



Geodynamik – Ökodynamik

Energetische/ökologische Aspekte der Entwicklung der Erde
Prof. Dr. Gerhard Vorndran

Jeder weiß, wie rasch die wirtschaftliche, technische und wissenschaftliche Entwicklung fortschreitet. Das ist bemerkenswert! Es muß sich um eine außergewöhnliche Periode handeln, in der es möglich ist, mit einigen Jahrzehnten eigener Lebenserfahrung einen Entwicklungstrend in der 4,6 Ga (1 langen Erdgeschichte) zu erkennen.



Diese Entwicklung ist untrennbar mit dem exponentiell zunehmenden Energiepotential des Menschen verbunden. Der Verbrauch an Primärenergie nimmt pro Kopf der ebenfalls exponentiell wachsenden Weltbevölkerung zu. Darüber hinaus gehört zum anthro-

pogenen Energiepotential alles, was - gezielt eingesetzt - geeignet ist, Arbeit zu verrichten: Nahrungsmittel ebenso wie Maschinen, Rohstoffe u.a.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung der Erde stehen jedoch die Energiequellen, die das Evolutionsgeschehen über weit mehr als 99,99 % des Erdalters allein gesteuert haben, im Vordergrund. Dazu gehören neben den Gravitationskräften, der Corioliskraft, der Wirkung des Erdmagnetfelds, sowie dem Meteoriteneinfall vor allem die Geothermik (einschließlich Vulkanismus, Erdbebenaktivität und Tektonik) und die Strahlungsenergie der Sonne für die Erwärmung der Erdoberfläche, für die Photosyntheseleistung, sowie für die Aufrechterhaltung des globalen Wasserkreislaufs und der planetarischen Zirkulation.

Von den dynamischen Systemen, die bei der Entwicklung der Erde zusammenwirken, ist die Biosphäre das

jüngste. Trotzdem hat gerade sie eine herausragende Bedeutung. Durch die Existenz von Leben unterscheidet sich die Erde von allen übrigen Planeten unseres Sonnensystems. Außerdem übertrifft die Vielfalt der biosphärischen Wechselbeziehungen diejenigen der anderen Sphären bei weitem. Besonders zahlreich sind die Wechselbeziehungen der Biosphäre mit den physikalischen Sphären - der anorganischen Umwelt. Deshalb können die jüngsten 600 Ma (2 des Erdalters als Zeitraum dominierender Ökodynamik bezeichnet werden. Je weiter man in die erdgeschichtliche Vergangenheit zurückgeht, umso stärker dominiert das vom Leben wenig oder nicht beeinflusste geodynamische Entwicklungsgeschehen.

Der endogene Energiefluß hat im Laufe von 4,6 Ga abgenommen. Belege dafür sind der Rückgang der Erdoberflächentemperatur von der Schmelztemperatur des Eisens bei 1535° C auf die heutige globale Mitteltemperatur von 15° C oder die Abnahme der Zahl der Orogenzonen bis auf zwei, den eurasischen und den zirkumpazifischen Faltengebirgsgürtel.

Die ältesten Gesteine der kontinentalen Kruste, die bisher auf Grönland und in Australien gefunden wurden, sind 3,8 Ga alt. Es sind Metamorphite, die aus Sedimenten hervorgegangen sind. Die Prozesse der Gesteinsbildung und Abtragung müssen also noch älter sein. Um 2,8 Ga BP (3 waren wahrscheinlich schon 80 % der kontinentalen Kruste gebildet. Im weiteren Verlauf der Erdgeschichte haben sich die Kontinentalplatten zweimal zu einem Superkontinent vereinigt, in der Zeit vor 1,5 - 1,0 Ga und gegen Ende des Karbons. In beiden Fällen waren die großen Festlandsmassen gegenüber den Konvektionsströmungen im oberen Erdmantel zu wenig stabil und wurden wieder aufgebrochen.

