einer konstanten Geschwindigkeit und ist weitgehend unabhängig von Druck, Chemismus oder Temperatur. Im Zuge der Kristallisation von Mineralen werden schließlich solche Isotope eingebaut. Durch Massenspektrometer kann folglich das Verhältnis vom ursprünglichen Atom zum Zerfallsprodukt gemessen werden, um auf die Zerfallsrate – in individuellen Halbwertszeiten angegeben – zu schließen. Im Umkehrschluss gelangt man letztlich zum absoluten Alter des vorliegenden Gesteins. Herangezogen werden für diese Methode unter anderem folgende Isotope: Rubidium-87 ^{87}Rb , Uran-238 ^{238}U , Kalium-40 ^{40}K oder Kohlenstoff-14 ^{14}C .¹²⁷ Sie weisen jeweils unterschiedliche Halbwertszeiten auf, weshalb man für vermutlich alte Gesteine Isotope mit geringeren Zerfallsraten auswählt als für jüngere. Schlussendlich konnte durch geochronologische Methoden das absolute Alter erdgeschichtlicher Ereignisse ermittelt und vor allem eine Rekonstruktion der jungen Erde vorgenommen werden. Es stellte sich heraus, dass die Zeit vor der Entstehung hartschaliger Lebewesen neun Zehntel der Erdgeschichte ausmachen, weshalb eine neue, umfassendere Kategorie eingeführt werden musste.

¹²⁵ Man bezeichnet die Disziplin hinter dieser Gliederung auch als Biostratigraphie, welche auf dem sogenannten ‚Leitfossilprinzip‘ beruht.

¹²⁶ Auch wenn man die Biostratigraphie außen vorlässt und etwa nur die Lithostratigraphie betrachtet, können Zeitalter vor dem Auftreten des Lebens nicht valide rekonstruiert werden. Eine Konsequenz daraus war schließlich die Unterscheidung Präkambrium – Kambrium, also eine Zeit vor der kambrischen Explosion und damit dem Aufkommen hartschaliger Lebewesen (welche somit zugänglichere Fossilien hinterließen) sowie eine Zeit, in der solche Organismen bereits existieren. Das Alter der Erde selbst konnte letztlich aus nicht-irdischen Gesteinen abgeleitet werden, nämlich kohlenstoffreichen Meteoriten.

¹²⁷ Kohlenstoffisotope eignen sich für Fossilmaterial und daher primär für junge Gesteine. Kohlenstoff wird zuweilen auch als „Chemie des Lebens“ bezeichnet. Für weitere wichtige Isotope und ihre Zerfallsreihen in tabellarischer Form siehe auch Faupl 2003, 17.

Im Wesentlichen kann man also festhalten, dass die Geochronologie mit immateriellen Begriffen im Sinne physikalischer Zeiteinheiten hantiert, während stratigraphische Einheiten materielle Repräsentationen von Zeitabschnitten darstellen. Parallel hierzu unterscheidet man zwei Methoden zur Einheitsabgrenzung: einerseits das Golden-Spike-Prinzip oder fachterminologisch auch Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) genannt sowie andererseits das Global Standard Stratigraphic Age (GSSA).¹²⁸ Bei einem GSSP handelt es sich um einen materiellen Referenzpunkt, welcher durch eine Kommission in einem vorab definierten Verfahren festgelegt wird. Ein GSSA hingegen ist immaterieller Natur, insofern als hierfür geochronologische Daten gemittelt werden. Der Golden Spike wird gegenüber einem GSSA bevorzugt, vor allem was das Phanerozoikum anbelangt.¹²⁹ In jedem Fall müssen Geochronologie und Chronostratigraphie als einander ergänzend aufgefasst werden. Diese vorgestellten Disziplinen der historischen Geologie lassen sich wiederum in verschiedene Subdisziplinen unterteilen – ihr Verständnis ist aber für die vorliegende Arbeit nicht notwendig.

Die allgemeinen Einheiten, welche in der Erdgeschichte Verwendung finden, sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

¹²⁸ Vgl. Renn et.al. 2017, 164f.

¹²⁹ So wird auch für das Anthropozän ein GSSP diskutiert, bei dem die Verbreitung von Radionukliden im Zuge der ‚Great Acceleration‘ eine Rolle spielen.

Tabelle 3 Erdgeschichtliche Einheiten (nach Faupl 2003, 13).

Geochronologische Einheiten	Chronostratigraphische Einheiten	Beispiel
Äon	Äonothem	Phanerozoikum
Ära	Ärathem	Mesozoikum
Periode	System	Jura
Epoche	Serie	Mittlerer Jura, Dogger
Alter	Stufe	Bajocium
Chron	Zone	Humphriesianum-Zone (Stephanoceras humphriesianum)
Jung-, Spät-, Late	Ober-, Upper	
Alt-, Früh-, Early	Unter-, Lower	

Relevanz für die vorliegende Arbeit haben des Weiteren Methoden zur Klimarekonstruktion, die ich ebenfalls in aller Kürze vorstellen möchte. Hierfür eignet sich etwa das Verhältnis von ^{18}O zu ^{16}O Sauerstoffisotopen – sie sind jeweils stabil – in marinen Sedimenten, welches Aufschluss über vergangene – vor allem quartäre – Meerestemperaturen gibt.¹³⁰ So weist das Meerwasser in Eis- bzw. Kaltzeiten einen höheren ^{18}O -Anteil auf, weil ^{16}O vermehrt in Eisschilden gebunden vorliegt als in Warmzeiten.¹³¹ Schwankungen dieses Verhältnisses sind zudem in Kalk- und Kieselskeletten mariner Organismen konserviert. Das Alter solcher Fossilien wiederum kann durch das Kohlenstoff-14-Isotop festgestellt werden. Darüber hinaus können Variationen der Sauerstoffisotope in Eisablagerungen und Jahresringen von Bäumen zusätzliche Rückschlüsse über Temperatur, Niederschlag und Verdunstung erlauben. Im Zuge einer weiteren Methode können Eisbohrungen vorgenommen werden, die Klimainformationen wie vulkanischen Staub oder gasförmige Einschlüsse wie Kohlendioxid und Methan enthalten, die wiederum Aufschluss über vergangene Zusammensetzungen der Atmosphäre zulassen.¹³² Die Analyse verschiedener Isotope in

¹³⁰ Vgl. Schönwiese 2013, 288.

¹³¹ Vgl. Faupl 2003, 229.

¹³² Bei Eisbohrungen können Klimata der vergangenen 70 000 Jahre rekonstruiert werden, während die Zeitspanne für marine Sedimente durch Isotopenanalyse bis zu 100 000 000 Jahre beträgt. Für noch ältere Sedimente verlieren die Rekonstruktionen zunehmend an Details (vgl. Schönwiese 2013, 288).

den Eisproben oder auch Gasblasen - etwa Deuterium ^2H oder Beryllium-10 ^{10}Be – dienen schließlich der detaillierteren Rekonstruktion der klimatischen Verhältnisse sowie auch der Sonnenaktivität. Für jüngere Abschnitte der Erdgeschichte gibt es das Festland betreffend noch einige weitere Methoden, wie beispielsweise Tropfsteine, Baumdaten und Jahresringbreiten oder Pollenspektren, die auch Rückschlüsse auf vergangene Verteilungen der Flora zulassen.

3.2 Die geologische Zeitskala und Massenaussterben

Nach Betrachtung der erdgeschichtlichen Methodik soll nun eine Überleitung zu den von ihnen hervorgebrachten Erkenntnissen geschaffen werden. Hierfür soll zunächst die geologische Zeitskala im Überblick betrachtet werden, ehe das Phanerozoikum, insbesondere das Quartär, in den Fokus gerückt werden.

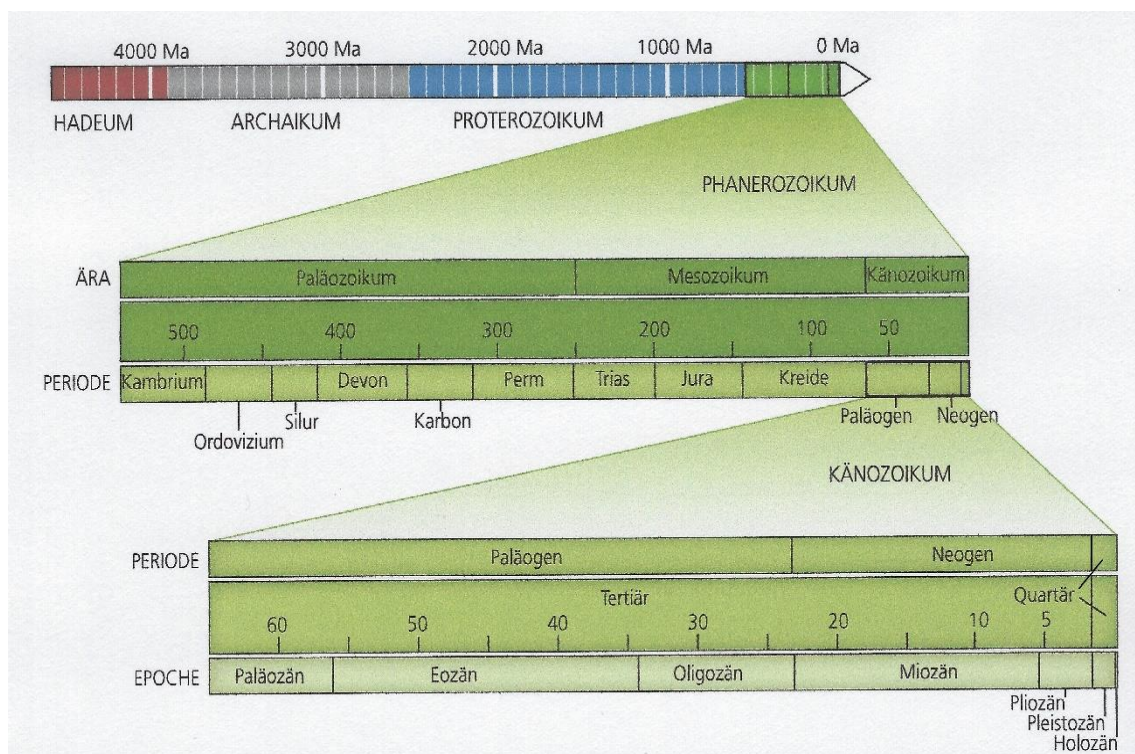


Abbildung 6 Geologische Zeitskala (verändert nach Grotzinger et.al. 2017, 209).

Zu sehen sind zunächst die vier Äonen der Erdgeschichte, beginnend mit der Entstehung der Erde vor etwa 4,6 Milliarden Jahren im Hadeum, auch Hadaikum genannt. Aus diesem Zeitabschnitt sind natürlich kaum Relikte erhalten, sodass sämtliche

Informationen von Meteoriten beziehungsweise der Mond- und Planetenforschung stammen.¹³³ Aus dem anschließenden Archaikum stammen die ältesten Fossilien der Erde, bei denen es sich vor allem um Hinterlassenschaften von Mikrobenmatten, also primitiven Lebensformen, handelt.¹³⁴ Plattentektonische Prozesse wie sie im Rahmen dieser Arbeit beschrieben wurden, gibt es in diesem Äon noch nicht – erst im Proterozoikum kommen entsprechende Vorgänge zustande. Die Lebensformen werden zunehmend komplexer und mit dem Phanerozoikum schließlich erscheinen hartschalige Fossilien, sodass eine biostratigraphische Gliederung möglich wird. Alle anderen Äonen ergeben sich daher aus lithostratigraphischen Grundlagen und der Ergänzung durch radiometrische Datierungen.¹³⁵ Einen groben Überblick über bedeutende Ereignisse dieser Zeitspanne bietet folgende Grafik.

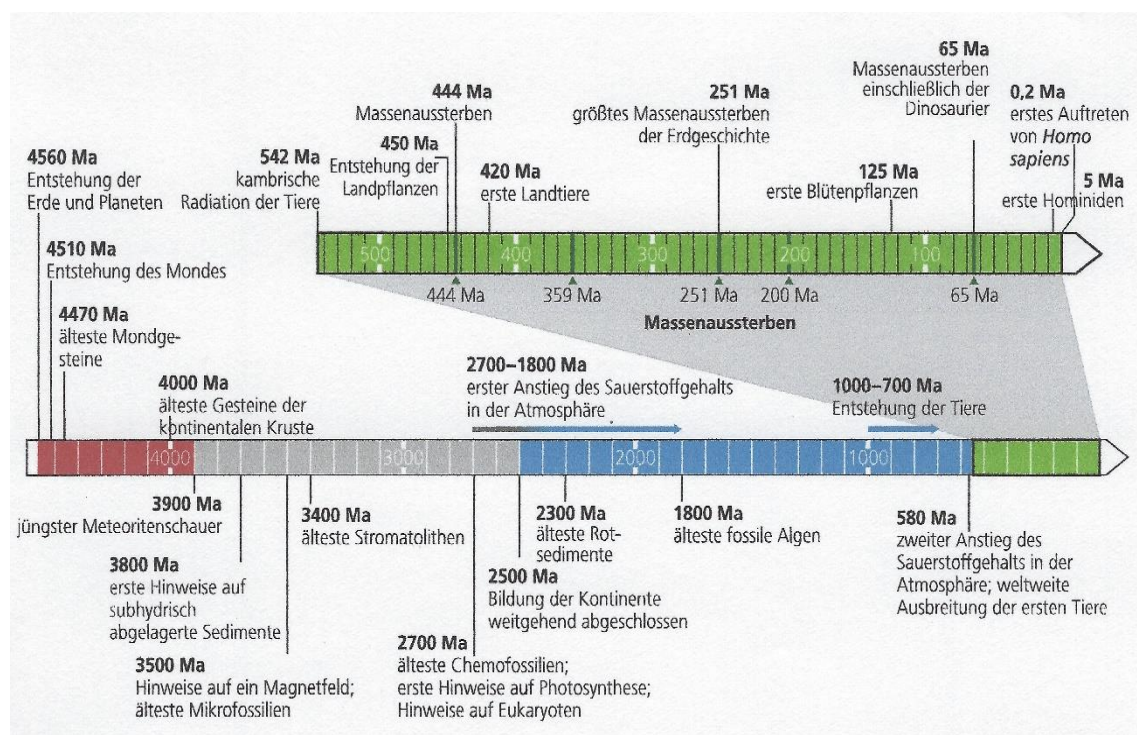


Abbildung 7 Geologische Zeitskala und wichtige Ereignisse in der Geschichte des Lebens (aus Grotzinger et.al. 2017, 286).

¹³³ Vgl. Faupl 2003, 20.

¹³⁴ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 284. Gemeint sind hiermit Stromatolithen, biogene Sedimentgesteine, jedoch keine hartschaligen Überreste.

¹³⁵ Die inoffizielle Trennung Präkambrium-Kambrium geht also auf diesen Umstand zurück. Unter dem Begriff ‚Kryptozoikum‘ werden die präkambrischen Äonen, Hadeum, Archaikum und Proterozoikum subsummiert. Man darf das Erscheinen hartschaliger Fossilien jedoch nicht mit der Entstehung des Lebens – vermutlich vor 3,85 Milliarden Jahren – verwechseln.

Das Phanerozoikum ist hier bereits abgebildet und veranschaulicht den Prozess der Evolution in Form von Ausbreitung und Diversifikation genauso wie durch Massenaussterben – einer überproportionalen Abnahme der Artenzahl in einem geologisch kurzen Zeitraum.¹³⁶ Natürlich wirkten evolutionäre Prozesse bereits seit der Entstehung des Lebens und damit auch im Präkambrium, jedoch lassen sich hervorstechende Aussterberaten für diese Zeit nur schlecht nachweisen. Zu beachten ist, dass Leben und Aussterben zwei Seiten einer Medaille sind, also untrennbar zur Evolution dazugehören. Dezimierungen im Zuge solcher Extremereignisse können jedenfalls die Bildung neuer Arten fördern oder überhaupt erst ermöglichen. Beispielhaft für eine solche Entwicklung ist etwa das Aussterben der Dinosaurier vor ca. 65 Millionen Jahren, dem der Aufstieg der Säugetiere zur beherrschenden Tiergruppe folgte.¹³⁷ Manche Autoren vermuten deshalb, dass die Artenvielfalt heute so hoch ist wie noch nie zuvor in der Geschichte des Lebens. Sie betonen dabei allerdings die Unzulänglichkeit von Aussagen über die Anzahl der Arten in der vergangenen Erdgeschichte.¹³⁸

Massenaussterben beschränken sich darüber hinaus nicht nur auf tierische Lebensformen. Die Extinktionen von Gefäßpflanzen, terrestrischen Vertebraten und marinen Invertebraten fanden jedoch nicht immer zur selben Zeit statt.¹³⁹ Wenn in der Literatur von den ‚Big Five‘ gesprochen wird, sind damit die – nicht unumstritten – fünf größten Massenaussterben der Erdgeschichte gemeint, doch gab es daneben noch eine Vielzahl weiterer Aussterbeereignisse, die meist geringere Ausmaße aufwiesen.¹⁴⁰ Immer wieder wird im Zusammenhang mit dem Anthropozän auch von einer sechsten, großen Massenextinktion gesprochen. Hierbei passt die heutige, globale Erwärmung sehr gut ins Bild, da als Ursachen solcher Extremereignisse im Allgemeinen rasche Klimaveränderungen vermutet werden. Im Detail führt man diese wiederum auf Meteoriteneinschläge oder vulkanische Aktivitäten zurück. Bei den ‚großen Fünf‘ findet

¹³⁶ Vgl. Boenigk et.al. 2014, 66.

¹³⁷ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 20.

¹³⁸ Vgl. Weber 2018, 158. Demnach lassen sich die meisten Fossilien nicht als Art bezeichnen, sondern stattdessen lediglich in Familien oder Gattungen einordnen.

¹³⁹ Vgl. Kadereit 2014, 725.

¹⁴⁰ Wie die Grafik oben bereits zeigt, sind die „Big Five“ allein dem Phanerozoikum zuzuordnen. Frühere Aussterbeereignisse können nicht entsprechend nachgewiesen werden.

sich daher mitunter eine Korrelation mit globalen Abkühlungen.¹⁴¹ Anschließend soll diese nun etwas genauer betrachtet werden.¹⁴²

1. Oberes Ordovizium (vor ca. 444 Millionen Jahren): Ungefähr 85% aller Arten, in erster Linie Brachiopoden, Trilobiten sowie andere marine Tiere, sterben aus. Als Ursache wird ein globaler Temperatursturz um etwa 5°C angenommen, der mit der Ausbreitung von Landpflanzen und der damit zunehmenden chemischen Verwitterung in Verbindung steht. Zur Diskussion steht auch, dass die sich ausbreitenden Pflanzen in zunehmendem Ausmaß atmosphärischen Kohlenstoff assimilierten, was folglich den Treibhauseffekt verringerte.
2. Oberes Devon (vor ca. 360 Millionen Jahren): Die Abfolge mehrerer Aussterbewellen über einen Zeitraum von 20 Millionen Jahren führt zu einem Verlust von 75% aller damaligen Arten, wiederum marine Tiergruppen betreffend. In dieser Zeit wird auch eine Reduktion des Sauerstoffgehalts der Ozeane sowie ein erneuter, abrupter Fall des atmosphärischen Kohlenstoffgehalts vermutet.
3. Perm-Trias-Grenze (vor ca. 252 Millionen Jahren): Hierbei handelt es sich um das größte Massenaussterben des Phanerozoikums, bei dem 96% aller marinen Lebensformen und rund zwei Drittel der terrestrischen Arten verschwanden. Das Ereignis steht im Zusammenhang mit einem raschen Temperaturanstieg von 5-10°C bei zunehmendem Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre. Es steht eine Vielzahl an möglichen Ursachen zur Diskussion, mitunter ein Meteoriteneinschlag und gewaltige, vulkanische Aktivitäten.
4. Obere Trias (vor ca. 200 Millionen Jahren): Plattentektonische Prozesse die mit dem Auseinanderbrechen des Superkontinents Pangaea einhergingen resultierten in ausgeprägtem Vulkanismus. Es werden ähnliche Vorkommnisse wie an der Perm-Trias-Grenze angenommen, jedoch über einen kürzeren Zeitraum. Ungefähr 80% aller Arten sterben aus.
5. Kreide-Paläogen-Grenze (vor ca. 66 Millionen Jahren): Das vermutlich bekannteste Extinktionsereignis geht auf einen Meteoriteneinschlag im

¹⁴¹ Vgl. Behringer 2014, 37.

¹⁴² Vgl. Boenigk et.al. 66ff.

Zusammenspiel mit vulkanischen Aktivitäten zurück. Die Artenvielfalt wird um etwa 75% reduziert und die Dinosaurier sterben aus.¹⁴³

Die Daten zu den dargestellten Massenaussterben variieren in der Literatur zuweilen. Für die vorliegende Arbeit sind allerdings nicht die konkreten Zahlen von Bedeutung, sondern zunächst die Unterscheidung von Naturereignissen und ‚Katastrophen‘. So handelt es sich bei Ersterem um Sachverhältnisse während Letztere Werturteile darstellen.¹⁴⁴ Wie die Erdgeschichte zeigt, sind dramatische Reduktionen der Artenvielfalt und große Umwälzungen des Klimasystems mit all seinen Komponenten keine Neuheit im Anthropozän, vor allem weil die ‚Big Five‘ nur die Gipfel dieser Art von Ereignissen darstellen. Generell kann aus diesen erdgeschichtlichen Erkenntnissen abgeleitet werden, dass über 99% der Arten, die jemals auf der Erde gelebt haben, ausgestorben sind.¹⁴⁵ Die Erhebung der Daten zu solchen Entwicklungen ist genauso wie die anschließende – oder oft schon implizite – Bewertung anthropogenen Ursprungs: An späterer Stelle wird darauf nochmals zurückgekommen. Extinktionsereignisse veranschaulichen darüber hinaus die bereits dargelegte Dynamik der Geosysteme und ihrer Komponenten.

¹⁴³ Mit Ausnahme des Vorfahren der Vögel.

¹⁴⁴ Vgl. Herrmann 2015, 3f.

¹⁴⁵ Vgl. Begon 2017, 476.