Vulkanismus geht seit dem Archaikum mit Krustenbildung einher. Ein 3,6 Ga alter Gesteinsfund aus Tansania ist als Indiz für den Entwicklungsgang, der letztlich Leben ermöglichte, besonders wichtig. Es handelt sich um Kissenlava, die beim Erkalten in Wasser entsteht. Zu dieser Zeit muß also bereits eine Hydrosphäre existiert haben. Die noch ältere Uratmosphäre entstand durch Entgasung. Ihr fehlten Wasserdampf und Sauerstoff. Entscheidende Grenzen auf dem Weg zur Bildung einer Erdhydrosphäre waren die Unterschreitung der kritischen Temperatur von 374° C, von der an erst die chemische Reaktion zu Wasserdampf einsetzte, und etwas später die Unterschreitung der Siedetemperatur des Wassers, von der an Kondensation und das Ausfallen von Niederschlag aus der Atmosphäre möglich wurde. Dieser Zustand muß vor etwa 4 Ga erreicht worden sein. Nur 400 Ma später gab es bereits hydrosphärische Ozeane. Das Temperaturniveau lag nach Gesteinsanalysen nur noch wenig über 50° C (4.

Die erste Vereisung der Erde trat vor mind. 2,3 Ga auf. Das bedeutet, daß sich die Oberflächentemperaturen der Erde über 2,3 Ga nur um \pm wenige Grad verändert haben. Das ist eine erstaunliche Temperaturkonstanz, denn der geothermische Wärmestrom ging merklich zurück; die Solarenergie nahm zu. Außerdem hat der globale Energiehaushalt über Albedoschwankungen oder durch die biosphärische Evolution Änderungen erfahren. Zwischen der älteren Vereisung und derjenigen des Känozoikums lagen zahlreiche weitere Vereisungs- und Kälteperioden. Sie dauerten stets höchstens einige 10 Ma. Während 80 - 90 % des Zeitraums der letzten 2,3 Ga herrschten Warmzeiten mit eisfreier Erde.

Geologische Zeittafel

Zeit	Ära	10 ⁶ a Bp	Periode
Phanerozoikum	Känozoikum	0	Quartär
		2,5	Tertiär
	Mesozoikum	65	Kreide
		140	Jura
		195	Trias
		225	Perm
		280	Karbon
	Paläozoikum	350	Devon
		395	Silur
		435	Ordovizium
Präkambrium	Proterozoikum	500	Kambrium
		570	
	Archaikum	2500	
		4600	

Leben....

Mit der Ausbildung einer "lebensfreundlichen" Hydrosphäre und ebensolchen klimatischen Bedingungen waren wichtige Voraussetzungen für die Entwicklung des Lebens gegeben. Die bisher ältesten Spuren primitiven Lebens wurden in 3,5 - 2,8 Ga alten Gesteinen Australiens gefunden. Es sind sedimentäre Strukturen, die Stromatolithen gleichen, Hinweise auf fädige Bakterien und Spuren der ersten Mikroflora. Die ersten zweizelligen Mikrofossilien (2,6 Ga BP) wurden in Südkanada nachgewiesen (4. Aus dieser Zeit liegen auch die ersten sicheren Hinweise vor, daß sich biologisch gebildeter freier Sauerstoff in der Atmosphäre anzureichern beginnt. In den letzten 100 Ma des Präkambriums begann sich das Leben fast explosionsartig zu entwickeln. Im Kambrium bildeten sich erstmals marine Arten mit Außenskelett. Ihnen folgten im Ordovizium die ersten Fische. In der geologisch kurzen Zeit zwischen 600 - 400 Ma BP erreichte der O₂-Pegel seinen heutigen Stand.

Im Silur eroberten die Pflanzen das Festland. Erste Landwirbeltiere traten im Devon auf. Das Karbon ist

durch die Baumriesen unter den Sporenpflanzen, durch das Auftreten der Nadelbäume und der Reptilien gekennzeichnet. Je näher wir der erdgeschichtlichen Gegenwart kommen, umso differenzierter wird die biosphärische Entwicklung und die Ökodynamik. Einige Schlüsselereignisse sind allgemein bekannt, etwa das Auftreten des Archaeopterix im oberen Jura oder das Aussterben der Dinosaurier am Ende der Kreide.

.... und Sterben

Artensterben ist ebenso Teil der Evolution wie das Auftreten neuer Arten. Der amerikanische Evolutionsforscher E. Mayr geht davon aus, daß 99,999 % aller Evolutionslinien, die die Erdgeschichte des Lebens hervorgebracht hat, wieder ausgestorben sind (5). Diesen Prozentsatz muß man sich in Relation zu den ca. 3 Millionen Arten vorstellen, die es um 1900 auf der Erde gab.

Drei Faunenschnitte sind besonders hervorzuheben. Sie markieren Beginn und Ende des Paläozoikums und des Mesozoikums. In diesen Fällen kam es zu einem massierten Aussterben von vielen, zuvor sehr erfolgreichen und charakteristischen Tiergruppen, sowie zu einem unmittelbar folgenden Entstehen neuer Arten, die die frei gewordenen ökologischen Nischen besetzen konnten (5).