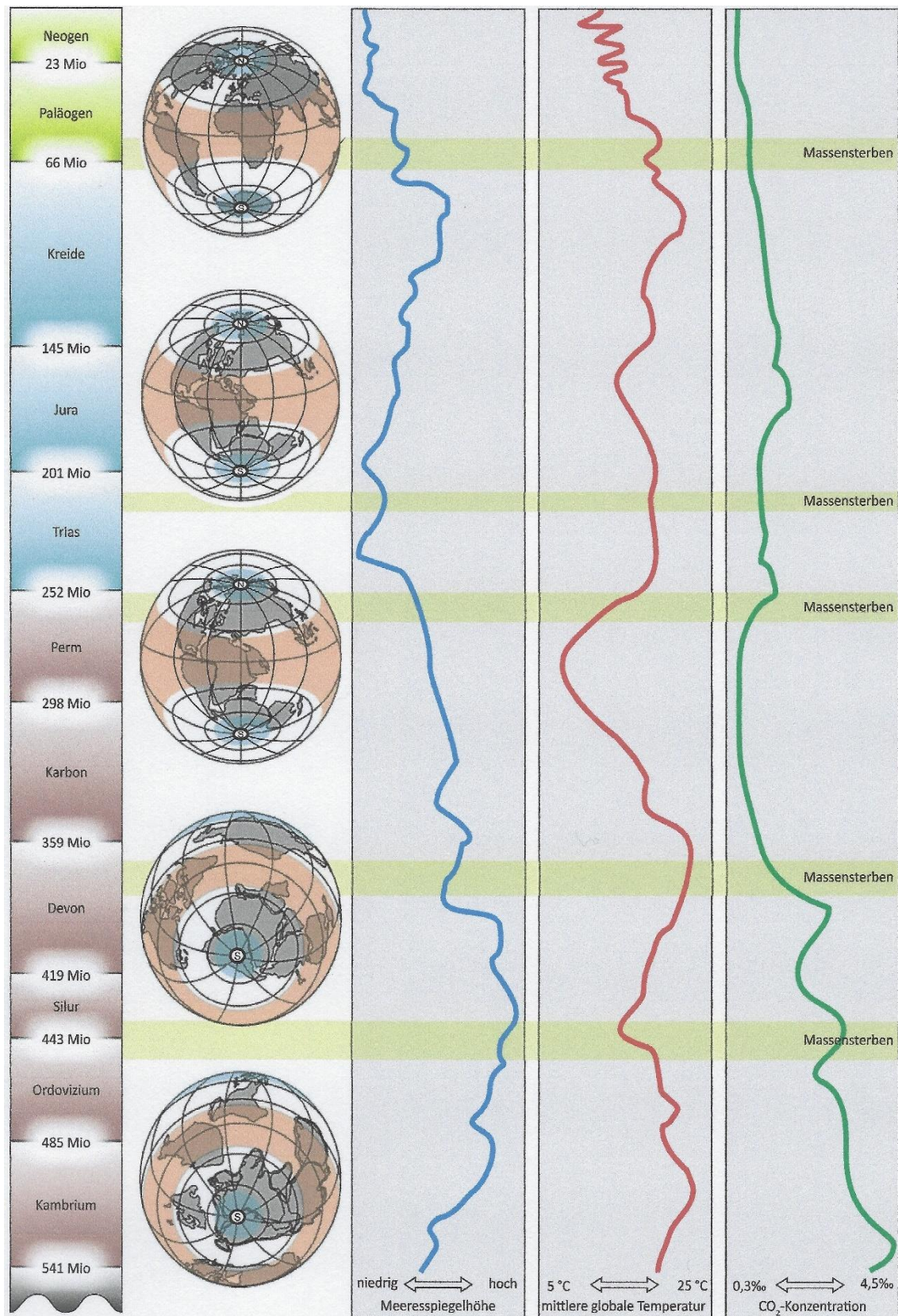


Abbildung 8 Verlauf einiger Parameter des Klimasystems und die fünf großen Massenaussterben des Phanerozoikums (aus Boenigk & Wodiok 2014, 69).

Im Allgemeinen stehen Klimasystem und Biosphäre also in einem besonderen Verhältnis zueinander. An dieser Stelle sei an die Theorie der Synergetik, insbesondere die Vorstellung zirkulärer Kausalität, erinnert. In diesem Sinne würden Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre und Lithosphäre das Geosystem Klima zugleich konstituieren und umgekehrt durch ebenjenes konstituiert werden. Die Dynamik würde dann Fluktuationen und immer wiederkehrende Wechsel der Ordnungsparameter darstellen. Mit anderen Worten ändern sich Klimaverhältnisse und mit ihnen die Komponenten des Klimasystems beziehungsweise aufgrund der Zirkularität auch in umgekehrter Reihenfolge. Massenaussterben können daher auch als Teil einer Transition verstanden werden, die von einer gegebenen Konstellation der Geosysteme – ihre Komponenten eingeschlossen – wegführt. Im Gegensatz zu den anderen Klimakomponenten weist die Biosphäre in diesem Zusammenhang jedoch höhere Komplexität auf, welche in Form der biologischen Evolution gegeben ist. Neben einem Stoff- und Energieaustausch mit der Umgebung, wie es für offene Systeme notwendig ist, weisen lebende Organismen zudem einen Informationswechsel auf.¹⁴⁶ So sind Lebensformen zwar einerseits durch höhere Sensibilität charakterisiert als unbelebte Systeme, doch weisen sie damit einhergehend die Fähigkeit zur Anpassung auf.¹⁴⁷ Die dynamische Struktur zwischen den Elementen kann sich dadurch entwickeln, sodass Transitionen also mit Entwicklung in der Biosphäre einhergehen. Ein Resultat ist die breite Besiedelung der Erdoberfläche und die damit zunehmende Bedeutung biogeochemischer Kreisläufe für das Geosystem Klima.

3.3 Das Quartär

Eine äußerst rasche Anpassungsfähigkeit wurde vor allem im Pleistozän des Quartär befördert, da eine Vielzahl an Wechsel aus Kalt- und Warmzeiten entsprechende Veränderungen abverlangte.¹⁴⁸ Die Ursache für diese Abwechslungen ist größtenteils in

¹⁴⁶ Vgl. Eidemüller 2017, 231.

¹⁴⁷ Organismen besitzen die Möglichkeit zu (transgenerationalen) Veränderungen ihrer Informationsspeicher auf verschiedenen Ebenen. Entscheidend ist hierfür unter anderem die Umwelt und damit auch die Selektion. Aussterbeereignisse sind hinsichtlich dieser Dynamik daher integrativer Bestandteil.

¹⁴⁸ Vgl. Oschmann 2016, 345. Die känozoische Eiszeit nahm ihren Anfang eigentlich bereits im Paläogen vor rund 30 Millionen Jahren, als sich die Antarktis und Australien trennten und so eine zirkumpolare Strömung etabliert werden konnte. Ab diesem Zeitpunkt konnte Wasser langsam wieder von der Hydrosphäre in die Kryosphäre übergehen.

den bereits vorgestellten Erdbahnparametern zu sehen, weil die jeweiligen Temperaturentwicklungen den Treibhausgasvariationen vorausgingen.¹⁴⁹ Übergänge von Warmzeiten in Kaltzeiten erfolgten dabei langsam, während umgekehrt Erwärmungen eher abrupt vonstattengingen.¹⁵⁰ Mit einer Zeitspanne von ca. 5000 bis 30 000 Jahren fielen die Interglaziale im Vergleich zu den Glazialen deutlich kürzer aus.¹⁵¹ Das Holozän, die heutige Warmzeit, dauert nunmehr etwa 11 700 Jahre an und scheint dabei äußerst stabil zu sein. Die Amplitude dieser Klimaschwankungen hat sich seit ungefähr 800 000 Jahren verstärkt, während sich die Wellenlänge von etwa 41 000 Jahren im alten auf rund 100 000 Jahre im jungen Quartär ausgedehnt hat.¹⁵² In der folgenden Grafik sind die Wechsel aus Kalt- und Warmzeiten mit einer Berücksichtigung der Erdbahnparameter nochmals dargestellt.

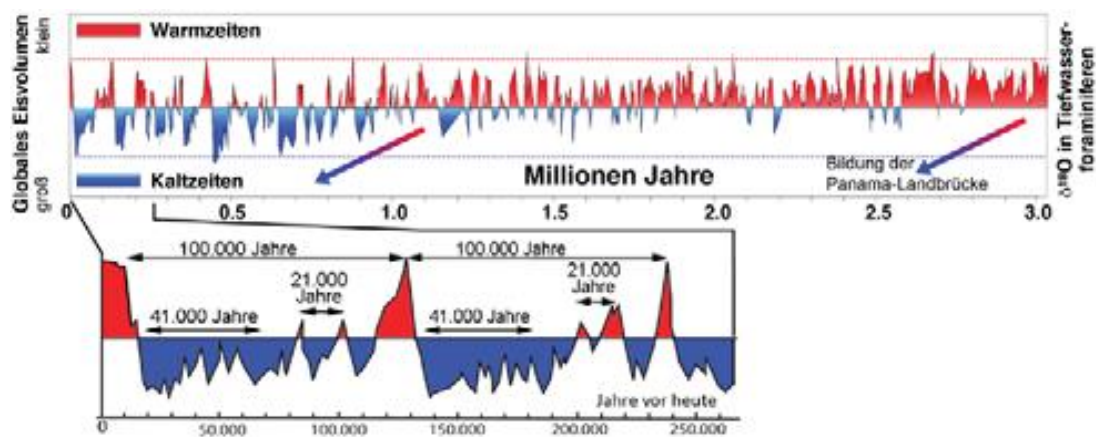


Abbildung 9 Darstellung der Wechsel von Kalt- und Warmzeiten im Zusammenhang mit den Parametern: Exzentrizität 100 000 Jahre, Obliquität 41 000, Präzession 21 000 (aus Oschmann 2016, 337).

Die Gliederung des Quartärs folgt anstelle von biostratigraphischen Referenzen den eben erwähnten klimatischen Gesichtspunkten.¹⁵³ Auf der geologischen Zeitskala befinden wir uns weiterhin im Äon (Aonothem) des Phanerozoikums, nun aber innerhalb der Ära (Ärathem) des Känozoikums. Die Größenordnung betreffend stellt das Quartär ein System beziehungsweise eine Periode dar. Pleistozän und Holozän sind dementsprechend Serien beziehungsweise Epochen im quartären Eiszeitalter, dem jüngsten Abschnitt der

¹⁴⁹ Vgl. Oschmann 2016, 339.

¹⁵⁰ Vgl. Brönnimann 2018, 297.

¹⁵¹ Vgl. Schönwiese 2013, 296.

¹⁵² Vgl. ebd., 296 u. 299.

¹⁵³ Vgl. Faupl 2003, 227.

heutigen kryogenen Periode. Die nachstehende Tabelle soll in diesem Zusammenhang zur Orientierung beitragen.

Tabelle 4 Geologische Gliederung des Quartärs. K=Kaltzeit W=Warmzeit; Klimastufen sind umstritten/inoffiziell (Abgeändert nach Faupl 2003, 228.)

System	Serie	Stufe		Beginnend (Zeit in Jahren vor heute)
Quartär	Holozän		<i>Klimastufen:</i> Subatlantikum	2 800
			Subboreal	4 500
			Atlantikum	7 300
			Boreal	8 600
			Präboreal	11 700
	Pleistozän	Jung- (Tarantium)	<i>Alpen:</i> Würm (K) Riss/Würm (W)	130 000
			Riss (K) Mindel/Riss (W)	423 000
		Mittel- (Ionium)	Mindel (K) Günz/Mindel (W)	780 000
			Günz (K) Prägünz	1,8 Millionen
		Alt- (Calabrium)		2,58 Millionen
		Gelasium		

In Bezug auf das Anthropozän stellt sich an diesem Punkt die Frage, wie es in die übrige, geologische Zeitskala eingegliedert werden könnte. Betrachtet man die verschiedenen Serien (Epochen) des Phanerozoikums, so muss man feststellen, dass sie in der Regel eine Zeitspanne von mehreren Millionen Jahren umfassen. Hierbei fällt das Pleistozän im Vergleich bereits sehr kurz aus, es wird nur vom Holozän mit seinen 11 700 Jahren

nochmals unterboten. Aufgrund dessen könnte man auch dafür argumentieren, die gegenwärtige Serie als weitere Stufe des Pleistozäns zu interpretieren, zumal es sich beim Holozän um eine Warmzeit innerhalb einer Eiszeit handelt und manche Wissenschaftler von einer eintretenden Kaltzeit in unbestimmbarer Zukunft ausgehen. Auch wenn man das Anthropozän mit dem Beginn des Ackerbaus datiert und hierdurch das Holozän mehr oder weniger ersetzt, würde dieser Zeitabschnitt in geologischer Hinsicht ein Wimpernschlag bleiben – von der ‚Great Acceleration‘ ganz zu schweigen. Bei den Spuren des Menschen muss es sich also um eine äußerst dünne Schicht handeln, deren Nachweisbarkeit in der fernen Zukunft zudem zur Debatte steht, denn auch Plastik oder Beton zerfallen in erdgeschichtlichen Zeitverhältnissen sehr bald und werden zusammen mit Radionukliden in den Sedimenten durchmischt. Die geologische Zeitskala befasst sich in diesem Kontext mit Ereignissen in der Vergangenheit, welche sinnvollerweise die Dynamik der Geosysteme berücksichtigt, weshalb man auch von Erdgeschichte spricht. Wie bereits erläutert wurde, erstrecken sich diese Prozesse allerdings über einen verhältnismäßig großen Zeitraum, sodass ein zur Debatte stehendes Anthropozän – wenn überhaupt – erst in weiter Zukunft ausgerufen werden könnte.

Ein neues Zeitalter erscheint aus dieser Perspektive also redundant. Vielmehr zeugt die aktuelle Kontroverse von einer Überschätzung unserer Spezies hinsichtlich des Schicksals der Erde. Oftmals wird behauptet, keine andere Art hätte das „*Antlitz der Erde so stark verändert wie Homo sapiens*“. ¹⁵⁴ Dieser Aspekt soll nun etwas näher beleuchtet und der Einfluss der Biosphäre auf das Klimasystem mit seinen Komponenten im Verlauf der Erdgeschichte hervorgehoben werden.

3.4 Der Einfluss der Biosphäre auf das Klimasystem

Rundet man das Alter der Erde auf 4,6 Milliarden Jahre und setzt es in Relation zur Entstehung des Lebens vor etwa 3,85 Milliarden Jahren, dann kommt man zu dem Schluss, dass die Erde nur knapp 800 Millionen Jahre keine Lebensformen beherbergte. ¹⁵⁵ Stellt man diesen gewaltigen Zahlen den Zeitraum des Anthropozäns gegenüber, könnte man bereits Zweifel hegen, ob denn wirklich nur der Mensch Einfluss auf das Erdsystem nimmt, respektive genommen hat. Lebewesen sind zumindest auf der

¹⁵⁴ Weber 2018, 236.

¹⁵⁵ Vgl. Penzlin 2016, 10.

Erdoberfläche allgegenwärtig und die heutige Biomasse der Biosphäre wird auf $1,85 \cdot 10^{12}$ Tonnen geschätzt, wovon die autotrophe Phytomasse rund 99% ausmacht, während der Rest durch die heterotrophen Pflanzen, Pilze und Tiere konstituiert wird.¹⁵⁶ In diesem Zusammenhang ist zu betonen, dass die Welt der Mikroorganismen noch nicht einmal annähernd gänzlich erschlossen ist. Der Anteil des Menschen an der Gesamtbiomasse ist daher verschwindend gering – ein weiteres Indiz für die bereits zuvor erwähnte Überschätzung.

Es soll bei der Betrachtung der Rolle der Biosphäre zunächst im geologischen Bereich verblieben werden. So muss im Kontext von erdgeschichtlichen Methoden und Erkenntnissen auch auf den Kreislauf der Gesteine verwiesen werden, welcher sich aus ebenjenen Theorien – etwa Plattentektonik – ableitet und den ich in aller Kürze vorstellen möchte.

3.4.1 Gesteine und Minerale

Bei einem Gestein handelt es sich um einen geologischen, festen Körper, der statistisch eine gleichartige Zusammensetzung aufweist, meist aber ein Gemenge aus verschiedenen Mineralen darstellt.¹⁵⁷ Ganz allgemein gesprochen unterscheidet man drei Gesteinsklassen, die ineinander übergehen können. Der Prozess spiegelt dabei die Interaktion der beiden Geosysteme Plattentektonik und Klima wider.¹⁵⁸ Die Gesteinsklassen lauten:¹⁵⁹

- Magmatische Gesteine
- Sedimentgesteine
- Metamorphe Gesteine

Magmatite oder magmatische Gesteine gehen aus Schmelzen aus dem Erdmantel hervor, die entweder langsam – Plutonite genannt – oder schnell – als Vulkanite bezeichnet –

¹⁵⁶ Vgl. ebd., 11.

¹⁵⁷ Vgl. Markl 2015, 3. Ein Mineral wiederum ist eine kristalline, chemische Verbindung oder Element. Gesteine können sich auch aus nur einem einzigen Mineral zusammensetzen und darüber hinaus biogene oder amorphe Substanzen enthalten.

¹⁵⁸ Allerdings können auch Umpolungen des Erdmagnetfelds in Gesteinen nachgewiesen werden, die als Referenz für geologische Ereignisse dienen.

¹⁵⁹ Vgl. Markl 2015, 4f. Manchmal werden auch Hydrothermalbildungen als vierte Gesteinsklasse angeführt. Sie entstehen aus heißen, wässrigen Lösungen und erlangen nur in sehr seltenen Fällen nennenswerte Größe.

abkühlen und erstarren, je nachdem in welcher Geschwindigkeit sie die Oberfläche erreichen.

Sedimentgesteine beruhen auf dem Prozess der Sedimentation, einem Vorrang, bei welchem sich Teilchen der Erdanziehungskraft folgend schichtenweise ablagern. Über Tausende bis Millionen von Jahren werden diese Schichtpakete immer dichter und pressen sich durch ihr Eigengewicht zusammen, sodass daraus Gestein wird. Im Zuge der Sedimentation werden auch Tiere oder Pflanzen in die Schichten eingebettet. Erosion, Transport und Diagenese bilden für Sedimentgesteine bedeutende Teilprozesse.

Metamorphite oder metamorphe Gesteine entstehen schließlich durch einen Umwandlungsprozess, bei dem Druck und Temperatur eine zentrale Rolle spielen. Ausgangsmaterial bilden die Sedimentgesteine, wobei der Übergang zwischen diesen Gesteinsklassen in beide Richtungen erfolgen kann. Um den Kreislauf zu schließen, besteht einerseits die Möglichkeit der Metamorphose für Magmatite und andererseits die Rückführung von Metamorphiten und Sedimentgesteinen zu Schmelzen durch aufschmelzen der jeweiligen Gesteinsklassen.¹⁶⁰

¹⁶⁰ Partielle Schmelzvorgänge bilden hier eine Ausnahme. Durch diesen speziellen Prozess entstehen Migmatite, welche zu unterschiedlichen Anteilen aus Metamorphiten und Magmatiten bestehen. Für weitere Informationen vgl. Landmann 2014, 11ff. oder vgl. Grotzinger et.al. 2017, 77ff.

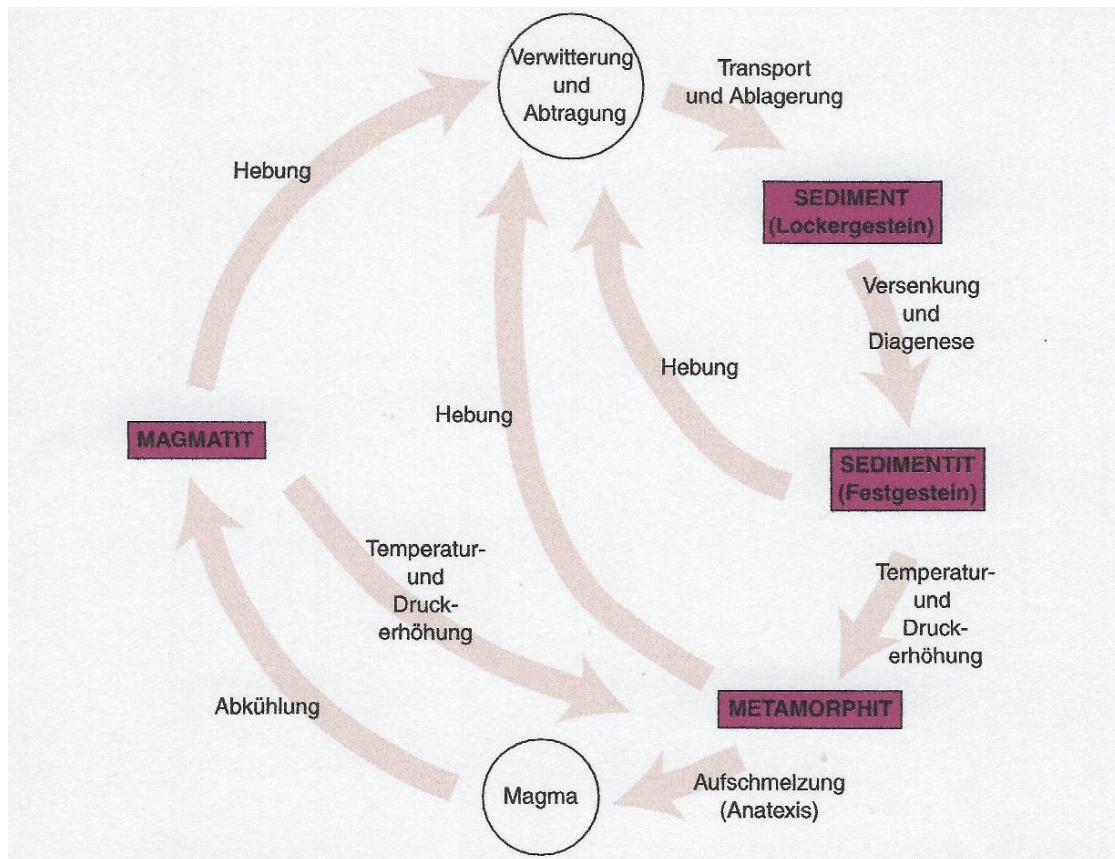


Abbildung 10: Der Kreislauf der Gesteine (aus Markl 2015, 14).

Verwitterung stellt in diesem Kreislauf ein Bindeglied für alle Gesteinsklassen dar. Am ausgeprägtesten ist sie dort, wo Relief vorhanden ist, zum Beispiel bei Gebirgen. Neben Plattentektonik fördern allerdings auch biologische Phänomene Verwitterungsprozesse. Generell unterscheidet man physikalische von chemischer Verwitterung, doch biotische Einflüsse finden sich beiderseits. Als Beispiele lassen sich einerseits Pflanzenwurzeln anführen, die in winzigste Hohlräume oder Öffnungen von Gesteinen hineinwachsen und diese so sprengen können. Andererseits vermögen Organismen über die Freisetzung von Gasen und Säuren Minerale zu zerstören, was gleichzeitig Nährstoffe freisetzt.¹⁶¹ Auch die Anreicherung von Kohlendioxid aus Atmungsprozessen in Böden beschleunigt die Verwitterung, da die Azidität erhöht wird.¹⁶² Darüber hinaus kann biogenes Material selbst – etwa Schalen abgestorbener Tiere – akkumuliert, sedimentiert und verfestigt, also zu einem Gestein werden. Im Falle der Kalkalpen können sogar ganze Gebirgszüge aus

¹⁶¹ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 272.

¹⁶² Vgl. Begon 2017, 426.

den Überresten toter Organismen hervorgehen. Biologisch induzierte Mineralausfällungen führen daher zu bedeutenden Sedimentlagerungen. Man kann in diesem Zusammenhang feststellen, dass Lebewesen im Verlauf der Evolution begannen Minerale für ihre Zwecke zu nutzen und daher auch nach ihrem Tod zu hinterlassen.¹⁶³ Sie sind dazu in der Lage, anorganisches Material zu synthetisieren, auszuscheiden oder in ihre Körperzellen einzubauen.¹⁶⁴ Der zugrunde liegende Prozess wird als Biomineralisation bezeichnet.

Im Detail unterscheidet man biogene oder biologisch induzierte Mineralisation (BIM) und organogene oder biologisch kontrollierte Mineralisation (BCM).¹⁶⁵ Im Zuge der BIM findet eine Reaktion von Stoffwechselprodukten von Organismen mit Ionen oder Molekülen in der unmittelbaren Umgebung statt. Diese Art der Biomineralisation ist typisch für viele Mikroorganismen und vollzieht sich oftmals tief in Sedimenten. Die mikrobielle Ausfällung von Carbonat- und Silicatmineralen in heißen Quellen sind hierbei zu nennen.¹⁶⁶ Als weitere Beispiele können Sulfate oder Metalle angeführt werden, die bei der Atmung verschiedener Bakterien freigesetzt werden.¹⁶⁷

BCM hingegen stellt die Fähigkeit zur kontrollierten Erzeugung anorganischer Kristalle dar, welche bereits Archaeen und Bakterien im Archaikum aufweisen. Auch Innen- und Außenskelette enthalten besagte Substanzen. Neben Knochen sind aber auch Zähne und Schalen hinzuzuzählen. Für das Tierreich liegen die Beispiele auf der Hand, doch auch im Pflanzenreich findet Biomineralisation statt. So sind hierbei etwa Kiesel- und Kalkalgen oder das Schilfrohr zu nennen, welches zur Sicherung von Stabilität Kieselsäure einlagert. Die durch BCM erzeugten Biominerale stellen zumeist einen Evolutionsvorteil dar. Ihre Verwendung unter den Lebewesen ist dabei äußerst vielfältig:

- *„als mechanische Stützen im Innen- oder Außenskelett von Tieren und einigen Pflanzen,*
- *als Schutzwall, zum Beispiel bei Schalen von Muscheln oder Brachiopoden,*
- *zur Verteidigung, zum Beispiel als Stachel bei Seeigeln oder Rochen,*

¹⁶³ Gemeint sind hartschalige Überreste ab dem Kambrium beziehungsweise Innen- und Außenskelette im Allgemeinen.

¹⁶⁴ Vgl. Welsch 2017, 236.

¹⁶⁵ Vgl. ebd., 237.

¹⁶⁶ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 281.

¹⁶⁷ Auf diese Weise kann es beispielsweise zur Ausfällung von Pyrit (FeS_2) kommen. Überhaupt nehmen Mikroorganismen durch diese Tätigkeiten eine zentrale Rolle in biogeochemischen Kreisläufen ein, welche die unterschiedlichen Komponenten des Klimasystems verbinden.

- *als Waffen in Form von Scheren bei Krebsen,*
- *als optische Linsen, etwa bei den Augen von Trilobiten,*
- *für den Gleichgewichtssinn etwa Ohrsteine bei zahlreichen Tierarten und ähnliche Sinne bei Pflanzen,*
- *als Orientierungshilfen bei einigen Bakterien oder Zugvögeln in Form von Magnetosomen“¹⁶⁸*

Mindestens 64 durch BCM erzeugte Biominerale können unterschieden werden. Sie bestehen aus wechselnden Anteilen anorganischer beziehungsweise organischer Substanzen, weshalb sie also Verbundmaterialien darstellen. Die Biosphäre hat hierdurch die unbelebte Welt der Gesteine und ihre Bestandteile nicht nur geformt, sondern sie sich sogar zu Nutzen gemacht. Die Einflussnahme des Menschen in Form von neu geschaffenen Materialien stellt daher keine Neuerung dar. Lediglich die dahinterstehenden Prozesse sind erstmalig im Verlauf der Erdgeschichte, da sie erst mit der kulturellen Evolution möglich wurden.

Vergleicht man die Erde als belebten Planeten mit anderen, unbelebten Himmelskörpern, so ist ein drastischer Unterschied in der Mineralienvielfalt erkennbar. Während Mond- und Marsgesteine etwa nur rund 350 Minerale aufweisen, sind es im Erdsystem über 4400, weshalb eine parallele Entwicklung mit Lebewesen angenommen werden kann.¹⁶⁹ Umweltbedingungen sind auf diese Weise nicht nur für lebende Organismen von Bedeutung. Es ist eine gewisse Reziprozität erkennbar, die sich über die Umwelt manifestiert: Gesteine und ihre Bestandteile werden sowohl durch sie als auch Lebewesen geformt. Beiderseits sind sie dazu imstande, die Umgebung zu formen. Am anschaulichsten lässt sich dieser Umstand anhand der Atmosphäre nachvollziehen.

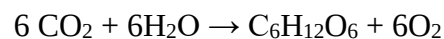
3.4.2 Die Atmosphäre

Wie bereits skizziert, unterlag die Erde seit ihrer Entstehung zahlreichen Wandlungen. Deshalb handelt es sich bei der „Uratmosphäre“ zunächst um ein Entgasungsprodukt des Erdmantels, über dessen Zusammensetzung unterschiedliche Vermutungen vorliegen.

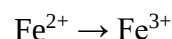
¹⁶⁸ Welsch 2017, 237.

¹⁶⁹ Vgl. ebd., 235. Norbert Welsch führt daher den Begriff der mineralogischen Evolution in Anlehnung an die biologische Evolution an.

Der anerkanntesten Ansicht nach bestand sie überwiegend aus Kohlendioxid und Wasserdampf sowie in geringen Mengen aus Stickstoff, Wasserstoff und Kohlenmonoxid.¹⁷⁰ Der Sauerstoffanteil (O₂) lag damit vermutlich weit unter einem Prozent des heutigen Wertes, weshalb die damalige Atmosphäre als anoxisch bezeichnet wird.¹⁷¹ Eine Sauerstoffanreicherung erfolgte erst durch (oxygene) Photosynthese betreibende Organismen.¹⁷² Aquatische Cyanobakterien produzierten hierdurch vor etwa 3 Milliarden Jahren, im Zuge ihrer autotrophen Lebensweise, erstmals Sauerstoff als Nebenprodukt.¹⁷³



Die Konsequenzen waren sowohl weitreichend als auch nachhaltig, zeigten sich allerdings nach mehreren hundert Millionen Jahren. Ehe sich an der Atmosphäre irgendeine Änderung vollziehen konnte, reagierte der abgegebene Sauerstoff zunächst mit seiner unmittelbaren Umgebung im Meerwasser. So wurden Elemente mit niedrigen Oxidationsstufen oxidiert und deshalb vor allem dreiwertiges Eisen ausgefällt.¹⁷⁴



Eisen (Fe²⁺) ist in Wasser nur solange löslich wie kein Sauerstoff vorhanden ist, weshalb die Oxidation zu nahezu unlöslichen Verbindungen führte.¹⁷⁵ Heutige Zeugen des Vorgangs der Ausfällung sind sogenannte Bändereisenerze, welche mit der Erschöpfung des Vorhandenseins von Fe²⁺ nicht mehr entstanden. Erst als dieser Vorrat also aufgebraucht war, konnte sich Sauerstoff in den Ozeanen lösen und somit auch in die Atmosphäre entweichen, womit es vor 2,4 Milliarden Jahren zum „Großen Oxidationsereignis“ und einem Sauerstoffgehalt der Atmosphäre von ungefähr einem Prozent kam. Die Anzahl der Minerale wuchs infolge von Hydratisierung und Oxidation rasant an und in globalem Ausmaß begann die noch kahle Erdoberfläche zu rosten – der

¹⁷⁰ Vgl. Faupl 2003, 26.

¹⁷¹ Der Grund für in Spuren vorhandenen Sauerstoff in der Uratmosphäre könnte auf photolytische Spaltung von Wasser (H₂O) und Kohlendioxid (CO₂) durch energiereiches Licht in höheren Atmosphärenschichten liegen.

¹⁷² Anoxygene und oxygene Photosynthese entstanden vermutlich bereits vor mehr als 3 Milliarden Jahren. Nur Letztere ist für die Sauerstoffanreicherung relevant (Vgl. Kadereit 2014, 725).

¹⁷³ Vgl. Mortimer et.al. 2010, 466.

¹⁷⁴ Darüber hinaus wurden auch Sulfate ausgefällt.

¹⁷⁵ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 289.

gesamte Planet wurde damit rot gefärbt.¹⁷⁶ In Bezug auf die Biosphäre war während dieser Zeit ein Massenaussterben zu verzeichnen, da die Lebensräume für obligat anaerobe Organismen dramatisch reduziert wurden. Im Gegenzug wurde aeroben Lebensformen dadurch ausgeprägte Diversifikation ermöglicht. So benötigen Eukaryonten einen entsprechenden Sauerstoffpegel, um den Vorgang der Atmung vollziehen und schließlich für sie notwendige Strukturen synthetisieren zu können. In klimatischer Hinsicht folgt dem großen Oxidationsereignis bald eine Eiszeit, zu denen es im Proterozoikum noch mehrmals kommen sollte. Erst nach langer Zeit stieg der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre weiter an bis er vor rund 450 Millionen Jahren schließlich den heutigen Wert erreichte.¹⁷⁷ Dies scheint primär die Konsequenz der Ausbreitung von Pflanzen auf die Festländer gewesen zu sein. Zusätzlich korreliert dieser Anstieg aber mit der Einlagerung von Kohlenstoff in Sedimenten.¹⁷⁸ Generell kann eine Reduktion des in der Uratmosphäre reichlich vorhandenen Kohlenstoffdioxids in der Atmosphäre angenommen werden, da vor allem die pflanzliche Biomasse vehement zunahm und somit Kohlenstoff vermehrt assimiliert wurde. Dem dadurch sinkenden Treibhauseffekt wirkte die Erhöhung der Sonnenenergie entgegen. Leben konnte sich allerdings trotz dieses Umstands auf der Erde – insbesondere dem Festland – ausbreiten, da die zunehmende Sauerstoffkonzentration der Atmosphäre auch die Bildung einer UV-Strahlung absorbierenden Ozonschicht erlaubte.¹⁷⁹

Daraus lässt sich postulieren, dass allein die grundlegenden Lebensaktivitäten von Photosynthese betreibenden Mikroorganismen und Pflanzen erheblichen Einfluss auf das junge Erdsystem nahmen. Bezugnehmend auf das Anthropozän ist daher zu vermerken, dass der Mensch nicht die erste einflussnehmende Spezies ist. Stattdessen handelt es sich um ein grundlegendes Merkmal aller Lebensformen, dass sie als offene Systeme einen mehr oder weniger umfangreichen Stoffaustausch betreiben.¹⁸⁰ Im Falle der (oxygenen) Photosynthese betreibenden Organismen wird die Energie des Sonnenlichts zunächst dazu genutzt um zwei Wassermoleküle zu spalten, was in der Freisetzung von Sauerstoff

¹⁷⁶ Im Prinzip spielten sich ähnliche Vorgänge wie zuvor in den Ozeanen ab: zweiwertiges Eisen wurde zu rotem, dreiwertigem Eisen oxidiert (Vgl. Welsch 2017, 236).

¹⁷⁷ Vgl. Faupl 2003, 28.

¹⁷⁸ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 290.

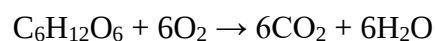
¹⁷⁹ Vgl. Kadereit 2014, 725.

¹⁸⁰ Vgl. Penzlin 2016, 64. Verschiedene Formen der Kryptobiose – eine extreme Reduktion sämtlicher Stoffwechselvorgänge – stellen hierbei einen Streitpunkt dar. Jegliche Aktivität beruht aber letztlich auf einem Stoffaustausch beziehungsweise Energieverbrauch.

(O₂) resultiert. Während die Energie über angeregte Elektronen durch verschiedene Moleküle transportiert wird, dienen die abgespaltenen Wasserstoffmoleküle als Protonengradient, der zur Synthese von Adenosintriphosphat (ATP) genutzt wird.¹⁸¹ Im Calvin-Zyklus oder der sogenannten „Dunkelreaktion“ wird schließlich Kohlenstoff aus dem Kohlendioxid der Atmosphäre fixiert, zu Glucose reduziert und assimiliert. Diese autotrophe Lebensweise hat nicht nur zur Ausbildung der heutigen Atmosphäre geführt, sondern überhaupt das Aufkommen einer breiten Biodiversität erst ermöglicht.¹⁸²

3.4.3 Stoffwechsel

Sämtliche Ökosysteme der Erde – einschließlich ihrer (heterotrophen) Lebewesen – sind von der Nettoprimärproduktion der Pflanzen, Algen oder anderen Primärproduzenten abhängig, weil sie Energie in Form von Sonnenlicht nicht nutzen können.¹⁸³ Stattdessen müssen sie bereits gebundene Energieformen für ihre Lebensaktivitäten nutzen, was zumeist über Kohlenstoffverbindungen – beispielsweise als Bestandteil von Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen – abläuft.¹⁸⁴ Nach der Konsumption kann der Kohlenstoff im Stoffwechsel verbraucht, assimiliert und/oder ausgeschieden werden. Die Verbindungen durchlaufen hierbei meist zahlreiche Reaktionen bei denen Wärme als Nebenprodukt freigesetzt wird – die Energie kann also niemals vollständig umgesetzt werden. Während Fäzes oder abgestorbenes Material von Destruenten weitgehend genutzt werden, gelangt Kohlenstoff über aerobe Atmung, die von beinahe allen Eukaryoten betrieben wird, erneut in die Atmosphäre.¹⁸⁵ Der Vorgang folgt dabei im Wesentlichen dem umgekehrten Weg der Photosynthese.¹⁸⁶



Es handelt sich um eine Dissimilation, bei der Kohlenhydrate zu Kohlendioxid abgebaut werden und Sauerstoff unter Bildung von Wasser über eine kontrollierte Knallgasreaktion

¹⁸¹ Hierbei handelt es sich um ein Molekül, das Energie für sämtliche Zellvorgänge liefert.

¹⁸² Was also anfänglich als Störung für bestehende (anaerobe) Lebensräume wirkte, entpuppte sich als Möglichkeit zur Diversifikation. Einige Ökologen nehmen heute daher auch an, dass Beeinträchtigungen in bestehenden Lebensräumen einen normalen Bestandteil derselben repräsentieren und darüber hinaus sogar die Artenvielfalt erhöhen können – wobei es diesbezüglich auf das Ausmaß ankommt (Vgl. Weber 2018, 132).

¹⁸³ Vgl. Begon 2017, 394.

¹⁸⁴ Vgl. ebd., 423.

¹⁸⁵ Nicht zu vernachlässigen ist, dass damit auch Photosynthese betreibende Organismen gemeint sind.

¹⁸⁶ Vgl. Mortimer et.al. 2010 466.

verbraucht wird. Auch hier entsteht Wärme, sodass ein gewisser Anteil der Energie von Organismen nicht weiter zum Verrichten von Arbeit genutzt werden kann und verloren geht. Für das Leben auf der Erde ist eine ständige Energiezufuhr durch die Sonne daher unentbehrlich. An Stoffe gebundene Energie kann allerdings mehrmals genutzt werden, sofern entsprechende Verwertungsmöglichkeiten gegeben sind.¹⁸⁷

Im Allgemeinen werden im Zuge des Stoffwechsels unterschiedliche Ausgangsmaterialien zu einer breiten Varietät an Endprodukten verarbeitet, welche wiederum mit anderen Stoffen der Umgebung reagieren können.¹⁸⁸ Mit anderen Worten beeinflussen Organismen die Erde allein schon aufgrund ihres Austauschs von Material und Energie, den sie zum Überleben brauchen. Sie interagieren hierbei sowohl mit biotischen – zum Beispiel andere Organismen – wie auch abiotischen – etwa Böden – Faktoren in einem abgegrenzten Gebiet, deren Gesamtheit man als Ökosystem bezeichnet.¹⁸⁹ Der Energie- und Materialfluss erstreckt sich jedoch auch darüber hinaus, etwa durch die Verbindung zur Atmosphäre oder Fließgewässern. Verwitterung von Gesteinen und Böden sowie noch andere Prozesse sorgen wiederum für einen Eingang in die Ökosysteme, sodass globale Kreisläufe gebildet werden. Hierbei können eher geschlossene gegenüber eher offenen Ökosystemen unterschieden werden.¹⁹⁰ Erstere weisen eine hohe Recyclingrate von Nährstoffen bei geringem Eintrag auf, bei Letzteren verhält es sich genau umgekehrt. Ein Beispiel für weitgehend geschlossene Ökosysteme stellen Wälder dar, deren Vegetation über Verdunstung Nährstoffe konzentriert und ihren Abfluss so verringert oder diesem durch großzügige Assimilation einfach zuvorkommt.¹⁹¹ Hinsichtlich offener Systeme lassen sich etwa landwirtschaftlich genutzte Flächen – meist Monokulturen – anführen, welche über Kunstdünger großen Nährstoffeintrag erhalten. Der darin enthaltene Phosphor wiederum gelangt durch den Ausfluss aus dem jeweiligen Ökosystem – meist über unterirdische Gewässer – in aquatische Milieus. Das Resultat ist die Beschleunigung des Phosphorkreislaufs und die Eutrophierung vieler Süßgewässer verbunden mit Sauerstoffzehrung sowie einem Rückgang der Biodiversität.

¹⁸⁷ Hieraus resultieren die verschiedenen Lebensweisen, welche in der Biosphäre gefunden werden können.

¹⁸⁸ Man denke an dieser Stelle an die Mineralienvielfalt wie zuvor beschrieben.

¹⁸⁹ Vgl. Kadereit 2014, 746.

¹⁹⁰ Vgl. Begon 2017, 425.

¹⁹¹ Vgl. ebd., 2017, 429.

In jedem Fall passieren verschiedene Stoffe unterschiedliche Speicher im Erdsystem, zu denen auch Organismen hinzuzuzählen sind, und verweilen dort für bestimmte Zeit. Auf globaler Ebene ist es allerdings sinnvoller, Lebewesen und ihre Ökosysteme unter dem Begriff der Biosphäre zu subsummieren, welche zuvor bereits vorgestellt wurde. Im Zusammenhang mit dem Klimawandel ist aus den zahlreichen Stoffflüssen der Ökosysteme allen voran der Kohlenstoff hervorzuheben. Er ist nicht nur Bestandteil sämtlicher Biomasse auf der Erde, sondern gilt in Form der Verbindungen Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Methan (CH₄) als Hauptursache für die globale Erwärmung.¹⁹² Die verschiedenen Lebensformen der Erde weisen also einen Konnex zum Kohlenstoff und damit zum Klima auf. Folglich repräsentiert die Biosphäre den wesentlichen Einflussfaktor auf den Kohlenstoffkreislauf, welchen wir im Folgenden betrachten.

3.4.4 Der Kohlenstoffkreislauf

An diesem biogeochemischen Kreislauf sind im Grunde bis auf die Kryosphäre alle Kompartimente des Klimasystems beteiligt. Für die wesentlichen Stoffflüsse werden jedoch die folgenden vier Speicher – auch Senken genannt – betrachtet: „[...] die Atmosphäre, die Ozeane der Erde einschließlich ihrer Organismen, die Landoberfläche einschließlich aller Landpflanzen und Böden sowie die tiefere Lithosphäre.“¹⁹³

Zuerst soll der Gasaustausch von Atmosphäre und Ozean näher betrachtet werden. Generell weist die Hydrosphäre ein höheres Speichervermögen für Kohlendioxid auf, auch wenn die Verbindung bei normalen Druckverhältnissen nur mäßig löslich ist.¹⁹⁴ Die ozeanische Senke puffert hierdurch den anthropogen verstärkten Treibhauseffekt und damit die globale Erwärmung ab. Die Lösung des Treibhausgases in den Ozeanen hängt dabei noch von vielen anderen Faktoren ab, etwa der Luft- und Wassertemperatur, der Zusammensetzung des Meerwassers oder der Windgeschwindigkeit.¹⁹⁵ Letztere verstärkt die Bildung von Gischt, einem Gemisch aus Wasser und Luft das bei Aufwühlen von

¹⁹² Vgl. Begon 2017, 440.

¹⁹³ Grotzinger et.al. 2017, 421. Die Auswahl der Speicher ist hier nicht vollständig. Hinsichtlich der Organismen soll die Betrachtung nicht auf die Landpflanzen beschränkt bleiben, wobei Pflanzen und Mikroorganismen im Zusammenhang mit geochemischen Kreisläufen im Allgemeinen natürlich die größte Bedeutung zukommt. Auch die Rolle fossiler Brennstoffe ist hier noch nicht berücksichtigt.

¹⁹⁴ Mortimer et.al. 2010, 466.

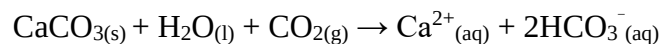
¹⁹⁵ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 421f.

Gewässern entsteht. Verdunstet diese, so wird Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre abgegeben, das beispielsweise durch Regenfälle erneut in die Ozeane gelangen kann. Hinsichtlich der Temperatur wird die Löslichkeit von CO₂ in warmem Wasser negativ beeinflusst, während es bei niedrigen Wassertemperaturen vermehrt aufgenommen wird.¹⁹⁶

Die globale Erwärmung mindert also die Qualität der Ozeane als Kohlenstoffsенke. Hinzu kommt eine steigende Versauerung des Meerwassers, da Kohlenstoffdioxid hier zu Kohlensäure (H₂CO₃) gewandelt wird, welche wiederum in Wasserstoff (H⁺) und Hydrogencarbonat-Ionen (HCO₃⁻) dissoziiert. Letztere reagieren mit Carbonat-Ionen unter Bildung weiterer Hydrogencarbonat-Ionen, wodurch neben der Versauerung marine Organismen bei der Bildung carbonathaltiger Schalen oder Skelette beeinträchtigt werden.¹⁹⁷ Calciumcarbonat (CaCO₃) ist zentraler Bestandteil dieser Strukturen und weist auch schon bei schwachen Säuren eine leichte Löslichkeit auf, während es in reinem Wasser nur schwach löslich ist:¹⁹⁸



Da mit Kohlenstoffdioxid angereicherte Ozeane schwach sauer sind, wird nicht nur der Vorgang der Biomineralisation beeinträchtigt, sondern werden in einem langsam ablaufenden Prozess auch direkt Carbonate aufgelöst:¹⁹⁹



Das Ergebnis ist nicht nur eine Bedrohung der Biodiversität, sondern auch der Verlust eines weiteren, bedeutenden Speichers für Kohlenstoff. An dieser Stelle soll an den Vorgang der biologisch kontrollierten Mineralisation (BCM) erinnert werden. Calciumcarbonate werden von einer Vielzahl an Organismen als Baustoff genutzt, wodurch also Kohlenstoff in die Biomasse assimiliert wird. In Kalkstein²⁰⁰ sowie anderen Carbonaten wiederum ist der größte Anteil des irdischen Kohlenstoffs gebunden. Der Transport in diese Speicher erfolgt jedoch in sehr großen Zeiträumen – biogene Sedimentation als häufigste Entstehungsart von Kalkstein benötigt mehrere Millionen

¹⁹⁶ Vgl. Begon 2017, 445.