Ursachen für Faunen- und Florensschnitte können, neben Umpolungen im Erdmagnetfeld oder dem Kippen der Rotationsachse der Erde, Änderungen bei fast allen Energiequellen sein, die im globalen Energiehaushalt Bedeutung haben. Globales Artensterben war wahrscheinlich überwiegend klimatisch bedingt und lief im geologischen Sinn rasch ab, d. h. innerhalb einiger 10^3 oder 10^4 Jahre. Daneben gab es auch katastrophenartig schnelles Artensterben, dann aber stets regional begrenzt, wie beim Riesereignis.

Einflußfaktor Mensch

Auch wir erleben einen Faunen- und Florensschnitt. In der Bundesrepublik Deutschland sind 1/3 der Arten aller Farn- und Blütenpflanzen ausgestorben, vom Aussterben bedroht oder gefährdet. Bei den Wirbeltieren liegt der Anteil zwischen 1/3 und 2/3. Besonders betroffen sind Säugetiere, Amphibien und ganz allgemein die Gesellschaften der immer seltener werdenden Feuchtbiootope (6). Nach übereinstimmenden Prognosen in den Mitteilungen des deutschen Forschungsdienstes von 1980 und in Global 2000 werden bis zur Jahrtausendwende 1/6 aller um 1900 auf der Erde existenten Arten ausgerottet sein. Das entspricht einem täglichen Verlust von 14 Arten!

Das Artensterben des 20. Jahrhunderts ist ein Novum in der Entwicklungsgeschichte der Erde:

- Es tritt global und katastrophenartig rasch auf.
- Es handelt sich um einen Faunen- und Florensschnitt, der auf den Festländern ebenso fortschreitet wie in den Weltmeeren.
- Es hat eine andere Ursache als alle früheren Artensterben: Es ist anthropogen bedingt - durch die Vermehrung der Weltbevölkerung, deren Ausbreitung über alle Klimazonen und den laufend steigenden Energieeinsatz.
- Die Möglichkeit des Abwanderns gibt es praktisch nicht mehr. Mindestens 600 Ma hatten die weniger spezialisierten Arten oftmals die Alternative zwischen dem Anpassen an sich ändernde Umweltbedingungen und dem Abwandern. Weil der Mensch inzwischen die potentiellen Ausweichräume selbst besetzt hat, heißt die Alternative heute: Anpassen oder Aussterben.

Die Zeit des Menschen in der Erdgeschichte ist kurz. Trotzdem muß die Entwicklung vom homo australopithecus zum Menschen des 20. Jahrhunderts unter energetischen und ökologischen Aspekten differenziert betrachtet werden. Während des ersten Entwicklungsabschnitts nahm sein Energiepotential langsam zu. Der anthropogene Energieeinsatz war - bei relativ geringer Weltbevölkerungszahl - im Rahmen des globalen Energiehaushalts ziemlich unbedeutend. "Erst die industrielle Revolution der letzten 150 Jahre, die vor allem als eine Revolution des menschlichen Energiepotentials anzusprechen ist, schuf die Möglichkeit, jedem Einzelwesen gleichsam auf 'Knopfdruck' hin beliebige Energiemengen zur Verfügung zu stellen" (7). Jetzt war die Möglichkeit gegeben, die Umwelt gezielt den menschlichen Bedürfnissen und Wünschen anzupassen. Der Lebensstandard stieg in den industrialisierten Ländern rasch. Durch die auseinanderklaffende Geburten- und Sterberate und die steigende Lebenserwartung nahm die Bevölkerungszahl stark zu. In den Industrieländern ist diese Phase zwar abgeschlossen, aber auf einem zahlenmäßig viel zu hohen Niveau. In den meisten Ländern der 3. und 4. Welt ist diese Entwicklung noch im Gang. Die Kurven für das Bevölkerungswachstum, für das Ansteigen des Energieeinsatzes und für das rezente Artensterben haben auffallend gleichartigen Verlauf.