¹⁹⁷ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 419.

¹⁹⁸ Vgl. Brown et.al. 2007, 1126.

¹⁹⁹ Vgl. ebd., 1126.

²⁰⁰ Es handelt sich um einen Sammelbegriff für unterschiedliche Sedimentgesteine, die hauptsächlich aus CaCO₃ bestehen.

von Jahren. Nichtsdestotrotz würden ohne dieser Speicherung Temperaturen wie auf der Venus herrschen.²⁰¹ Der durch die Übersäuerung geförderte Abbau von carbonathaltigen Elementen mariner Organismen oder Gesteinen führt auf diese Weise Kohlenstoff aus einem Langzeitspeicher zurück in kurzzeitigere Kreisläufe.

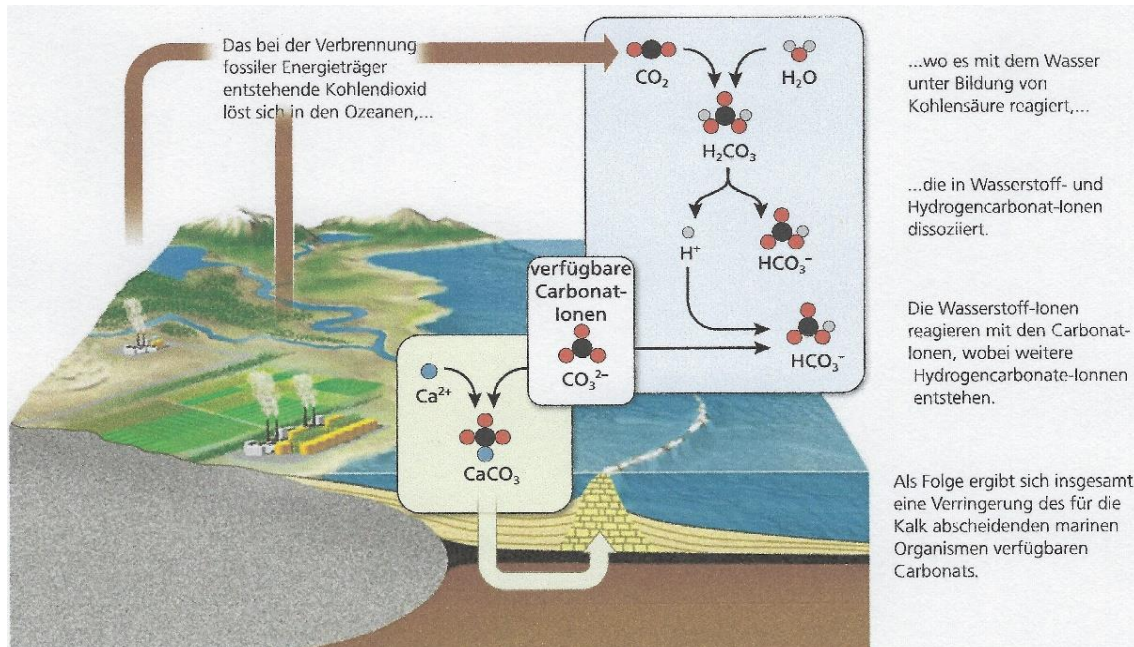


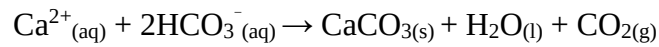
Abbildung 11 Der Zusammenhang von Kohlendioxid und Calciumcarbonat (aus Grotzinger et.al. 2017, 420).

Weist der Säuregehalt im Wasser einen Wert auf, der für die Lösung von Kalk nicht ausreicht, kehren marine Organismen für ihre Schalen- oder Skelettelemente die Carbonatverwitterung an Land um und entlassen dabei äquivalente Mengen an Kohlenstoffdioxid, das wiederum in die Atmosphäre übergeht.²⁰² Bei entsprechenden Umständen besteht also ein ausgeglichener Kreislauf zwischen der Lithosphäre und der Atmosphäre, welcher über Flüsse und Ozeane zusammengehalten wird. Der Kohlenstoffkreislauf ist hierdurch mit dem Calciumkreislauf verknüpft. Diese Verbindung besteht auch über Silicatgesteine, da hiervon die meisten Vertreter große Mengen an Calcium aufweisen. Kommt es zu deren Verwitterung, gelangt Ca^{2+} über diverse Fließgewässer in die Ozeane, wo es mit Carbonat (CO_3^{2-}) beziehungsweise

²⁰¹ Vgl. Welsch 2017, 246.

²⁰² Vgl. Grotzinger et.al. 422.

Hydrogencarbonat (HCO_3^-) zu Calciumcarbonat (CaCO_3) reagiert. Insgesamt folgt die oben angeführte Reaktion also der umgekehrten Richtung:



Je nach Vorhandensein beeinflussen Kohlenstoffdioxid und Calcium also die Reaktion in die jeweilige Richtung. Im Gegensatz zur Carbonatverwitterung entzieht die Verwitterung von Silikaten der Atmosphäre CO_2 und überliefert jenen Kohlenstoff in die kalkhaltigen Elemente mariner Organismen. Es handelt sich hierbei allerdings um vergleichsweise geringe Mengen, die sich erst über größere Zeiträume signifikant auswirken. Bei orogenetischen Prozessen, die sich über Jahrtausende abspielen, ist jene Verwitterung verstärkt, wodurch der Atmosphäre in zunehmendem Ausmaß Kohlenstoffdioxid entzogen wird und somit der Treibhauseffekt herabgesetzt wird.²⁰³

Die Qualität der hydrosphärischen Kohlenstoffsene wird allerdings durch eine weitere Entwicklung bedroht. So überträgt das Oberflächenwasser, aufgrund von ausgiebigen Durchmischungen des Wasserkörpers, denselben Anteil an Kohlenstoff – in Form von Kohlendioxid wie auch organischem Material – in die Tiefsee wie es von der Atmosphäre erhält. Den eigentlichen, ozeanischen Speicher im Kohlenstoffzyklus repräsentiert also das Tiefenwasser.²⁰⁴ Im Zuge der thermohalinen Zirkulation²⁰⁵ wird kaltes und kohlenstoffdioxid- beziehungsweise kohlenstoffreiches Wasser im Nordatlantik für einige Jahrhunderte in der Tiefe gehalten. Im Südpolarmeer wie auch im Indischen und Pazifischen Ozean gelangt es schließlich zurück an die Oberfläche – wodurch CO_2 erneut an die Atmosphäre abgegeben wird – und setzt seinen Weg als warme Strömung fort. Durch die global steigenden Temperaturen kommt es nun allerdings zum Abschmelzen von Eis und Gletschern, so auch im arktischen Meer und in Grönland. Als Konsequenz ändert das eintretende Süßwasser den relativen Salzgehalt des Nordatlantiks, was wiederum eine Verlangsamung der thermohalinen Zirkulation nach sich zieht.²⁰⁶

²⁰³ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 422. Dieses Szenario spielte sich vermutlich bei der Bildung des Himalayas und des Hochlands von Tibet ab 40 Millionen Jahre vor heute ab. Dieses Phänomen steht möglicherweise im Zusammenhang mit der späteren, pleistozänen Vereisung.

²⁰⁴ Vgl. Begon 2017, 446.

²⁰⁵ Es handelt sich um eine Reihe von Meeresströmungen, auch globales Förderband genannt, bei der Wassermassen und Wärme ausgetauscht werden. Angetrieben wird dieser Vorgang durch Unterschiede in der Temperatur und im relativen Salzgehalt.

²⁰⁶ Vgl. Begon 2017, 447.

Letztlich kann also erneut weniger Kohlenstoff in Ozeanen zwischengespeichert werden.²⁰⁷

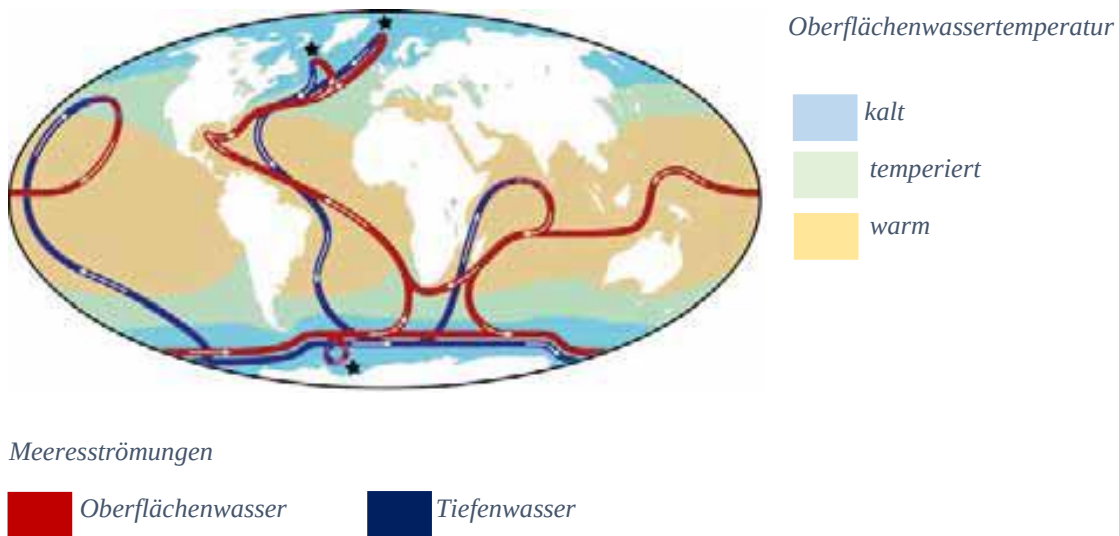


Abbildung 12 „Vereinfachte Darstellung der heutigen, globalen Ozeanzirkulation. Durch Abkühlung und Eisbildung entsteht in den mit Sternchen gekennzeichneten Bereichen sehr kaltes, salzreiches Wasser, das zum Meeresboden sinkt und auf diese Weise das thermohaline Strömungssystem antreibt.“ (Grafik und Text aus Oschmann 2016, 335)

Wie sich bereits abzeichnet, spielen Senken und ihre Veränderungen im Verlauf der Zeit eine bedeutende Rolle nicht nur für den Kohlenstoffkreislauf, sondern für das Klimasystem im Allgemeinen. Der größte Kohlenstofffluss findet in diesem Zusammenhang zugleich zwischen jenen Sphären statt, die sich in ihrer Zusammensetzung am schnellsten verändern. Der grundlegende Prozess für diesen Austausch zwischen Atmosphäre und Biosphäre wurde mit der Photosynthese schon weiter oben dargelegt. Etwa die Hälfte des von den Pflanzen beziehungsweise photosynthetisch aktiven Organismen aufgenommenen CO_2 wird im Zuge der Zellatmung wieder in die Atmosphäre abgegeben während der Rest Einzug in die Biomasse erhält.²⁰⁸ Der Abbau des Pflanzengewebes durch Fraß oder Mikroorganismen führt über die damit verbundene Oxidation ebenso zur Entstehung von Kohlenstoffdioxid. Der überwiegende Teil hiervon wird allerdings in Böden gespeichert und nur eine relativ kleine Menge gelangt in Gewässer, durch die das gelöste CO_2 über Flüsse in die Ozeane transportiert wird. Dort kann der Kohlenstoff, wie bereits beschrieben, über

²⁰⁷ Möglicherweise führen zunehmende Änderungen im Meeresspiegel sowie in den unterschiedlichen Salzkonzentrationen früher oder später zu einer völlig anderen Zirkulation zwischen den Weltmeeren, was wiederum großen Einfluss auf lokale Klimata genauso wie das globale Klima zu nehmen vermag.

²⁰⁸ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 422.

Hydrogencarbonat-Ionen in kalkhaltige Strukturen eingebaut oder erneut in die Atmosphäre transportiert werden.

Der Beitrag der Lithosphäre wirkt im Vergleich vernachlässigbar, da von hier aus Kohlenstoffdioxid nur in kleinen Ausmaßen über Verwitterung oder vulkanische Aktivitäten in die Atmosphäre übertragen werden kann. Nichtsdestotrotz ist die Fähigkeit zur Langzeitspeicherung dieser Sphäre nicht zu vernachlässigen. So können sich die carbonathaltigen Elemente mariner Organismen am Meeresboden akkumulieren und durch Sedimentation der Lithosphäre überführt werden. Als Konsequenz plattentektonischer Vorgänge können diese Lebewesen sogar zu Gebirgsbildungen beitragen. Wird stattdessen organisches Material in verschiedenen, von der Luft abgeschlossenen Gebieten – etwa Sümpfen – angereichert, kann daraus in geologischen Zeiträumen durch Diagenese und Metamorphose Erdöl, Erdgas oder Kohle entstehen.²⁰⁹ Die gegenwärtige Nutzung fossiler Brennstoffe entspricht daher einer Nutzung von Energie, die vor hunderten Millionen von Jahren gewonnen wurde und letztlich auf die damalige Sonnenenergie zurückgeht, da Photosynthese betreibende Organismen für ihre eigene sowie die Biomasse der Heterotrophen verantwortlich waren respektive immer noch sind. Die Verbrennung dieser Ressourcen setzt also in einem geologisch gesehen äußerst kurzen Zeitraum Kohlenstoff frei, der einem unglaublich großen Langzeitspeicher entstammt. In zeitlichen Verhältnissen stehen nicht einmal 200 Jahre hinsichtlich der Nutzung fossiler Brennstoffe mehreren hundert Millionen Jahren der Bildung des Speichers gegenüber.

²⁰⁹ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 274f.

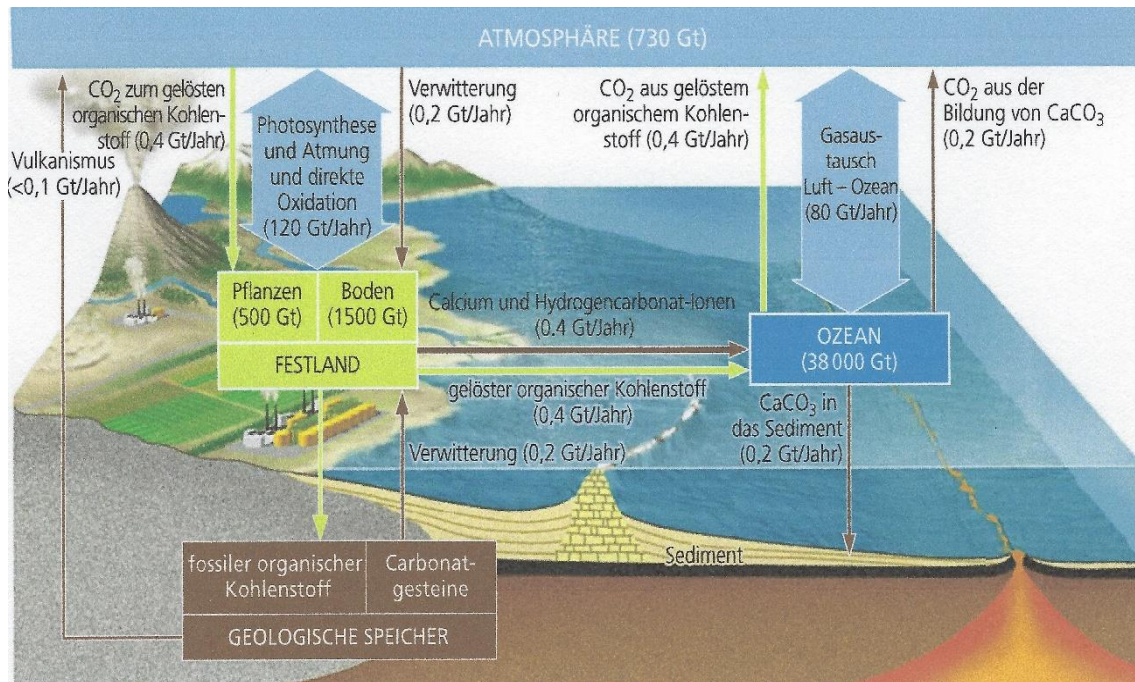


Abbildung 13 Kohlenstofffluss zwischen unterschiedlichen Senken in Gigatonnen pro Jahr nach IPCC, Stand 2001 (aus Grotzinger et.al. 2017, 422).

3.4.5 Anthropogener Beitrag im Kohlenstoffkreislauf

Der Kohlenstoffzyklus wird also durch verschiedene Senken konstituiert, welche im Verlauf der Erdgeschichte unterschiedliche Speichervermögen aufwiesen. Seit der Entstehung der Erde hat das atmosphärische CO₂ hierdurch um mindestens fünf Größenordnungen abgenommen.²¹⁰ Die Rolle der Biosphäre bestand hierbei primär im Aufbau eines neuen Speichers, allen voran durch photosynthetisch aktive Organismen. Die terrestrische Kohlendioxidsenke ergibt sich in diesem Zusammenhang primär aus der Differenz von Nettoprimärproduktivität und heterotropher Atmung und wird als Nettoökosystemproduktion bezeichnet.²¹¹ Heterotrophe haben daher dem Entzug atmosphärischen Kohlenstoffdioxids in gewissen Ausmaßen immer schon entgegengewirkt.²¹² Die menschlichen Aktivitäten sind daher nicht als unnatürlich zu betrachten, was allerdings nicht bedeutet, dass den gegenwärtigen Entwicklungen keine Beachtung geschenkt werden sollte. Die globale Erwärmung beruht im Wesentlichen auf

²¹⁰ Vgl. Oschmann 2016, 336.

²¹¹ Vgl. Begon 2017, 445.

²¹² Eine Ausnahme bildet die Assimilation von CO₂ im Zuge des Aufbaus carbonathaltiger Elemente wie oben beschrieben.

der Beschleunigung des Kohlenstoffflusses bei gleichzeitiger Reduktion organischer Kohlenstoffspeicher.²¹³ Die Nutzung fossiler Brennstoffe parallel zur Entwaldung und einem Rückgang der marinen Lebewesen resultiert in einer veränderten Verteilung des Kohlenstoff(dioxids) in den genannten Senken, wobei der weitere Verlauf nicht exakt vorhergesagt werden kann.²¹⁴ Dieser Umstand wiederum stellt eine Herausforderung an die etablierte Biodiversität – die Menschen miteingeschlossen – dar, da Ökosysteme auf diese raschen Entwicklungen äußerst empfindlich reagieren.

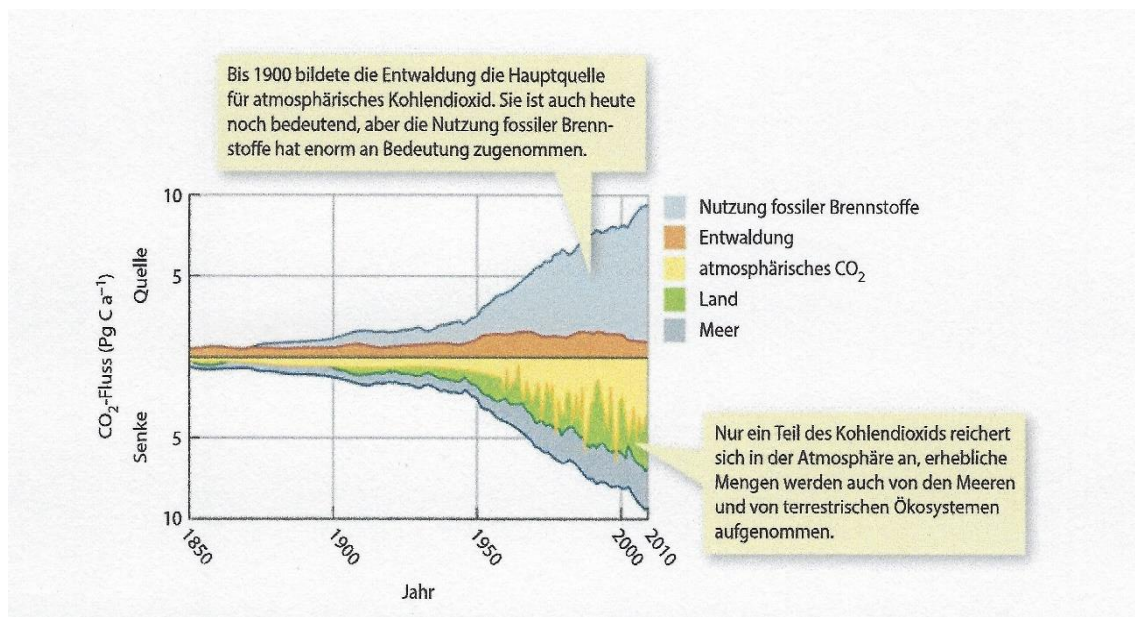


Abbildung 14 Globaler Eintrag (Quellen) von Kohlendioxid in die Atmosphäre und Austrag (Senken) von 1850 – 2010 (aus Begon 2017, 443).

3.4.6 Methan

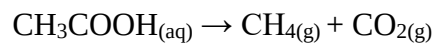
Neben Kohlendioxid ist noch eine weitere Kohlenstoffverbindung von großer Bedeutung, welche als Treibhausgas eine sogar noch stärkere Wirkung aufweist. So absorbiert Methan (CH_4) andere Wellenlängen, welche dazu führen, dass noch mehr Infrarotstrahlung im erdnahen Bereich gehalten wird. Immerhin weist es eine kürzere Verweildauer in der Atmosphäre von rund zwölf Jahren gegenüber einem Jahrhundert für CO_2 auf.²¹⁵ Es wird in vielen verschiedenen Ökosystemen erzeugt, in erster Linie durch

²¹³ Die Konsequenzen betreffen jedoch sämtliche Komponenten dieses Kreislaufs, wie bei einer Kettenreaktion.

²¹⁴ Vgl. Begon 2017, 451.

²¹⁵ Vgl. ebd., 453.

den Prozess der Methanogenese, bei der Bakterien in Abwesenheit von Sauerstoff Methan produzieren.²¹⁶ In vier Schritten wird mithilfe verschiedener Bakterienarten und durch die katalytische Wirkung von Enzymen Methan als Bestandteil eines Biogases freigesetzt.²¹⁷ Zunächst erfolgt der hydrolytische Abbau von Makronährstoffen, dem die Vergärung der Abbauprodukte zu kurzkettigen Carbonsäuren, Alkoholen, Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid folgt. Im dritten Schritt wird der Abbau zu Essigsäure (CH₃COOH) sowie weiterem CO₂ vollzogen. Erst jetzt findet die eigentliche Methanogenese als Folge der Decarboxylierung von Essigsäure statt. Die Hauptreaktion lautet also wie folgt:



Sowohl Kohlendioxid als auch Methan sind demnach die Erzeugnisse dieses Prozesses. Aus diesem Grund entweicht CH₄ auch als Bestandteil fossiler Brennstoffe in die Atmosphäre. Ebenso wird es durch entsprechende Vorgänge im Zuge des Reisanbaus, auf Mülldeponien oder im Abwasser sowie beim Verbrennen von Biomasse produziert.²¹⁸ Im Allgemeinen begünstigen diverse menschliche Aktivitäten also die Methanogenese, weil entsprechende Lebensräume für derartige Bakterien geschaffen werden.

Als Senke und gleichzeitige Verbindung des Methans zum Kohlenstoffzyklus ist die Atmosphäre selbst zu nennen. Gelangt CH₄ hierher, reagiert ein gewisser Anteil mit reaktiven Spezies – z.B. OH-Radikalen oder Stickstoffoxiden – über verschiedene Schritte letztlich zu anderen Treibhausgasen wie beispielsweise O₃.²¹⁹ Über die sogenannte Photooxidation wird ein Teil des Methans auch zu Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf oxidiert.²²⁰ Die Reaktion wird hierbei über die Anregung von Elektronen durch Photonen respektive Licht ausgelöst.

Ein weiterer Speicher findet sich in Poren von Sedimenten, wo anaerobe Organismen unter Sauerstoffabschluss beispielsweise organisches Material abbauen und dabei CH₄ als Abfallprodukt ausstoßen. Fallen die Temperaturen nun auf knapp über 0°C oder darunter, verbindet sich Methan mit Wasser zu Gashydraten, die zusätzlich vereiste

²¹⁶ Vgl. Begon 2017, 453. An dieser Stelle sind auch die Darmbakterien in den Verdauungstrakten verschiedener Tiere, vor allem Wiederkäuern, zu nennen, welche wiederum durch Viehhaltung große Populationen bilden können.

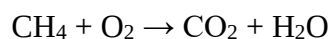
²¹⁷ Vgl. Mortimer et.al. 2010, 540.

²¹⁸ Vgl. ebd., 454ff.

²¹⁹ Vgl. Brown et.al. 903.

²²⁰ Vgl. Begon 2017, 452.

Komponenten aufweisen und daher fest sind.²²¹ Solcherart Verbindungen finden sich auf dem Meeresboden oder in Permafrostböden. Im Zusammenhang mit der globalen Erwärmung werden sie als möglicher Tipping-Point diskutiert, wie bereits weiter oben angesprochen. Ein solches Ereignis wird für den Übergang vom Paläozän ins Eozän (jeweils im Paläogen) vor etwa 55 Millionen Jahren angenommen, der ein Temperaturmaximum markiert.²²² Demnach löste sich die Verbindung der Gashydrate beim Anstieg der Tiefseetemperaturen und Methan stieg als Gas von den Ozeanen in die Atmosphäre auf. Die Folge war eine positive Rückkopplung der Erwärmung verbunden mit einem Massenaussterben, bei dem vor allem marine Organismen betroffen waren. Wie auch in der Atmosphäre reagierte das zunehmend entweichende Methan bereits im Ozean mit Sauerstoff unter Bildung von Kohlendioxid nach dem Schema der folgenden Substitutionsreaktion:²²³



Dies führte einerseits zur Versauerung der Meere und andererseits zu einem Sauerstoffmangel, der zahlreichen marinen Aerobiern die Lebensgrundlage nahm.

Für den Kohlenstoffzyklus, einschließlich des Methans, lässt sich also festhalten, dass sich die Flüsse zwischen den unterschiedlichen Senken im Verlauf der Erdgeschichte immer wieder verändert haben. Im Besonderen ist hier die Biosphäre zu nennen, welche auf einer grundlegenden Ebene an den Kohlenstofffluss gekoppelt ist. In diesem Zusammenhang wurden lebenserhaltende Prozesse wie die Photosynthese, Methanogenese oder aerobe Atmung erläutert. Betrachtet man die Biosphäre im Ganzen, so hat sie nicht nur auf Veränderungen im Kohlenstoffzyklus reagiert, sondern auch aktiv zu diesen beigetragen. Selektion und evolutive Prozesse sind hiermit parallel verlaufen. So wie das Klimasystem zeichnet sich auch der Kohlenstoffkreislauf nicht durch Unveränderlichkeit aus. In Anlehnung an das Konzept des Anthropozäns scheint es also keine Frage der Natürlichkeit zu sein, wenn die Menschen heute den Fluss von Kohlenstoffdioxid und Methan ankurbeln.²²⁴ Zu behaupten, die menschlichen Tätigkeiten

²²¹ Vgl. Grotzinger et.al. 2017, 295.

²²² Vgl. ebd., 254f.

²²³ Vgl. Mortimer et.al. 2010, 544.

²²⁴ Natürlich existieren noch etliche andere Elementkreisläufe, die im Rahmen dieser Arbeit allerdings nicht behandelt werden können. Der Kohlenstoffkreislauf ist jedoch einer der wichtigsten und diente daher exemplarisch als Veranschaulichung für die Dynamiken von Elementflüssen zwischen verschiedenen Senken.

wären unnatürlich, stellt vielmehr eine Suche nach Schuldigen dar als eine Orientierung an möglichen Lösungen. Da die bloße Veränderung des Klimasystems und seiner Komponenten jedoch auch ohne anthropogene Einflüsse stattfinden kann, erscheint es sinnvoller zu fragen, welcher Zustand des Erdsystems erstrebenswert für uns ist. Statt eines natürlichen Idealzustands existieren nämlich nur von Menschen postulierte Idealzustände. Eine Trennung von Natur und Mensch vernachlässigt in diesem Zusammenhang nur unsere Abhängigkeit von bestimmten Ökosystemen. Noch gefährlicher ist daher die Behauptung, die Erde wäre bereits unterworfen. So wie der Mensch durch die Evolution hervorgebracht wurde, könnte er irgendwann auch vom Aussterben betroffen sein. Umgekehrt ist allerdings sicher, dass das Erdsystem auch nach unserem Ableben weiterhin besteht. Für sinnvolle Wertzuschreibungen in dieser Angelegenheit halte ich daher die Berücksichtigung der Verstrickung von belebten und unbelebten Komponenten für unerlässlich. Im Folgenden werden wir daher die Biosphäre aus einer neuen Perspektive betrachten.

4) Die Biosphäre, lebende Systeme und Natur

4.1 Die Interdependenz von Systembestandteilen und Nischenkonstruktion

Die verschiedenen Komponenten des Klimasystems sowie die Geosysteme der Erde im Allgemeinen stehen über zahlreiche Mechanismen miteinander in Verbindung. Dies schließt also auch alle Lebewesen ein. An dieser Stelle soll an die grobe Definition eines Ökosystems erinnert werden, das durch die Gesamtheit an abiotischen und biotischen Faktoren inklusive deren Interaktionen konstituiert wird. Hierbei wird eine Trennung von der lokalen Lebensgemeinschaft – der Biozönose – und des vorhandenen Lebensraums – dem Biotop – suggeriert, welche in Wirklichkeit nicht vorhanden ist.²²⁵ Was nämlich für die Biosphäre im Großen gilt, trifft auch auf sämtliche Ökosysteme im Kleinen zu: So wie beispielsweise Pflanzen die Zusammensetzung der Atmosphäre verändert haben, beeinflusst etwa die Durchwurzelung und der Blattwurf von Nadelbäumen den Boden derart, dass dieser nährstoff- respektive artenarm und sauer wird.²²⁶ Die Konsequenzen wiederum wirken auf die Organismen zurück, welche zur Anpassung veranlasst werden. Betrachtet man also ein Ökosystem, reicht es nicht aus, es als die Summe seiner Komponenten zu verstehen. Die Relationen und Wechselwirkungen haben ebenso konstituierenden Charakter. Dies hat eine gewisse Hierarchie sowie wechselseitige Abhängigkeiten zur Folge, wie wir sie von zahlreichen Ökosystemen kennen. In einer allgemeineren Definition werden die Seins- und Verhaltensweisen von Teilen eines Systems daher in bedeutendem Ausmaß durch ihre Stelle und Funktion im Ganzen bestimmt.²²⁷ Eine Trennung von lebendigen gegenüber nichtlebendigen Faktoren darf also für systemische Betrachtungen nicht deren Interdependenz vernachlässigen.

Es wäre somit falsch, lebende Organismen allein auf physikalische oder chemische Gesetze zu reduzieren, da sie zugleich als Systeme wie auch als Teile von Systemen aufzufassen sind. Neben dem Energie- und Stofffluss, welcher im Zuge biogeochemischer Kreisläufe betrachtet werden konnte, definiert etwa Heinz Penzlin das Phänomen Leben als „*das Produkt aus der Dreiheit von Energie, Stoff und Information*“.²²⁸ Lebewesen sind demnach auf zumindest zwei Ebenen mit der

²²⁵ Vgl. Kadereit 2014, 246.

²²⁶ Solche Charakteristiken deuten dann auf einen Podsol – ein bestimmter Bodentyp – hin.

²²⁷ Vgl. Van der Wal 2017, 109.

²²⁸ Penzlin 2016, 2.

unbelebten Welt verbunden, während sie darüber hinaus noch weitere Qualitäten, wie eine besondere, teleonome und weitgehend autonome Organisation auf Grundlage von Information besitzen.²²⁹ Jeder Organismus stellt damit zugleich eine eigenständige Systemleistung wie auch integrierte Einheit dar.²³⁰ Aufgrund dieser Verschachtelung von Systemen kann es dann überhaupt erst zu Anpassung kommen wie wir sie in Form der Evolution kennen: Auf Basis von Energie- und Stoffflüssen besteht eine Abhängigkeit der Lebewesen von unbelebten Faktoren, welcher durch Anpassung und verschiedene Methoden der Informationsweitergabe begegnet wird.²³¹ Es handelt sich allerdings nicht um eine einseitige Beziehung, in der die Umwelt den Fluss von Information und damit Adaptionen monokausal bestimmt. Der Begriff der Selektion erscheint in diesem Kontext etwas problematisch, da fälschlicherweise angenommen werden könnte, etwas Außenstehendes – in diesem Fall die Umwelt – wähle bestimmte Individuen aus.²³² Tatsächlich kommt es natürlich zur Elimination einzelner Organismen, jedoch unter Mitwirkung ebendieser. Die Verbindung von Organismen mit der Umgebung über Energie und Stoff vermag bestehende Verhältnisse der unbelebten Welt bereits im Zuge basaler Lebenstätigkeiten zu verändern. Zuvor konnte dieses Phänomen bereits im Zusammenhang mit der Vielfalt von Mineralen erkannt werden. Aus diesem Umstand lässt sich schlussfolgern, dass Lebewesen in unterschiedlichen Ausmaßen ihre Umwelt verändern, während diese wiederum als Lebensbedingung dient, also dazu in der Lage ist lebende Systeme zu beseitigen. Hierin spiegelt sich dieselbe zirkuläre Kausalität wider, wie wir sie im synergetischen Zugang zur Thematik erfahren haben.

Hierfür gibt es innerhalb der Ökologie einen eigenen Begriff, welchen Bernd Herrmann folgendermaßen definiert:

²²⁹ Vgl. ebd., 3 u 9f. Mit Teleonomie ist die Verfolgung von Zwecken gemeint, welche dem Leben immanent ist. Selbsterhaltung repräsentiert hierbei die grundlegendste Zweckmäßigkeit von Lebewesen (Vgl. ebd. 2016, 31f.).

²³⁰ Vgl. Lange 2012, 95.

²³¹ Hiermit ist etwa Vererbung in allen Varianten gemeint, aber auch Reproduktion im Allgemeinen. Nicht zu vernachlässigen ist, dass auch Information materielle Grundlagen benötigt, wie zum Beispiel aber nicht ausschließlich DNA.

²³² Vgl. Lange 2012, 21.

„Organismen verändern durch ihre Aktivitäten die Lebensbedingungen, in denen sie und ihre Nachkommen sich entwickeln, existieren und selektiert werden. Die wechselseitigen Rückkoppelungen zwischen den organismischen Aktivitäten und der selektiv wirksamen Umwelt werden als „Nischenkonstruktion“ bezeichnet, um damit den aktiven Anteil einer Art am Prozess der wechselseitigen Beeinflussung zu betonen.“²³³

Die ökologische Nische ist damit also kein Ort der von bestimmten Lebewesen eingenommen wird. Ebenso wurde sie nicht eigens für gewisse Arten durch irgendein Gleichgewicht geschaffen. Stattdessen werden Standortfaktoren in unterschiedlichen Ausmaßen gestaltet, sodass die Nische als Teil des lebenden Systems zu verstehen ist.²³⁴

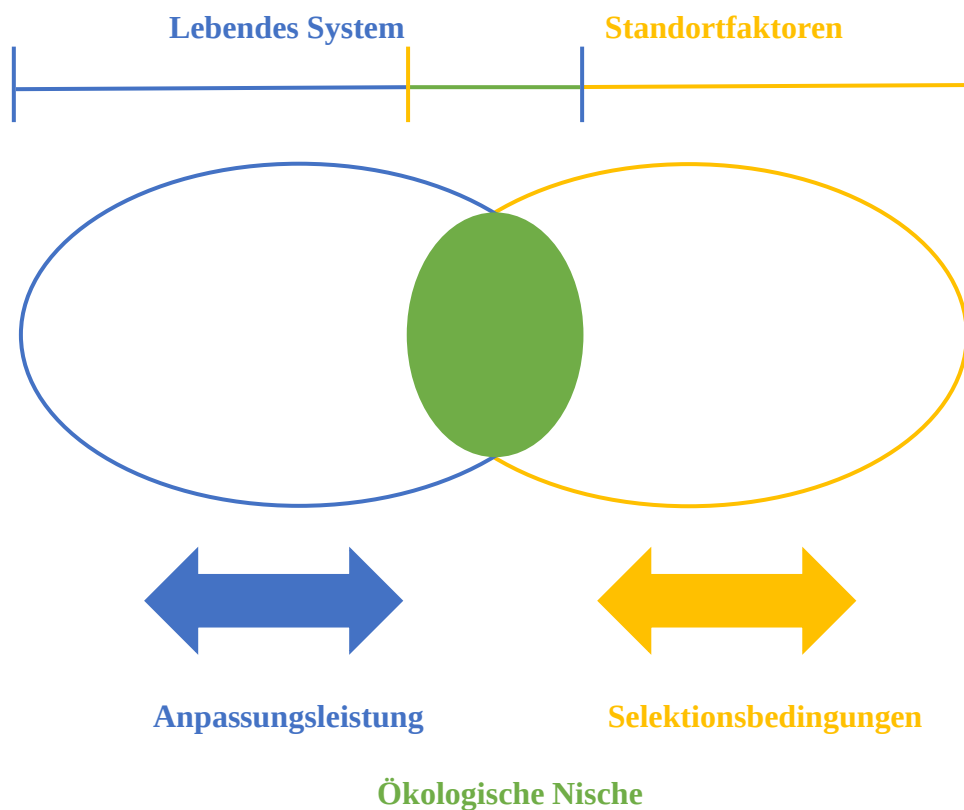


Abbildung 15 Die ökologische Nische als Produkt von Anpassungsleistung und Selektionsbedingungen.

Wie die Abbildung veranschaulicht, lassen sich Lebewesen nur als integrierte Einheiten verstehen. Sowohl Adaptionen als auch selektiv wirksame Elemente der Umgebung können variieren. Erstere stellt hierbei den direkten Anteil der organismischen

²³³ Herrmann 2013, 41.

²³⁴ Vgl. ebd., 39 und Lange 2012, 279.

Nischenkonstruktion dar, während Letztere nur indirekt durch den Organismus bestimmt werden. Rückkopplungen und Wechselwirkungen, welche daraus erwachsen, generieren schließlich die ökologische Nische. Einflüsse anderer Lebewesen wurden in dieser Darstellung vernachlässigt.

Es lässt sich demnach festhalten, dass die Biosphäre im Großen die auf dem Planeten herrschenden Umstände mitreguliert und damit Organismen im Kleinen zu ihren eigenen Daseins- und Entwicklungsbedingungen beitragen.²³⁵ Evolution wird also auch durch Bottom-Up-Mechanismen angetrieben, nicht nur durch Top-Down. Sie beschränkt sich darüber hinaus nicht nur auf das Leben allein, weil unbelebte Komponenten davon nicht zu trennen sind – der Lebensraum evolviert ebenso.²³⁶ Da die Fähigkeit zur Gestaltung der Umwelt unter den Lebewesen variiert, ist Nischenkonstruktion somit ein eigener Evolutionsfaktor.²³⁷ Arten mit besonders ausgeprägtem Einfluss auf den Lebensraum werden auch als Ökosystemingenieure bezeichnet und gestalten hierdurch die Nischen anderer Organismen oftmals mit.²³⁸ Aus diesem Grund repräsentieren evolutionäre Adaptionen in den allermeisten Fällen zusätzlich Anpassungen an andere Arten.²³⁹ Erneut kann die Bedeutung von Relationen neben einzelnen Objekten also nicht vernachlässigt werden. Ewald Weber sieht darin sogar die vierte Dimension – neben Arten-, Gen- und Lebensraumvielfalt – von Biodiversität.²⁴⁰ Aus dem Verlauf der Erdgeschichte und der Evolution kann damit festgehalten werden, dass der biologische Artbegriff zwar eine zweckmäßige Näherung zum Verständnis von natürlichen Gesetzmäßigkeiten auf dem Niveau lebender Systeme darstellt, Organismen beziehungsweise Populationen von Organismen aber eigentlich nicht als diskrete Objekte gedacht werden können. Mit anderen Worten existiert kein Lebewesen, respektive keine Art für sich allein, sondern ist eingebettet in ein oder mehrere Ökosysteme und steht damit in Wechselwirkung mit den anderen, systemischen Bestandteilen. Insbesondere die Rolle der Mikroorganismen,

²³⁵ Van der Wal 2017, 176.

²³⁶ An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass Evolution deswegen noch lange nicht auf ein bestimmtes Ziel hinausläuft. Ein solches Ziel ließe sich auch nicht einwandfrei belegen, solange es nicht erreicht und bewiesen wurde. Mit Erreichen eines Ziels innerhalb einer teleologisch geordneten Natur würde ebenjene Ordnung allerdings Zusammenbrechen, da ja kein Ziel mehr zu erreichen wäre. Die Teleologie oder Finalität würde also mit Erfüllung ihrer selbst zu einem Ende kommen.

²³⁷ Lange 2012, 281.

²³⁸ Vgl. Weber 2018, 118f. Man denke in diesem Kontext beispielsweise an das Aufkommen der Zoophilie bei Blütenpflanzen, welche die Koevolution mit Insekten beförderte. Diese bilden heute die artenreichste Tiergruppe.

²³⁹ Vgl. ebd., 147f.

²⁴⁰ Vgl. ebd., 12 u. 144.

deren Ausmaß und Vielfalt nicht in Ansätzen geklärt sind, wird in diesem Zusammenhang oftmals vernachlässigt.²⁴¹ Zusammen mit Pflanzen nehmen sie eine wichtige Rolle in Energie- und Stoffkreisläufen sämtlicher Ökosysteme der Erde ein. Während Mikroorganismen in Anzahl und Verbreitung alle Vielzeller übertreffen, wird ihr Vorhandensein, obwohl sie sämtliche ökologischen Nischen prägen, allerdings kaum wahrgenommen.

4.2 Information und Individualität lebender Systeme

Neben dieser essenziellen Einbettung in ein gewisses Ausmaß an Diversität muss sich jedes lebende System, wie bereits erwähnt, trotzdem abgrenzen können um seine Autonomie zu wahren. Hiermit hebt sich der einzelne Organismus von anderen ab, egal ob innerartlich oder nicht. Der Grad der Individualität eines lebenden Systems korreliert im Allgemeinen positiv mit steigender Komplexität respektive zunehmender Anzahl, Strukturiertheit und Interdependenz der Bestandteile.²⁴² Auf diese Weise können zwischen dem Lebewesen und der Umgebung mehr Berührungspunkte bestehen, an denen sich im Verlauf der Zeit Wechselwirkungen zutragen.²⁴³ Hier wird im weiteren Sinn der Fluss von Energie und Stoff in für den lebenden Organismus verwertbare Einheiten der Information übersetzt. Nach Jakob Johann von Uexküll definiert dieser Aspekt auch den Begriff der Umwelt im Unterschied zur Umgebung. Erstere markiert einen individuellen Bereich, während Letztere zwar objektiv vorhanden ist, sich aber jeder Erfahrbarkeit entzieht.²⁴⁴ „Umwelt“ wird demnach durch die besagten Berührungspunkte konstituiert, sodass sie folglich ein subjektives Phänomen darstellt, das sich erst am individuellen, lebenden System manifestiert. Mit anderen Worten kann das objektiv in der Umgebung Vorhandene nur indirekt erschlossen werden und zwar

²⁴¹ Im Falle des Menschen etwa überschreitet die Anzahl der ihn besiedelnden Bakterien die Anzahl der organismischen Zellen bei Weitem. Das Mikrobiom, wie es auch genannt wird, stellt ebenso ein Produkt evolutionärer Anpassung dar und ist damit für die Überlebensfähigkeit des menschlichen Organismus unerlässlich.

²⁴² Ein bestimmtes Bakterium weist damit in der Regel weniger Individualität auf als ein bestimmter Buntspecht. Letzterer kann sich auf mehreren Ebenen sowohl von seinen Artgenossen als auch von anderen Lebewesen unterscheiden als das einzelne Bakterium.

²⁴³ Nach dem Konzept der Multilevel-Selektion David S. Wilsons wirken an diesen verschiedenen Berührungspunkten beziehungsweise weiteren Ebenen (Gene, Organe, Individuum, Verwandtschaft, Gruppe, Arten) darüber hinaus unterschiedliche Formen der Selektion (Vgl. Lange 2012, 243).