Durch Eingriffe in den Landschaftshaushalt nahm die Masse des durch Flüsse weltweit abgetragenen Bodens und Lockersubstrats von $10 \cdot 10^9 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ in der Zeit vor der Industrialisierung auf $24 \cdot 10^9 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ zu. Dieser erhöhte fluviale Abtrag führt zu einem Verlust an po-

tentieller Energie von $2 \cdot 10^{17} \text{ J} \cdot \text{a}^{-1}$. Im Vergleich zum Primärenergieverbrauch ist das eine bescheidene Größe. Aber erst das anthropogene Gesamtenergiepotential von etwa $10^{22} \text{ J} \cdot \text{a}^{-1}$ für 1985 zeigt, welcher Einflußfaktor der Mensch im globalen Energiehaushalt geworden ist:

Natürliche Energiequellen und Energiepotential bzw. Primärenergieverbrauch des Menschen im Vergleich (Werte umgerechnet nach A. L. Bloom: "Geomorphology". New Jersey 1978, S. 89, u.a.)

	(in $10^{21} \text{ J} \cdot \text{a}^{-1}$)
- Solarenergie für die Erwärmung von Erdoberfläche und Atmosphäre	> 2300
- Solarenergie für den globalen Wasserkreislauf	1250
- Solarenergie für die atmosphärische Zirkulation	22
- anthropogenes Gesamtenergiepotential 1985	10
- Solarenergie für die Photosyntheseleistung	3
- Geothermische Wärmeleitung	0,8 - 1
- Primärenergieverbrauch 1985	0,35
- Vulkanismus und Erdbeben	je 0,01 - 0,1
- Abtragsleistung der Flüsse	0,0002

Alle Energiebilanzgrößen, die gegenüber dem anthropogenen Gesamtenergiepotential höherrangig sind, wirken global, wenn auch mit zonal unterschiedlicher Intensität. Ihre Leistung ist gegenüber dem konzentrierten Energieeinsatz in der modernen Landwirtschaft oder in den urban-industriellen Ökosystemen der Stadt- und Industrielandschaften bescheiden. Die Dichte des Energieverbrauchs - allein bezüglich der Brennstoffnutzung - beläuft sich

in einer Stadt wie Westberlin auf $6,7 \cdot 10^9 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,
im Rhein-Ruhr-Industriegebiet auf $0,3 \cdot 10^9 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$.

Die Solarstrahlungsenergieeinnahme der Erdoberfläche erreicht dagegen, je nach Breitenlage, nur $4 \text{ bis } 8 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. (8)

Ganz gleich, ob man persönlich bereit ist, vor den Möglichkeiten eines in nur wenigen Jahrzehnten so enorm gewachsenen Energiepotentials, vor den unvorstellbar langen Zeiträumen der erdgeschichtlichen Entwicklung oder vor der Schöpfung Respekt oder Ehrfurcht zu haben, stets - so sollte man meinen - müßte dieser zunehmende Energieeinsatz durch den Menschen mit steigendem Verantwortungsbewußtsein - auch für das nichtmenschliche Leben - einhergehen. Es wäre eine einfache und ethisch unabdingbare Forderung, das Ausmaß der von jedem Einzelnen zu tragenden Verantwortung für das nichtmenschliche Leben an der Höhe des Energiepotentials zu messen, über das er bestimmen kann.

Da heute selbst die Räume des borealen Nadelwaldes, des tropischen Regenwaldes und der Inlandeise zunehmend beeinflusst und ausgebeutet werden, ist die Folge jeden Bevölkerungswachstums und jeder Zunahme des Energiepotentials weitere Artenvernichtung ohne Alternative. Der Paläontologe H. K. Erben hat ein 1981 erschienenes Buch mit "Leben heißt Sterben" betitelt. In Anlehnung daran muß man jeden Menschen, der Verantwortung tragen kann, erinnern, daß Leben auch Lebenlassen heißt. Dies zu beherzigen ist gegenwärtig bezüglich des nichtmenschlichen Lebens mindestens ebenso wichtig wie im zwischenmenschlichen Bereich. Nur: Daran denken bei uns viel zu wenige und danach leben noch viel weniger.

- (1 Ga = Gigajahre = Milliarden Jahre
- (2 Ma = Megajahre = Millionen Jahre
- (3 BP = before present
- (4 Spektrum der Wissenschaft 11/1983
- (5 Erben, H. K.: "Leben heißt Sterben". Hamburg 1981
- (6 Umweltbrief 29. Bonn 1983
- (7 Wunderlich, H.G.: "Mensch und Erde - Gefahr und Chance der Evolution". Texte und Thesen, 24. Osnabrück 1972, S. 78
- (8 Odum, E.P. und Reichholf, J.: "Ökologie". München u.a. 1980.