²⁴⁴ Vgl. Herrmann 2013, 28.

überall dort, wo entsprechende Strukturen zur Einspeisung von Energie und Stoff in einen verwertbaren Informationsfluss vorhanden sind.

Die im Rahmen der Umwelt generierte Informationsflut wird dann in der Regel über verschiedene Mechanismen gefiltert, weitergeleitet und verarbeitet. Die Konsequenz daraus ist oftmals irgendeine Form des Verhaltens – im primitivsten Sinn, der Systemerhaltung, wird damit Nahrungsaufnahme respektive Assimilation von Nährstoffen induziert oder eben nicht. In jedem Fall wird nur ein geringer Anteil der Information in übertragungsfähige Formen überführt.²⁴⁵ Insgesamt dient dieser Vorgang der Anpassung, sowohl im langfristigen, genetischen als auch im kurzfristigen, physiologischen Sinn.²⁴⁶ Für die vorliegende Arbeit ist im Folgenden allerdings der Fokus auf die generationsübergreifende Informationsweitergabe von Bedeutung.

In der klassischen Sichtweise gelangt Information nicht von der Umgebung in das Genom, der Gesamtheit an vererbbaaren Informationseinheiten, sodass Anpassung in der Evolution nur durch bereits vorhandene, zufällige Variation – im Zuge von Mutationen oder Rekombinationen – auf genetischer Ebene und anschließender Selektion entsteht. Dieser Ansatz vernachlässigt die Rolle der Umwelt allerdings vollkommen und suggeriert eine Trennung derselben vom lebendigen System. Nach neueren Erkenntnissen stellt daher das sogenannte Epigenom, die Gesamtheit aller epigenetischen Markierungen eines Genoms, die Verbindung von in der Desoxyribonucleinsäure (DNA) gespeicherter Information zur Umgebung dar.²⁴⁷ Nach Bernhard Kegel wirken die Mechanismen der Epigenetik auf folgenden Ebenen, wo sie die genetische Grundausstattung beeinflussen können:²⁴⁸

1. Auf der DNA selbst vermögen regulatorische Elemente wie Promoter oder Enhancer die Transkription eines Gens zu fördern beziehungsweise zu hemmen.
2. Am Chromatin, einem Komplex aus DNA und Proteinen, beeinflussen beispielsweise Acetylierungen oder Methylierungen respektive Histonvarianten und -modifikationen im Allgemeinen ebenso die genetische Funktion.

²⁴⁵ Womit etwa auch Kommunikation gemeint sein kann.

²⁴⁶ Folglich stellt sowohl die genetische Grundausstattung als auch das unmittelbare Verhalten Informationsverarbeitung dar.

²⁴⁷ Vgl. Kegel 2015, 207.

²⁴⁸ Vgl. ebd., 154.

3. Die räumliche Anordnung des Chromatins wiederum nimmt Einfluss auf die Aktivitäten von einzelnen Genen sowie ganzen Gengruppen.

In Abhängigkeit der Reaktionsnorm weisen Organismen hierdurch trotz in den Genen codierten Informationen phänotypische Plastizität auf.²⁴⁹ Der Phänotyp oder das Erscheinungsbild kann folglich bei einem gegebenen Genotyp unterschiedlich ausgeprägt sein, je nach Umwelteinfluss. In Bezug auf die Evolution wird dieses Phänomen mit dem Konzept der ‚Predictive Adaptive Response‘ (PAR) erklärt, wonach die Nachkommen an ihre spätere Umgebung bestmöglich angepasst werden sollen.²⁵⁰ So können im Zuge der Entwicklung eines Organismus – die selbst Produkt der Evolution ist – Interaktionen mit der Umgebung auf epigenetischem Niveau schließlich innerhalb temporär sensibler Phasen Schwellenwerte überschreiten, wodurch phänotypische Innovationen erreicht werden.²⁵¹ Der Entwicklungsapparat ist damit jenes Medium, mit dem Standortfaktoren in den Phänotyp übertragen werden.²⁵² Jedes Individuum erlangt auf diese Weise Einzigartigkeit. Epigenetische Mechanismen repräsentieren damit eine weitere, bedeutende Quelle von Variation.

Der Weg der Information von der Umwelt in die genetische Codierung ist hiermit allerdings noch nicht vollbracht. Zunächst unterliegen auch Komponenten des Epigenoms der Selektion. Entgegen der Ende des 19. Jahrhunderts formulierten Hypothese der Weismann-Barriere – wonach erworbene Informationen nicht in die Keimzellen gelangen können, also epigenetische Modifikationen nicht vererbbar sind – deuten aktuelle Studien auf gegenteiliges hin.²⁵³ Demnach können Umweltfaktoren zuerst auf der Ebene des Epigenoms über Generationen integriert werden. Nach ausreichender Generationsabfolge schließlich etabliert sich ein neuer Entwicklungspfad, welcher nach lange wiederholter Weitergabe zu genetischer Assimilation führen kann.²⁵⁴ Insgesamt verleihen

²⁴⁹ Das Ausmaß der möglichen Variabilität des Phänotyps hängt wiederum u.a. vom Genotyp ab, weshalb phänotypische Plastizität nicht bei jedem lebenden System in gleicher Weise ausgeprägt ist.

²⁵⁰ Vgl. Kegel 2015, 248.

²⁵¹ Epigenetische Modifikationen können darüber hinaus auch noch bei adulten Organismen neu entstehen, jedoch meist in kleinerer Anzahl und geringerem Ausmaß was die Folgen betrifft. Mit zunehmenden Alter sinkt darüber hinaus ihre Wahrscheinlichkeit, für Vererbung eine Rolle zu spielen gegen null.

²⁵² Vgl. Lange 2012, 167.

²⁵³ Vgl. ebd., 114f. und Kegel 2015, 294f.

²⁵⁴ Hierbei herrscht in der wissenschaftlichen Gemeinschaft noch keine Einigkeit, was den genauen Mechanismus anbelangt. Während sich manche Wissenschaftler dafür aussprechen, dass erworbene Informationseinheiten direkt in das Genom eingespeist werden, gehen andere davon aus, dass dieses nur

epigenetische Mechanismen einer Art damit Flexibilität im Angesicht sich ändernder Umgebungsverhältnisse. Zusätzlich zum klassischen Verständnis von Vererbung und Selektion wird hiermit die aktive Rolle des Organismus betont, der durch sein Epigenom einen gewissen Puffer erhält. Variationen werden hierdurch zwar vermehrt geschaffen, aber weder sofort ausselektiert noch umgehend fixiert. Stattdessen wird der Anpassung des Individuums mehr Zeit eingeräumt.²⁵⁵

An dieser Stelle soll also Folgendes zusammengefasst werden: Lebende Systeme schirmen sich in Form einer komplexen Organisation von ihrer unbelebten Welt ab, müssen gleichzeitig aber mit ebendieser einen Austausch von Energie und Stoff aufrechterhalten. Zudem können Lebewesen nur in einem durch Diversität geprägten Rahmen existieren, während jeder einzelne Organismus durch Individualität gekennzeichnet ist. Diese organismische Einzigartigkeit resultiert aus der auf Anlage/Umwelt-Interaktionen basierenden Ontogenese.²⁵⁶ Biologische Evolution kann nur in diesem Spannungsfeld ablaufen und schließt unbelebte Komponenten notwendigerweise mit ein.

4.3 Informationsspeicher und -übertragung von lebenden Systemen

Betrachtet man nun die genetische Ebene der Informationsweitergabe lebender Systeme als Langzeitspeicher der nur unter bestimmten Umständen und entsprechender Anzahl an Generationsabfolgen verändert werden kann, dann stellt das Epigenom einen ergänzenden, kürzeren Speicher dar, dessen Veränderung im Vergleich leichter hervorgerufen werden kann. Die schnellste Anpassung eines Organismus erfolgt, wie weiter oben bereits angedeutet, in Form von Verhalten. Ein einfaches Schema in diesem Zusammenhang wäre etwa das Eintreffen eines Reizes aus der Umgebung auf einen dafür verarbeitungsfähigen Rezeptor im Organismus, welcher – eventuell nach erfolgter

die Selektion beeinflusst und sich auf diese Weise niederschlägt – also ein genetisches Analogon zum erworbenen Merkmal entsteht.

²⁵⁵ Nach Axel Lange ist es zudem denkbar, dass die verschiedenen Mechanismen zur Informationsweitergabe sich im Verlauf der Zeit verändert haben beziehungsweise selektiert wurden und somit selbst ein Produkt der Evolution sind. Das würde wiederum bedeuten, dass epigenetische Mechanismen unter den Lebewesen in unterschiedlichen Ausmaßen ausgeprägt sind (Vgl. Lange 2012, 286f).

²⁵⁶ Vgl. Voland 2013, 11. Hiermit ist die Entwicklung eines einzelnen Organismus gemeint.

Reizweiterleitung – eine spezifische Reaktion auslöst. Die Informationen würden in diesem Fall nicht gespeichert, sondern direkt verwertet, sodass das Verhaltensspektrum entsprechend marginal ausfällt. Das gesamte Schema ist somit allein auf epi-beziehungsweise genetischer Ebene verankert. Bei komplexer organisierten Lebewesen wird dieser Mechanismus um neurologische Strukturen erweitert, die unter anderem der Speicherung dienen. Neuronen und Gliazellen konstituieren ein Netz, das den Organismus durchzieht und an bestimmten Stellen Knotenpunkte bildet.²⁵⁷ Im Verlauf der phylogenetischen Entwicklung resultierte diese Tendenz in der Cephalisation beziehungsweise daran gekoppelt in der Cerebralisation und zwar mehrfach unabhängig im Tierreich. Aufgrund dieser Organisation können Informationen aus der Umwelt in einem komplexen Nervensystem auf vielfältigere Weise verarbeitet, gespeichert und verglichen werden. Die Konsequenz eines Umweltreizes beschränkt sich damit nicht mehr allein auf eine spezifische Reaktion.²⁵⁸

Das bedeutet allerdings nicht die Unabhängigkeit von epi- beziehungsweise genetischen Faktoren. Die neuronalen Strukturen selbst sind prinzipiell auf diesen Ebenen kodiert, sodass beispielsweise Triebe einen Ausdruck dieser Grundausstattung darstellen. Das Zusammenspiel der Bestandteile des Nervensystems, also wiederum Relationen respektive Interaktionen, führt jedoch zu komplexeren Verhaltensweisen, die ihrerseits als Gegenspieler zu veranlagten Instinkten agieren können – gemeint sind sämtliche Prozesse der Kognition. Das was viele Menschen als Geist ansehen und von der restlichen materiellen Welt zu trennen versuchen, ist jedoch unweigerlich mit neuronaler Synchronisation sowie der Verschaltung mehrerer Komplexe innerhalb des Gehirns korreliert. Statt einer Reduktion auf die Leistung der einzelnen Bestandteile, kann dieses scheinbar neu auftretende Verhalten durch einen systemtheoretischen Zugang besser erklärt werden. Dirk Eidemüller sieht den strikten Reduktionismus in diesem Zusammenhang an einer epistemischen Zirkularität als gescheitert an.²⁵⁹ So ist menschliche Erkenntnis – trotz aller technischen Errungenschaften – letztlich an ihre evolutionär erwachsenen Strukturen gebunden, die wiederum primär auf den Mesokosmos ausgerichtet sind. Technik vermag es, unsere Sinne zu erweitern, doch führt

²⁵⁷ Im Rahmen dieser Arbeit kann natürlich nicht auf die gesamte Neurologie eingegangen werden. Die dargelegten Informationen dienen daher ausschließlich der verfolgten Argumentation.

²⁵⁸ Das ist einer der Aspekte in denen sich Pflanzen, die keine neuronalen Strukturen aufweisen, von Tieren unterscheiden.

²⁵⁹ Vgl. Eidemüller 2017, 224.

der Weg von Informationen nichtsdestotrotz durch sie hindurch und in unser Gehirn. Wenn für Erkenntniszuwächse auf subatomarem Niveau der Vorgang der Messung selbst – also ein Phänomen des Mesokosmos – berücksichtigt werden muss, scheint sich die Erklärung der Welt ausschließlich durch Gesetze im Kleinen selbst zu untergraben.²⁶⁰ Man muss der menschlichen Erkenntnis deswegen allerdings noch keinen strikten Subjektivismus unterstellen. Die evolutionäre Anpassung hätte sich ohne objektiver Grundlage schließlich nicht ereignen können. Die Erschließung der Welt durch den Menschen muss daher ein gewisses Maß an Übereinstimmung mit der faktischen Wirklichkeit aufweisen.²⁶¹ Die Fähigkeiten des *Homo sapiens* können hierbei allerdings nicht hintergangen, sondern nur erweitert werden.²⁶²

Das einfache Denken in linearen Gesetzmäßigkeiten die sich durch alle Organisationsniveaus hindurch erhalten allein reicht nicht aus. Verschiedene Komplexitätsstufen zeichnen sich durch Diskontinuität aus. Neben den Gesetzen der niederen Stufen treten neue, höhere, hinzu, welche einen kleineren Geltungsbereich aufweisen und die fundamentalen Gesetzmäßigkeiten nicht ersetzen, sondern ‚überformen‘.²⁶³ Demnach führen bestimmte Organisationsniveaus beim Überschreiten kritischer Schwellenpunkte zu sogenannten emergenten Eigenschaften, die nur auf Systemebene in Erscheinung treten und in den Bestandteilen lediglich dispositionell verankert sind.²⁶⁴ Ob und wann solche Emergenzen auftreten, hängt daher vom systemischen Organisationstypus sowie den Bestandteilen ab. Ihr Auftreten ist dieser Ansicht nach prinzipiell vorhersehbar, jedoch mangels unserer derzeitigen Fähigkeiten und wissenschaftlichen Paradigmen nicht möglich.²⁶⁵ Diesem Ansatz nach hätte sich im

²⁶⁰ Die Empfindlichkeit für Messungen kommt dabei eigentlich nicht nur dem subatomaren Bereich zu, sondern hängt in erster Linie von der Empfindlichkeit des Systems ab. So müssen etwaige Veränderungen bei Bestandsaufnahmen in Ökosystemen für die Analyseergebnisse ebenso berücksichtigt werden (Vgl. Gorke 1999, 35).

²⁶¹ Thomas Nagel spricht in diesem Zusammenhang von Intelligibilität, der grundsätzlichen Möglichkeit die Welt zu beschreiben und zu verstehen. Diese Annahme steht letztlich auch hinter jeder Wissenschaft (Vgl. Nagel 2014, 30).

²⁶² Vgl. Van der Wal 2017, 294.

²⁶³ Vgl. ebd., 210. In diesem Kontext gehen manche Autoren auch von der Existenz vielfältiger Kausalitätsformen aus, die das Ursache-Wirkungsprinzip überschreiten oder sie ersetzen Kausalität durch In-Beziehung-setzen (Vgl. Herrmann et.al. 2018, 26 und Van der Wal 2017, 331).

²⁶⁴ Vgl. Van der Wal 2017, 119 u. 213. Phänomene wie das Leben oder Bewusstsein müssen dem Universum demnach potenziell immer schon inhärent gewesen sein (Vgl. hierzu Nagel 2014, 52f.).

²⁶⁵ So wird in der Wissenschaft primär das Zusammenspiel aus Induktion – dem Schluss von einem Fall und einem Resultat auf die Regel – und Deduktion – dem Schluss von einer Regel und einem Fall auf ein Resultat – betont, während die Abduktion – der Schluss von einer Regel und einem Resultat auf einen Fall – vernachlässigt wird. Letzterer gilt als unwissenschaftlich, weil er keine erklärende Funktion ausübt, jedoch vermag er es einen möglichen neuen Gegenstand überhaupt sichtbar zu machen. Abduktion gleicht

Falle des menschlichen Nervensystems ein komplexes Subsystem innerhalb des Organismus – dem lebenden System – etabliert, das sich in Form des Bewusstseins scheinbar abhebt und ebenfalls Autonomie respektive Selbstorganisation aufweist. Menschen erfahren sich deshalb, im Vergleich zum übrigen Tierreich, in größerem Ausmaß als von der Natur distanziert.

Nun soll zur Informationsweitergabe in lebenden Systemen zurückgekommen werden. Das bloße Vorhandensein neuronaler Strukturen und sich eventuell daraus ergebende kognitive Fähigkeiten dient primär dem individuellen Organismus zur schnellen Adaption an gegebene Umweltbedingungen. In Form von Kommunikation kann horizontaler Transfer von gewonnen beziehungsweise verarbeiteten Informationen erfolgen. Manche Organismen sind darüber hinaus zu vertikaler – also generationsübergreifender – Weitergabe von erlangter Information in der Lage, etwa indem bestimmte Verhaltensweisen an die Nachkommen weitergegeben respektive gelehrt werden. Bleibt auf diese Weise ein Verhaltensmerkmal über mehrere Generationen erhalten, spricht man auch von Tradition.²⁶⁶ Da die übermittelten Informationen nicht in den epi – beziehungsweise genetischen Ebenen verankert sind, können sich unterschiedliche Populationen einer Art in diesem Merkmal voneinander unterscheiden. In so einem Fall liegt schließlich kulturelles Erbe, neben Genen und epigenetischen Modifikationen, vor. Eine solche Kulturfähigkeit findet sich nicht nur beim Menschen, sondern bei Primaten im Allgemeinen, in Gruppen sozialer Säugetiere sowie beispielsweise bei verschiedenen Vögeln.²⁶⁷ Die Ausprägung dieser Fähigkeit hängt, wie oben erörtert, von neuronalen Strukturen und deren Organisation ab. Diese wiederum müssen genetisch kodiert und gegebenenfalls epigenetisch modifiziert sein um im Organismus gebildet zu werden. Kultur ist damit ein Produkt der Evolution und kann, wenn sie die Fitness einer Gruppe beeinflusst, zu veränderter Selektion beitragen, was zu einem neuen Genpool führt.²⁶⁸ Wenn wir uns an dieser Stelle die Mechanismen der Epigenetik in Erinnerung rufen, ist außerdem denkbar, dass kulturell bedingte

damit eher einer Vermutung, die den Kreislauf aus Induktion und Deduktion erweitert respektive die Verknüpfung von Logik und Empirie schafft (Vgl. Zeidler 2000, 157ff).

²⁶⁶ Vgl. Voland 2013, 214.

²⁶⁷ Hierzu zählen etwa unterschiedliche Gesangsdiialekte, das Waschen von Nahrung oder andere, spezielle Praktiken im Zusammenhang mit dem Nahrungserwerb, einschließlich des Werkzeuggebrauchs. Die Fähigkeit andere Mitglieder der Gruppe als intentionale Akteure wahrzunehmen respektive sich in sie hineinversetzen zu können geht oftmals mit diesen kulturellen Fähigkeiten einher (Vgl. Tomasello 2006, 27).

²⁶⁸ Dieser Weg könnte beispielsweise über einen verbesserten Zugang zu Nahrung erfolgen.

Verhaltensweisen von Eltern die Entwicklung ihrer Nachkommen derart prägen, dass über mehrere Generationen hinweg bestimmte Merkmale – zunächst epigenetisch – assimiliert werden.

Informationen können sich hierdurch, in unterschiedlichen Zeiträumen, zwischen den erwähnten Ebenen der generationsübergreifenden Informationsweitergabe in beide Richtungen bewegen. Zudem sind die Ebenen über die organismische Umwelt miteinander verbunden. Es gilt hierbei zu beachten, dass jegliche Information einen Bezug zur objektiven Umgebung aufweist. Die Manifestation von unterschiedlichen Informationsspeichern in lebenden Systemen konstituiert gleichzeitig die Individualität des einzelnen Organismus und gliedert sich wie folgt:

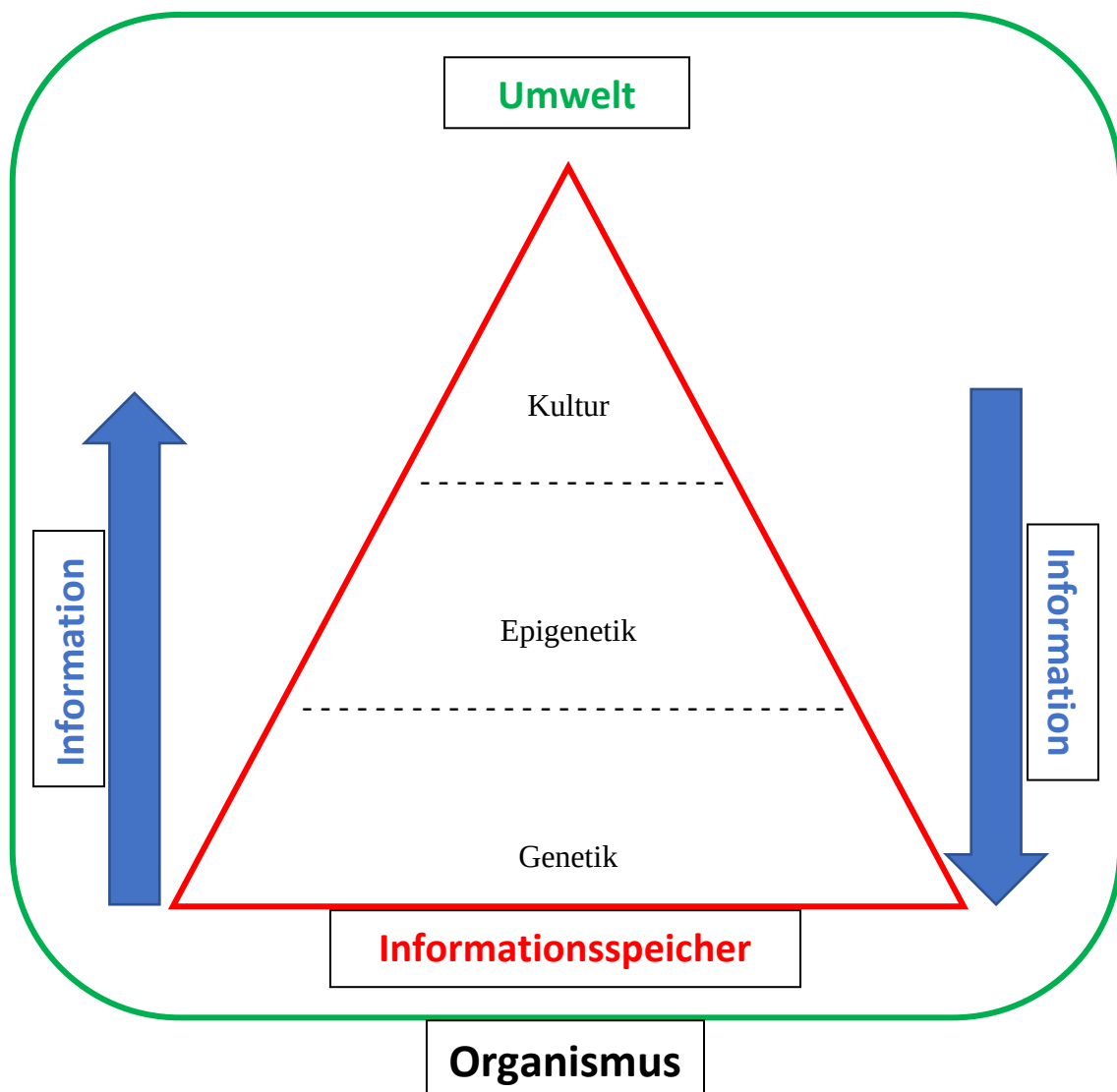


Abbildung 16 Der Fluss von Information in lebenden Systemen.

Die Umgebung wurde in dieser Darstellung vernachlässigt, nichtsdestotrotz ist das lebende System – der Organismus – als in die Standortfaktoren integrierte Einheit zu verstehen. Die Integration erfolgt dabei über die Umwelt – sämtliche Existenz welche über die organismischen Fähigkeiten erschlossen werden kann. Der Transfer von Information über die verschiedenen Ebenen findet in unterschiedlicher Geschwindigkeit statt und erfordert eine Form der Fortpflanzung innerhalb einer Population.²⁶⁹ Bei primitiven Lebewesen kann eine horizontale Übertragung bereits auf der genetischen Ebene vollzogen werden, während dies etwa bei Säugetieren ausschließlich über Gentechnik oder auf kultureller Ebene möglich wäre. In beiden Fällen handelt es sich um die schnellste wie auch kurzfristigste Möglichkeit zur Adaption, welche gerade deshalb allerdings auch die größte Gefahr der Fehlausrichtung birgt.²⁷⁰ Auf vertikal übertragenen Elementen der Speicherebenen hat die Selektion bereits über längere Zeit ihre Wirkung entfalten können, ungeeignete Merkmale also beseitigt oder in anderer Weise stillgelegt. Auf horizontalem Weg hingegen kann schnell ein großer Teil der Population mit einem Merkmal versehen werden, das der Selektion dann viel mehr Angriffsfläche bietet. Nichtsdestotrotz verbleibt jedwede Form der Kultur eine Anpassungsleistung, weshalb sie mitunter wertvolle Beiträge zur Nischenkonstruktion zu leisten vermag.

4.4 Die Fähigkeit zu Kultur beim Menschen und moralische Urteile

Kulturelle Adaption ist also ein Produkt der Evolution, das sich – wenn auch nicht allzu oft – mehrmals unabhängig ausgebildet hat. Trotzdem ist es offensichtlich, dass die Kultur des Menschen im Vergleich zu anderen kulturfähigen Arten nochmal andere Dimensionen aufweist. So bleiben die kulturell weitergegebenen Merkmale über die Zeit erhalten und werden nicht bloß ersetzt, was eine Akkumulation der Informationen zur Folge hat ebenso wie die Ausbildung von Geschichte.²⁷¹ Die Grundlage für dieses von Michael Tomasello als kumulative kulturelle Evolution bezeichnete Phänomen bildet die

²⁶⁹ Man könnte daher anstatt ‚Organismus‘ auch ‚Population‘ in die Grafik einsetzen. Für Lebewesen ohne Fähigkeit zu Kultur ist das Dreieck entsprechend durch die anderen Ebenen ausgefüllt. Die Manifestation der Informationsspeicher im Zusammenspiel mit der Umwelt ergeben den sogenannten Phänotyp.

²⁷⁰ Vgl. Lange 2012, 272f.

²⁷¹ Vgl. Tomasello 2006, 57.

Verschränkung von Imitation und Innovation innerhalb einer Population.²⁷² Das Imitieren bestimmter Verhaltensmerkmale verlangt geringen kognitiven Aufwand, sodass selbst bei schlechten Umweltbedingungen Traditionen erhalten bleiben können. Demgegenüber resultieren Innovationen aus individuellen Lernprozessen, welche einen entsprechenden Mehraufwand darstellen und somit erhöhten Ressourcenverbrauch implizieren.²⁷³ Für den Fortschritt einer Population, der aus evolutionärer Sicht größere Anpassungsleistung repräsentiert, müssen beide Prozesse in einem ausgewogenen Verhältnis vorhanden sein.²⁷⁴ Wird im Zuge kultureller Leistung die ökologische Nische bedeutend erweitert, kann dies zu entsprechendem Populationswachstum führen, der wiederum – als Resultat aus Imitation und Innovation – die Anpassung verbessert, also zur Nischenkonstruktion beiträgt. Eine solche Rückkopplung ist nicht zwangsläufig, kann aber eine sich selbst verstärkende Dynamik entfalten. Vor allem wenn Informationen nicht restlos gelöscht werden, können sich im Verlauf der Zeit vermehrt Möglichkeiten zur Innovation herausbilden, da prinzipiell mehr Ansatzpunkte vorhanden sind. Im Falle des Menschen kann diese Entwicklung als Ausdruck einer Koevolution der genetischen, epigenetischen sowie kulturellen Ebene angenommen werden. Wenn wir uns die Grafik von zuvor in Erinnerung rufen, dann lässt sich festhalten, dass die Spitze des Dreiecks – also Kultur – unter der menschlichen Erdbevölkerung ausgeprägter ist als im übrigen Tierreich. Dies wiederum förderte die Entstehung von Geschichte im weiteren Sinn und resultierte durch Anhäufung von Innovationen in Fortschritt.

Die Anthroposphäre stellt damit ein Produkt der – stark ausgeprägten – menschlichen Nischenkonstruktion dar. Umweltmanipulation und Kulturfähigkeit sind allerdings – wie dargelegt wurde – im Rahmen der Evolution hervorgegangen und deswegen als natürliche wie auch verbreitete Phänomene zu betrachten. Die Tätigkeiten des Menschen sind daher nicht als Emanzipation von seinem evolutionären Erbe zu verstehen.²⁷⁵ Eine Gegenüberstellung von Natur und Kultur, welche in der Debatte rund um das Anthropozän verbreitet ist, erscheint daher genauso willkürlich wie unlogisch. Dasselbe gilt für das oftmals dahinterstehende Verständnis, sämtliche kulturellen Fähigkeiten

²⁷² Vgl. ebd., 56.

²⁷³ Vgl. Lange 2012, 260.

²⁷⁴ Zunehmende Imitation würde das Risiko von Fehlanpassungen erhöhen, während der gesteigerte Ressourcenverbrauch bei individuellen Lernprozessen ab einem gewissen Punkt nicht mehr rentabel bleibt und so die Fitness der Population mindert.

²⁷⁵ Vgl. Voland 2013, 217f.

würden sich auf die menschliche Spezies beschränken. Die Konsequenzen dieser konstruierten Opposition belaufen sich weiters auf den Gedanken, die Natur – welche zumeist als Synonym für das Erdsystem verwendet wird – wäre unveränderlich und befände sich in einem Gleichgewicht, das durch die Veränderlichkeit der Kultur gestört wird.²⁷⁶ Aus einer solchen Annahme folgt schließlich die Trennung des Natürlichen vom Menschlichen. Es handelt sich um Wertungskeile, die für komplexe Sachverhalte wie sie im Rahmen dieser Arbeit vorgestellt wurden fälschlicherweise als Bewertungsgrundlage herangezogen werden. Die Entwicklung der Erde ging mit der Entstehung und Evolution des Lebens einher, weshalb also niemals ein spezifischer Zustand bewahrt wurde. Da weiters jedes lebende System – was den Menschen miteinschließt – zusammen mit unbelebten Komponenten und anderen Lebewesen in ein oder mehrere Ökosysteme eingebettet ist, geht man also im Zuge von Werturteilen von falschen Tatsachen aus, wenn die menschliche Spezies als losgelöst interpretiert wird. Erinnern wir uns an dieser Stelle an jene grundlegende Verstrickung, die für jedes lebende System Gültigkeit besitzt. Es sind gerade unsere kognitiven Fähigkeiten, die komplizierte Abstraktionen zulassen und auf diese Weise Distanz schaffen, weil bestimmte Eigenschaften im Zuge von Betrachtungen vernachlässigt werden. So kommt es, dass die Selbstwahrnehmung des Menschen dazu neigt, den Organismus als herausgehoben zu sehen und als Gegenüber von anderen natürlichen Phänomen aufzufassen. Trennungen, wie sie im Zuge von Kategorisierungen – auch im Rahmen von Wissenschaft – vollzogen werden, repräsentieren in den allermeisten Fällen jedoch Näherungen um komplexe Materie zugänglicher zu machen. Die heutigen, menschlichen Problemstellungen haben allerdings ein Maß an Komplexität erreicht, das schnelle Heuristiken für moralische Orientierungen inadäquat macht.

Viele Ethiker begegnen schließlich dem ungeheuren Ausmaß an wissenschaftlichen Erkenntnissen der heutigen Zeit mit einem Verweis auf ein altes Prinzip, das von David Hume stammt. Demnach lässt sich aus empirischen Beobachtungen beziehungsweise vorhandenen Verhältnissen nicht ableiten, wie diese Verhältnisse eigentlich sein sollten.²⁷⁷ Dem „Sein“ wird hierdurch ein „Sollen“ gegenübergestellt und dient als Analogon zur Abgrenzung von Objektivität gegenüber Subjektivität. Ethische

²⁷⁶ Vgl. Herrmann 2013, 37.

²⁷⁷ Vgl. Gorke 1999, 56.

Stellungnahmen zu moralischen Problemen lassen naturwissenschaftliche Erkenntnisse daher oftmals außen vor oder sie werden nach Belieben herausgepickt um die eigene Argumentation auszuschnücken. Interessanterweise ließe sich der von manchen Autoren postulierte Idealzustand der Natur, welcher durch die menschliche Kultur bedroht wird, durch ebenjenes Prinzip für moralische Urteile gar nicht heranziehen. Der Zustand bleibt immer noch ein „Sein“, auch wenn er letztlich entweder weit in der Vergangenheit liegt oder gänzlich konstruiert wurde.

Dabei scheint eine Debatte darüber, wie man nun zu moralischen Standpunkten gelangen soll äußerst redundant. Die Ansicht, es gebe keine Objektivität im Zusammenhang mit Moral ist genauso wenig haltbar wie die Annahme, wissenschaftliche Erkenntnisse würden keinerlei Subjektivität aufweisen. Wir haben diesen Aspekt bereits kennengelernt: Die menschlichen Fähigkeiten geben uns die Wirklichkeit nur indirekt wieder beziehungsweise lassen uns die Welt ausschließlich durch sie erkennen. Darüber hinaus steht ihre evolutionäre Herausbildung unter der Bedingung der Gewährleistung der Existenzsicherung respektive der Anpassung – unser evolutionäres Erbe –, weshalb jegliches Erkennen des Menschen zugleich auch einer Bewertung unterliegt.²⁷⁸ Selbst das Vorhandensein hochkomplexer Kultur – auch in Form von Technik – emanzipiert nicht hiervon. Das Einlangen von Informationen in ein lebendes System geht also einher mit der Generierung von Bedeutung für ebenjenes, welche wiederum umgehend bewertet wird, da sie sonst keinerlei Sinn erfüllen würde. Allein schon aufgrund der gegebenen (neurologischen) Strukturen ist Erkenntnis daher immer mit Emotion verbunden.²⁷⁹ Beim Menschen laufen die entsprechenden Prozesse der Bewertung allerdings zumeist unbewusst ab und werden vom dominanten Bewusstsein abgeschirmt oder in kleinen Portionen eingearbeitet. Intersubjektivität, die aus der Fähigkeit andere Personen als intentionale Akteure aufzufassen resultiert, erlaubt uns schließlich einen erweiterten Zugang sowohl zu Erkenntnissen als auch Bewertungen. Wissenschaft und Moral konnten beziehungsweise können daher nur in einer Gemeinschaft hervorgebracht werden. In Bezug auf das Hume'sche Prinzip lässt sich daher festhalten, dass ethische Leitsätze ohne der Berücksichtigung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse blinde Willkür darstellen, die der heutigen Zeit nicht gerecht werden. Tatsache ist, dass wir immer schon

²⁷⁸ Vgl. Eidemüller 2017, 296f.

²⁷⁹ Vgl. ebd., 297.

von einem Sein auf ein Sollen geschlossen haben, der Versuch diese beiden Aspekte zu trennen also notgedrungen scheitern muss. Stattdessen erscheint es von großer Bedeutung zu sein, für Erkenntnisgewinn genauso wie für die Formulierung von moralischen Standpunkten, anthropische Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Da im Verlauf der vorliegenden Arbeit bereits festgestellt werden konnte, dass lebende Systeme in Ökosysteme eingebettet sind und – trotz der Suggestion von diskreten Objekten aufgrund des biologischen Artbegriffs – einzelne Organismen genauso wie ganze Populationen nicht ohne andere Arten existieren können, ist es nur sinnvoll, anthropozentrische Leitsätze innerhalb der Ethik um solche ökologischen Erkenntnisse zu bereichern anstatt zu behaupten, dieses Wissen habe rein gar nichts mit Moral zu tun. Statt also den zahlreichen Phänomenen der Natur, insbesondere Arten, Lebensgemeinschaften und Ökosystemen, einen objektiven Eigenwert zuzuschreiben, ist es im Sinne der Verbundenheit von Sein und Sollen sowie von Subjektivität und Objektivität nur logisch, den Anthropozentrismus in drastischer Weise auszudehnen und nicht zu ersetzen – der Mensch bleibt immer die Bewertungs- wie auch Erkenntnisgrundlage.²⁸⁰

Ein Ansatz, der nicht nur die anthropozentrische Grundlage bewahrt, sondern sich gleichzeitig an der politischen Pragmatik orientiert, ist die sogenannte Ökologische Ökonomie.²⁸¹ Hierbei wird verschiedenen Lebensgemeinschaften, Arten oder Ökosystemen ein Wert zugeschrieben, welcher sich anhand von Ökosystemdienstleistungen bemessen lässt und in Geld übersetzbar ist. Diese natürlichen Dienstleistungen stellen uns „kostenlos“ sämtliche Erfordernisse für unser (Über)Leben zur Verfügung. Veränderungen von bestehenden, natürlichen Verhältnissen können bestimmte Leistungen erhöhen – beispielsweise eine größere Ernte durch intensive Landwirtschaft – während andere reduziert werden – etwa Rückgang der Biodiversität, verminderte Wasserqualität oder Ähnliches. Letztlich stellt die Ökologische Ökonomie also eine Erweiterung der klassischen Kosten-Nutzen-Abwägung dar, weshalb sie für die heutige Wirtschaft Zugänglichkeit bewahrt.²⁸² In Bezug auf das Anthropozän sind

²⁸⁰ Die Zuschreibung von objektiven Eigenwerten an unterschiedliche, natürliche Phänomene würde eine teleologische oder theistische Ordnung der Natur implizieren. Die Natur würde sich diesen Ansichten nach auf ein Ziel bewegen das immanent oder durch ein göttliches Wesen vorgegeben ist. Solche Annahmen sind aber aufgrund der anthropischen Rahmenbedingungen nicht überprüfbar. Zudem birgt eine Teleologie oder der Theismus die Gefahr, wissenschaftliche Erkenntnisse durch nicht weiter belegte Überzeugungen zu untergraben.

²⁸¹ Vgl. Begon 2017, 477ff.

²⁸² Eine detaillierte Darlegung ethischer Leitsätze im Zusammenhang mit dem Anthropozän kann im Rahmen dieser Arbeit nicht gegeben werden, denn hierfür wäre eine gesonderte Ausarbeitung notwendig.

Aussichten auf kurzfristige Gewinne in der Politik daher durch systemische Betrachtungen zu ersetzen, die den Wert zahlreicher lebender wie auch nicht-lebender Systeme – aus unserer Sicht – anerkennen. Vor allem da der Mensch seine eigenen Selektions- und Entwicklungsbedingungen mitgestaltet, scheint ein solcher Zugang erforderlich. In diesem Zusammenhang muss auch auf die oftmals gestellte Forderung, die Menschen sollen im Einklang mit der Natur leben, eingegangen werden. Dieser Appell impliziert letztlich nichts anderes als die Reduktion zivilisatorischer Errungenschaften. Wie wir aber gesehen haben, ist die menschliche Kultur ebenso ein Produkt der Evolution und damit eine Anpassungsleistung, sodass eine zivilisationsreduzierte Lebensweise verminderte Anpassung wie auch erhöhte Abhängigkeit von Standortfaktoren zur Folge hätte. Auf diese Weise würde der Mensch die Möglichkeit zur Gestaltung seiner eigenen Selektions- und Entwicklungsbedingungen wieder an andere Faktoren abgeben.²⁸³ Eine solche Ansicht würde evolutionären Prozessen darüber hinaus unterstellen, dass sie vermeintlich „unnatürliche“ Phänomene hervorbringen können. Die Position des Einklangs mit der Natur geht daher mit einem falschen respektive unzureichendem Verständnis von Evolution einher sowie mit der Überzeugung, der Mensch sei von Natur getrennt zu denken.

4.5 Was Natur ist

Im letzten Teil der vorliegenden Arbeit soll nun näher auf den Begriff der Natur eingegangen werden. Viele Menschen neigen dazu, über gewisse Tatsachen – wie die Einbettung in Ökosysteme oder Evolution im Allgemeinen – hinwegzusehen, da sie die Menschheit lieber als in besonderer Weise geschaffen sehen möchten. Das am weitesten verbreitete Verständnis von Natur sieht damit eine Gegenüberstellung zu allem Menschlichem vor und geht auf gesellschaftliche Interpretationen der Antike zurück.²⁸⁴ Als entscheidende Kriterien werden hierbei unter anderem die im Vergleich zu Tieren vorhandene Individualität des Menschen wie auch seine besonderen, kulturellen Fähigkeiten herangezogen.²⁸⁵ Wenn allerdings die Abbildung zu den unterschiedlichen

²⁸³ Vgl. Herrmann et.al. 2017, 37.

²⁸⁴ Vgl. Herrmann 2013, 36 und Arendt 1994, 57ff.

²⁸⁵ Die Wahrnehmung, dass Individualität scheinbar nur unter Menschen vorhanden sei geht wiederum auf unsere evolutionäre Anpassung zurück. Innerhalb der eigenen Art ist Kommunikation auf unterschiedlichen Ebenen natürlich viel sinnvoller, sodass von anderen Menschen im Vergleich zu Tieren mehr Informationen bewusst verarbeitet und interpretiert werden können.

Informationsspeichern in Erinnerung gerufen wird, ist ersichtlich, dass Individualität in dieser Form unter allen Lebewesen vorhanden ist und Kultur nur eine besondere Anpassungsleistung im Tierreich darstellt.

Andere Naturbilder wiederum setzen Natur mit toter Materie gleich.²⁸⁶ Dieses bloße Material kann selbst keinen intrinsischen Wert besitzen, während der Mensch über Würde verfügt und damit an sich wertvoll ist. Er kann also kein natürliches Wesen darstellen, sondern müsste dieser Sichtweise entsprechend einer besonderen Ordnung zugehörig sein. Wie wir allerdings gesehen haben, weist jedes lebende System unbelebte Komponenten auf und kann darüber hinaus ohne das Vorhandensein anderer Lebewesen nicht existieren. Inwiefern sich das tote Material des Menschen in seinem Wert von der restlichen Natur unterscheidet bleibt in diesem Zusammenhang ungeklärt. Ebenso erscheint es fraglich, warum der Mensch einer besonderen Ordnung angehören sollte, wenn er eigentlich von wertloser Materie abhängig ist. Die Zuschreibung der Würde als Unterscheidungsmerkmal scheitert schließlich an den anthropischen Rahmenbedingungen, denn objektive Wertungen – welche wiederum eine teleologische oder theistische Naturordnung implizieren – sind dem Menschen nicht zugänglich. An dieser Stelle platzieren verschiedene Glaubensrichtungen folglich einen oder mehrere Götter beziehungsweise alternativ ein intelligentes Design. Viele Religionen – je nachdem wie viel Geltung ihre Leitsätze beanspruchen – transzendieren hierdurch jegliches Verständnis von Natur.²⁸⁷ Die Welt wird als durch eine Intention geschaffen interpretiert, die sich der Mensch nur durch den Glauben zugänglich machen kann. Die potenzielle Erfahrbarkeit des Universums wird hierdurch verstoßen und stattdessen einem übernatürlichen Wesen zugeschrieben.²⁸⁸ Da nur der Mensch dazu fähig ist Religion zu praktizieren, ist er wiederum gegenüber anderen Lebewesen oder unbelebten Phänomenen erhaben.

Eher mythisch geprägte Anschauungen gehen hingegen von einer prinzipiellen Verbundenheit aller Dinge aus, die dadurch in einem ganz bestimmten Verhältnis zueinanderstehen.²⁸⁹ Jede Existenz nimmt eine „natürliche“ Stellung ein und wegen des

²⁸⁶ Vgl. Van der Wal 2017, 54ff.

²⁸⁷ Vgl. Nagel 2014, 43f.

²⁸⁸ Eine abgemilderte Form der religiösen Überzeugung würde die grundsätzliche Intelligibilität und damit wissenschaftliche Erkenntnisse anerkennen und auf ihnen aufbauen. Da auch Wissenschaft letztlich durch Paradigmen begrenzt ist, können milde Glaubensansprüche die Grenzen sogar erweitern.

²⁸⁹ Vgl. Van der Wal 2017, 40f.

allumfassenden Zusammenhang ist der menschlichen Erfahrbarkeit auch grundsätzlich alles zugänglich. Der Mensch ist damit Teil der Natur, allerdings nur solange er seine ihm auferlegte Position einnimmt. Abweichungen vom natürlich eingenommenen Zustand der Dinge werden als schlecht interpretiert. Veränderlichkeit gibt es somit im vorgesehenen Dasein nicht und daher auch nicht Geschichte. Etwaige Änderungen sind folglich rückgängig zu machen. Ein wenig erinnert diese Betrachtungsweise an von diversen Naturschützern suggerierte Idealzustände. Letztlich spiegelt sich hierin erneut der Appell zur Reduktion der menschlichen Zivilisation wider. Für die heutigen, komplexen Problemlagen kann diese Ansicht jedenfalls nicht herangezogen werden, da sie weder wissenschaftliche Erkenntnisse – wie die gesamte Erdgeschichte – berücksichtigt noch mit ihnen vereinbar ist.

Schlussendlich kann Natur und die Platzierung des Menschen nur auf eine Weise aufgefasst werden, wenn die Vereinbarung mit Wissenschaft gewährleistet werden soll. Wenn die im Rahmen dieser Arbeit dargelegten Fakten berücksichtigt werden, bleibt nur der Naturalismus als mögliche Option übrig. Natur ist demnach einfach alles und dem Menschen auch potenziell zugänglich, sofern er die dafür nötigen Fähigkeiten noch entwickelt oder entsprechende, technische Errungenschaften hervorbringt. Die anthropischen Rahmenbedingungen sind also nicht für alle Zeit starr vorgegeben. Der Mensch ist diesem Verständnis nach ein Teil der Natur, in welcher Wesen entstehen konnten, die die Natur – als Folge der Evolution – verstehen können. Jedem Lebewesen liegt die Fähigkeit des Verstehens bestimmter Aspekte der Welt zugrunde, weil es Informationen aufnimmt, verarbeitet und überträgt. Lebende Systeme erfahren die Natur dabei durch die jeweils zugrunde liegenden Strukturen. Im Falle des Menschen erlangt diese Fähigkeit jedoch die höchste, bekannte Komplexität vor allem aufgrund seiner zivilisatorischen und technischen Entwicklung. Der Kosmos nimmt sich also im und durch den Menschen selbst wahr beziehungsweise anders ausgedrückt: „*Wir erkennen das Universum nur für uns in ihm*“.²⁹⁰

Diskrete Objekte nehmen in dieser Naturauffassung dieselbe Stellung ein wie Relationen und Interaktionen. Daher sind natürliche Phänomene aus bloß reduktionistischem Blickwinkel nur teilweise erklärbar, was sich etwa in der gängigen Gegenüberstellung von Materie und Geist niederschlägt. Wenn jedoch alles Teil derselben Natur ist, waren

²⁹⁰ Eidemüller 2017, 417.

beziehungsweise sind auch Erscheinungen wie unser Bewusstsein natürlich erklärbar. Der verbreitete Dualismus wird also durch einen Monismus ersetzt, welcher geistige Eigenschaften als Facetten des Natürlichen sieht.²⁹¹ Reduktive Analysen machen uns komplexe Naturphänomene dabei zugänglicher und nur im Zusammenspiel mit anderen, holistischen Betrachtungsweisen wie etwa der Systemtheorie kann die Lücke zwischen diversen Separierungen erklärt werden. Emergente Eigenschaften erwachsen daher aus den Beziehungen systemischer Bestandteile und sind zumeist rückgekoppelt respektive nichtlinear. Die Entstehung des Kosmos oder des Lebens, die Entwicklung des Menschen und seiner Fähigkeiten sowie andere nicht zur Gänze reduktionistisch verstandene Besonderheiten der Welt benötigen zu ihrer Erklärung also keine Wesenheit oder Kraft die außerhalb des Natürlichen liegt.²⁹² Das Universum hat sich dieser Ansicht nach selbst geschaffen und differenziert sich auch weiter – beispielsweise in Form von Leben. Emergenzen repräsentieren in diesem Zusammenhang schließlich die zugehörigen Neuheiten. Naturgesetze auf fundamentalen Ebenen verlieren hierbei allerdings nicht ihre Gültigkeit. Stattdessen setzen sie neu auftretende Systeme in Beziehung und werden hierdurch von weniger grundlegenden Gesetzmäßigkeiten überlagert. Ein gewisses Ausmaß an schöpferischer Kraft kommt somit allen Dingen zu, wenn sie als System beziehungsweise Systembestandteil aufgefasst werden.

²⁹¹ In diesem Sinne ist die Unterscheidung in Geistes- und Naturwissenschaften auch nicht mehr sinnvoll. Erstere befassen sich lediglich mit sehr speziellen Phänomenen der Natur auf einer hohen Komplexitätsebene.

²⁹² Das erfordert letztlich ein breiteres Verständnis von Kausalität auf unterschiedlichen Komplexitätsebenen. Der Naturalismus lässt sich im Übrigen auch mit Religion vereinbaren indem der Gottesbegriff mit dem Naturbegriff gleichgesetzt wird.

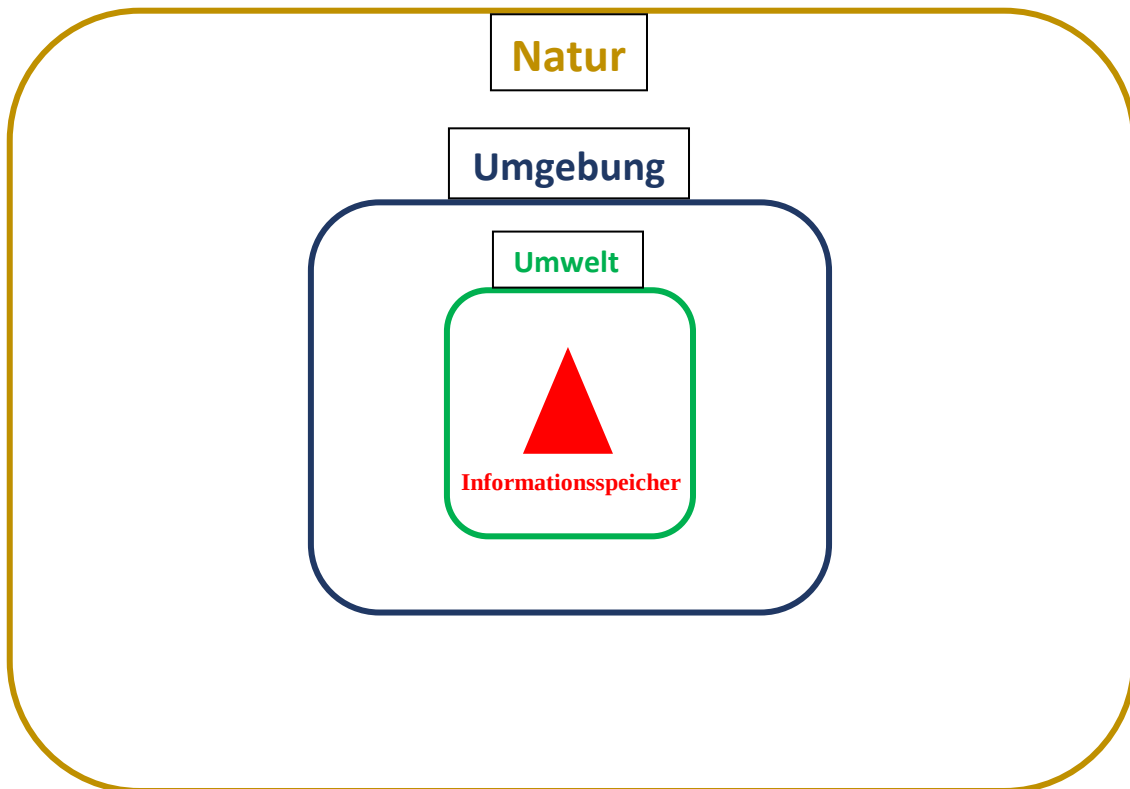


Abbildung 17 Die Einbettung von lebenden Systemen in die allumfassende Natur.

Wie die Grafik zeigt, umfasst Natur jedwede Existenz und so auch lebende Systeme einschließlich des Menschen. Die Umgebung markiert jenen Bereich, der dem Lebewesen aufgrund seiner derzeitig ausgebildeten Strukturen oder Errungenschaften prinzipiell zugänglich ist. Umwelt hingegen beschreibt jenen Teil der Natur, in dem tatsächlich Informationsaustausch stattfindet, welcher also das lebende System unter anderem konstituiert. Damit wird die Welt in Abhängigkeit von der Fähigkeit zur Kultur ab hier subjektiv oder intersubjektiv erschlossen. Die unterschiedlichen Ebenen des Informationsspeichers schließlich befinden sich im Individuum und ergeben zusammen mit der Umwelt den Phänotyp. Innerhalb einer Gemeinschaft finden wir eine entsprechende Vielzahl an Informationsspeichern und Umwelten – welche spezifische Standortfaktoren inkludieren –, die einander zuweilen überlagern und zusammen Ökosysteme aufbauen.

Schluss

Der Mensch handelt also immerzu im Rahmen der Natur, auch wenn er im Zuge seiner Nischenkonstruktion dramatische Veränderungen in etablierten Ökosystemen hervorruft. Niemals könnte er dazu imstande sein, Naturgesetze in irgendeiner Weise zu überwinden. Alle menschlichen Hervorbringungen und Tätigkeiten entsprechen daher natürlichen Möglichkeiten. Natur kann diesem Verständnis nach also nicht zerstört werden, wohl aber ökologische Systeme und darin eingebettete Umwelten – schlussendlich also lebende Systeme.²⁹³ Die Möglichkeit zur Gestaltung der eigenen Daseins- und Entwicklungsbedingungen kann somit Gefahr laufen ebendiese zum eigenen Nachteil zu formen, wenn die Tatsache der unumgänglichen Teilhabe an Natur und damit der Einbettung in gewisse Ökosysteme samt ihrer Lebensgemeinschaften nicht beachtet wird. Die Rolle und Bewertung von belebten wie auch unbelebten Komponenten in etablierten ökologischen Verhältnissen muss daher vor allem im Zuge der Debatte rund um das Anthropozän eine neue Stellung einnehmen. Der Naturbegriff hat in diesem Zusammenhang allerdings der Komplexität der heutigen, menschlichen Problemlagen gerecht zu werden. Wir leben also in einer Anthroposphäre, die anderen Komponenten des Erdsystems grundsätzlich untergeordnet ist, und nicht in einem Anthropozän, in dem die Erde oder Natur überwältigt wurde.

Die vorliegende Arbeit erhob nicht den Anspruch, eine ethische Argumentation oder Lösung für die Anthropozän-Debatte zu finden. Stattdessen sollte und wurde ein Rahmen hierfür aus wissenschaftlichen wie auch philosophischen Erkenntnissen umrissen, der auf die Breite des Diskurses und dessen komplexe Materie verweist. Finden hierin alle Aspekte Berücksichtigung, kann nur ein Naturbegriff als Maßstab für das Anthropozän herangezogen werden. Der Mensch ist demnach ein Bestandteil der Natur und nicht von ihr zu trennen. Dieser Umstand weist veraltete, schnelle Heuristiken zurück und betont gleichzeitig die Abhängigkeit der menschlichen Spezies von vielen Aspekten des Erdsystems, insbesondere der etablierten Ökosphäre. Moralische Prinzipien für die heutigen, menschlichen Probleme müssen diesen Umstand berücksichtigen, wenn sie Seriosität aufweisen sollen.

²⁹³ An dieser Stelle soll jedoch an systemische Transitionen bei einem Wechsel der Ordnungsparameter erinnert werden. Die Zerstörung eines bestehenden Systems kann daher zur Etablierung eines neuen führen.

Rufen wir uns zum Abschluss dieser Arbeit die zu anfangs formulierten Leitsätze des Anthropozäns in Erinnerung und erweitern die Tabelle um jene Erkenntnisse, welche für ein adäquates Verständnis sowie Teilhabe an der Diskussion rund um ein neues Zeitalter unerlässlich sind.

Tabelle 5 Leitsätze, zugehörige Faktoren und Erklärungen im Anthropozän

Leitsatz	Faktoren	Erklärung
Der Einfluss des Menschen auf das System Erde hat in hohem Ausmaß zugenommen.	• Anthropogene Materialien • Chemische Spuren • Biologische Spuren Angetrieben durch: • hohen technischen Fortschritt • rasches Bevölkerungswachstum • erhöhten Ressourcenverbrauch	• Aufbau der Erde und ihrer Komponenten • Systeme in komplexer Wechselwirkung • Mensch als Teil der Biosphäre • Nischenkonstruktion • Kultur als besondere und natürliche Anpassungsleistung
Der Einfluss des Menschen auf das System Erde hat erdgeschichtlich gesehen sprunghaft zugenommen.	Stufenmodell: • Neolithische Revolution • Kolumbianischer Austausch • Industrielle Revolution • Great Acceleration	• Kumulative kulturelle Evolution • Positive Rückkopplung von Imitation/Innovation und Populationswachstum

Leitsatz	Faktoren	Erklärung
Der Einfluss des Menschen auf das System Erde wirkt in vielfältiger Weise ihn zurück.	Verstrickung von Erd- und Menschheitsgeschichte: • Wandel im Erdsystem gehen mit Veränderungen in der Anthroposphäre einher	• Lebende Systeme ergeben sich aus Energie, Stoff und Information = integrierte Einheit • Die Biosphäre, und so auch der Mensch, trägt selbst zu den eigenen Daseins- und Entwicklungsbedingungen bei
Der Einfluss des Menschen auf das Erdsystem ist eine menschheitsgeschichtlich neue moralische Herausforderung.	• „safe operating space for human development“ • planetarische Grenzen • Tipping Points • Mensch und Natur	• Erkenntnisgewinn und Wertzuschreibungen müssen anthropische Rahmenbedingungen berücksichtigen • Holismus und Systemtheorie als erweiterter Zugang • Mensch als Teil einer allumfassenden Natur = Naturalismus

Literaturverzeichnis

- ANDERIES, J.M. et.al.: The topology of non-linear global carbon dynamics: from tipping points to planetary boundaries.”, in *Environmental Research Letters* Vol 8 (4), 2013 [044048].
- ARENDT, Hannah: Zwischen Vergangenheit und Zukunft. Übungen im Politischen Denken I. Hg. V. Ursula Ludz. München: Piper 1994.
- BEGON, Michael et.al.: Ökologie. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2017.
- BEHRINGER, Wolfgang: Kulturgeschichte des Klimas. Von der Eiszeit bis zur globalen Erwärmung. 4. Aufl. München: Deutscher Taschenbuch Verlag 2014.
- BOENIGK, Jens; WODNIOK Sabina: Biodiversität und Erdgeschichte. Berlin, Heidelberg: Springer 2014.
- BRÖNNIMANN, Stefan: Klimatologie. 1.Aufl. Bern: Haupt Verlag 2018.
- BROWN, Theodore L.; et.al.: Chemie. Die zentrale Wissenschaft. 10. aktual. Aufl. München: Pearson Studium 2007.
- CAMPBELL, Neil A. et.al.: Biologie. 10. aktual. Aufl. Hallbergmoos: Pearson 2016.
- CRUTZEN, Paul J.: „Geology of mankind.“ in *Nature* Vol 415, 2002, pp.23 [Issue 6867].
- EHLERS, Eckart: Das Anthropozän: Die Erde im Zeitalter des Menschen. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 2008.
- EIDEMÜLLER, Dirk: Quanten – Evolution – Geist. Eine Abhandlung über Natur, Wissenschaft und Wirklichkeit. Berlin, Heidelberg: Springer 2017.
- FAUPL, Peter: Historische Geologie. Eine Einführung. 2. verb. Aufl. Wien: Facultas 2003.
- GORKE, Martin: Artensterben. Von der ökologischen Theorie zum Eigenwert der Natur. Stuttgart: Klett Cotta 1999.
- GROTZINGER, John; Jordan, Thomas: Press/Siever Allgemeine Geologie. 7 Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2017.
- HERRMANN, Bernd: Umweltgeschichte. Eine Einführung in Grundbegriffe. Berlin, Heidelberg: Springer 2013.
- HERRMANN, Bernd (Hg.): Sind Umweltkrisen Krisen der Natur oder der Kultur? Berlin, Heidelberg: Springer 2015.
- HERRMANN, Bernd; Sieglerschmidt, Jörn: Umweltgeschichte in Beispielen. Wiesbaden: Springer 2017.
- HERRMANN, Bernd; Sieglerschmidt, Jörn: Umweltgeschichte und Kausalität. Entwurf einer Methodenlehre. Wiesbaden: Springer 2018.

- KADEREIT, Joachim et.al.: Strasburger – Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften. 37., vollst. überarb. u. akt. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2014.
- KEGEL, Bernhard: Epigenetik. Wie unsere Erfahrungen vererbt werden. Köln: DuMont 2015.
- LANDMANN, Andreas: Abenteuer Mineralogie. Kristalle und Mineralien – Bestimmung und Entstehung. Berlin, Heidelberg: 2014.
- LANGE, Axel: Darwins Erbe im Umbau. Die Säulen der Erweiterten Synthese in der Evolutionstheorie. Würzburg: Königshausen & Neumann 2012.
- MAINZER, Klaus (Hg.): Komplexe Systeme und nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft: Komplexitätsforschung in Deutschland auf dem Weg ins nächste Jahrhundert. Berlin, Heidelberg: Springer 1999.
- MARKL, Gregor: Minerale und Gesteine. Mineralogie – Petrologie – Geochemie. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2015.
- MORTIMER, Charles E.; Müller, Ulrich: Chemie. Das Basiswissen der Chemie. 10. überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme 2010.
- NAGEL, Thomas: Geist und Kosmos. Warum die materialistische neodarwinistische Konzeption der Natur so gut wie sicher falsch ist. 4. Aufl. Berlin: Suhrkamp 2014.
- NENTWIG, Wolfgang et.al.: Ökologie kompakt. 2.Aufl. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 2003.
- OSCHMANN, Wolfgang: Evolution der Erde. Geschichte der Erde und des Lebens. 1. Aufl. Stuttgart: UTB GmbH Haupt 2016.
- PENZLIN, Heinz: Das Phänomen Leben. Grundfragen der Theoretischen Biologie. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2016.
- REINKEMEIER, Peter: „Die moralische Herausforderung des Anthropozän. Ein umweltgeschichtlicher Problemaufriss.“, in Jakubowski-Thiessen, Manfred (Hg.): Natur und Gesellschaft. Perspektiven der interdisziplinären Umweltgeschichte. Göttingen: Universitätsverlag 2014.
- RENN, Jürgen; SCHERER, Bernd (Hg.): Das Anthropozän. Zum Stand der Dinge. 2. Aufl. Berlin: Matthes & Seitz 2017.
- ROCKSTRÖM, Johan: “Planetary Boundaries.”, in *New Perspective Quarterly* Vol 27 (1), Issue 1 Winter 2010, pp. 72-74.
- SCHEFFER, Marten: “Complex systems: Foreseeing tipping points.”, in *Nature* Vol.467(7314), 2010, pp. 411-412.
- SCHÖNWIESE, Christian-Dietrich: Klimatologie. 4. überarb. u. aktual. Aufl. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2013.

- TOMASELLO, Michael: Die kulturelle Entwicklung des menschlichen Denkens. Zur Evolution der Kognition. Frankfurt am Main: Suhrkamp 2006.
- VAN DER WAL, Koo: Die Wirklichkeit aus neuer Sicht. Für eine andere Naturphilosophie. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2017.
- VOLAND, Eckart: Soziobiologie. Die Evolution von Kooperation und Konkurrenz. 4. aktual. u. erw. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2013.
- WATERS, Colin N. et.al.: "The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene.", in *Science* Vol 351, January 2016, Issue 6269 [DOI: 10.1126/science.aad2622].
- WEBER, Ewald: Biodiversität – Warum wir ohne Vielfalt nicht leben können. Berlin, Heidelberg: Springer 2018.
- WELSCH, Norbert et.al.: Erde und Leben: Die Geschichte einer innigen Wechselbeziehung. Berlin, Heidelberg: Springer 2017.
- ZEIDLER, Kurt Walter: Prolegomena zur Wissenschaftstheorie. Würzburg: Königshausen & Neumann 2000.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Verschiedene Ansatzpunkte für das Anthropozän und damit verbundene, wichtige Ereignisse (aus den Vorlesungsunterlagen von Michael Wagreich in VO+KO Neuere deutsche Literatur: Anthropozän WS17 Universität Wien).....	9
Abbildung 2 Die Einteilung des Erdsystems in drei Geosysteme mit jeweils unterschiedlichen Bestandteilen (aus Grotzinger et.al. 2017, 15).	18
Abbildung 3 Darstellung der Mantelkonvektion als Ursache für die Kontinentaldrift (aus Boenigk & Wodniok 2014, 19).....	21
Abbildung 4 Vereinfachte Darstellung des Materialtransports im Klimasystem unter Vernachlässigung der Kryosphäre (aus Grotzinger et.al 2017, 420).....	22
Abbildung 5 Die Erdbahnparameter und ihre Veränderungen über die letzten 500 000 Jahre (aus Brönnimann 2018, 284).....	29
Abbildung 6 Geologische Zeitskala (verändert nach Grotzinger et.al. 2017, 209).	44
Abbildung 7 Geologische Zeitskala und wichtige Ereignisse in der Geschichte des Lebens (aus Grotzinger et.al. 2017, 286).....	45
Abbildung 8 Verlauf einiger Parameter des Klimasystems und die fünf großen Massenaussterben des Phanerozoikums (aus Boenigk & Wodiok 2014, 69).....	49
Abbildung 9 Darstellung der Wechsel von Kalt- und Warmzeiten im Zusammenhang mit den Parametern: Exzentrizität 100 000 Jahre, Obliquität 41 000, Präzession 21 000 (aus Oschmann 2016, 337).	51
Abbildung 10 Der Kreislauf der Gesteine (aus Markl 2015, 14).	56
Abbildung 11 Der Zusammenhang von Kohlendioxid und Calciumcarbonat (aus Grotzinger et.al. 2017, 420).....	65

Abbildung 12 „Vereinfachte Darstellung der heutigen, globalen Ozeanzirkulation. Durch Abkühlung und Eisbildung entsteht in den mit Sternchen gekennzeichneten Bereichen sehr kaltes, salzreiches Wasser, das zum Meeresboden sinkt und auf diese Weise das thermohaline Strömungssystem antreibt.“ (Graphik und Text aus Oschmann 2016, 335).....	67
Abbildung 13 Kohlenstofffluss zwischen unterschiedlichen Senken in Gigatonnen pro Jahr nach IPCC, Stand 2001 (aus Grotzinger et.al. 2017, 422).....	69
Abbildung 14 Globaler Eintrag (Quellen) von Kohlendioxid in die Atmosphäre und Austrag (Senken) von 1850 – 2010 (aus Begon 2017, 443).....	70
Abbildung 15 Die ökologische Nische als Produkt von Anpassungsleistung und Selektionsbedingungen.....	76
Abbildung 16 Der Fluss von Information in lebenden Systemen.	85
Abbildung 17 Die Einbettung von lebenden Systemen in die allumfassende Natur.....	95

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Leitsätze und dazugehörige Faktoren als Orientierung im Anthropozän.	16
Tabelle 2 Geologische Gliederung der Erdgeschichte mit groben Klimacharakteristiken (verändert nach Schönwiese 2013, 291).....	37
Tabelle 3 Erdgeschichtliche Einheiten (nach Faupl 2003, 13).....	43
Tabelle 4 Geologische Gliederung des Quartärs. K=Kaltzeit W=Warmzeit; Klimastufen sind umstritten/inoffiziell (Abgeändert nach Faupl 2003, 228.)	52
Tabelle 5 Leitsätze, zugehörige Faktoren und Erklärungen im Anthropozän.....	97