



Leistungen und Funktionen der Biosphäre

Ein System-Vergleich mit der menschlichen Zivilisation

Dieter Teufel
Petra Bauer
Gerhard Kilian
Markus Lang
Karin Westermann

UPI-Bericht Nr. 15

Ergebnisse

August 1989

Seit Milliarden Jahren gibt es Leben auf der Erde. Die Biosphäre bildete unsere heutige Atmosphäre und den fruchtbaren Boden, der die Erde bedeckt. Sie produzierte die Grundsubstanz von vielen Gebirgen und die fossilen Energiespeicher, die unseren heutigen Lebensstandard ermöglichen. Das Wirtschaftssystem der Biosphäre mußte dabei nie Konkurs anmelden. Im Gegenteil, es wurde immer erfolgreicher und vielfältiger. Das Leben eroberte das Land und die Luft, das Innere von heißen Quellen und die Tiefsee. Was können wir von der Biosphäre lernen? In dem Projekt "Biosphäre" am Umwelt- und Prognose-Institut in Heidelberg (UPI) werden die Leistungen und Funktionsprinzipien der Biosphäre im Vergleich zur Zivilisation des Menschen untersucht. In diesem UPI-Bericht werden einige Ergebnisse dieses Projekts dargestellt.

Das Leben auf der Erde entstand vor über 3 Milliarden Jahren. Seit mindestens 2 Milliarden Jahren gibt es grüne Pflanzen und seit rund 400 Millionen Jahren höheres Leben auf dem Land. In diesen Zeiträumen schuf die Biosphäre Millionen von Ökosystemen und mehrere hundert Millionen Tier- und Pflanzenarten.

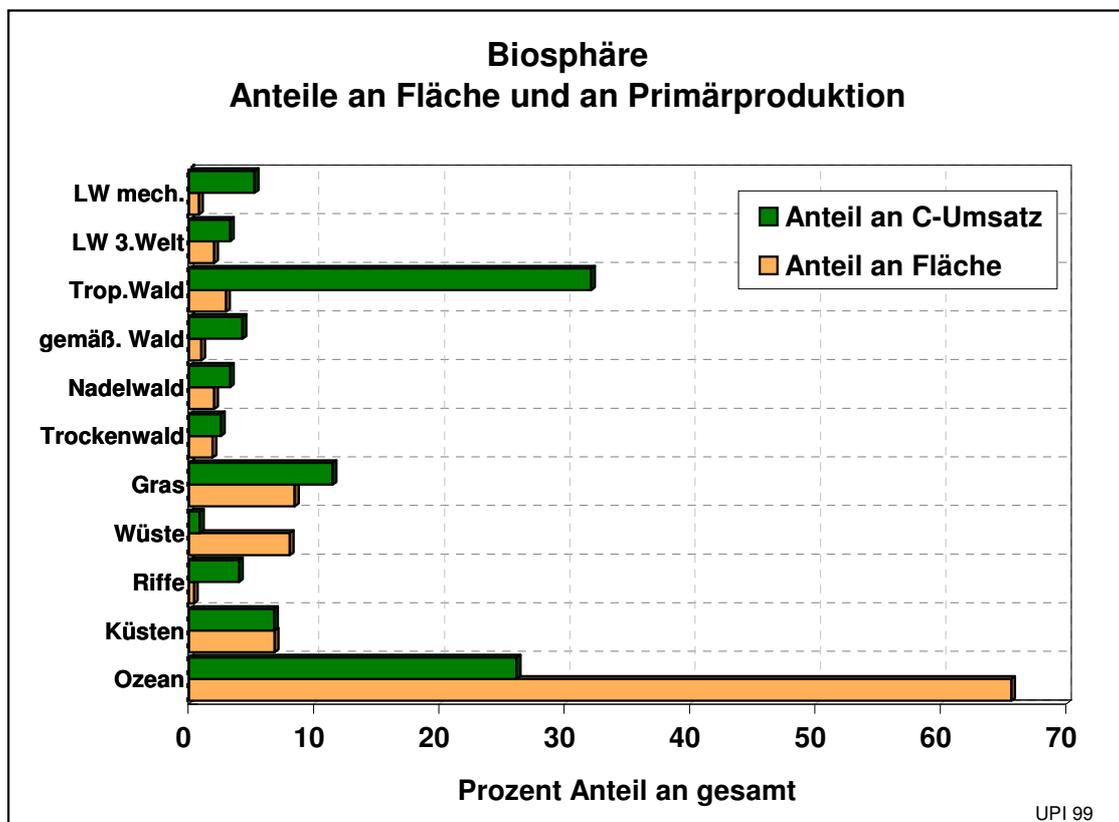
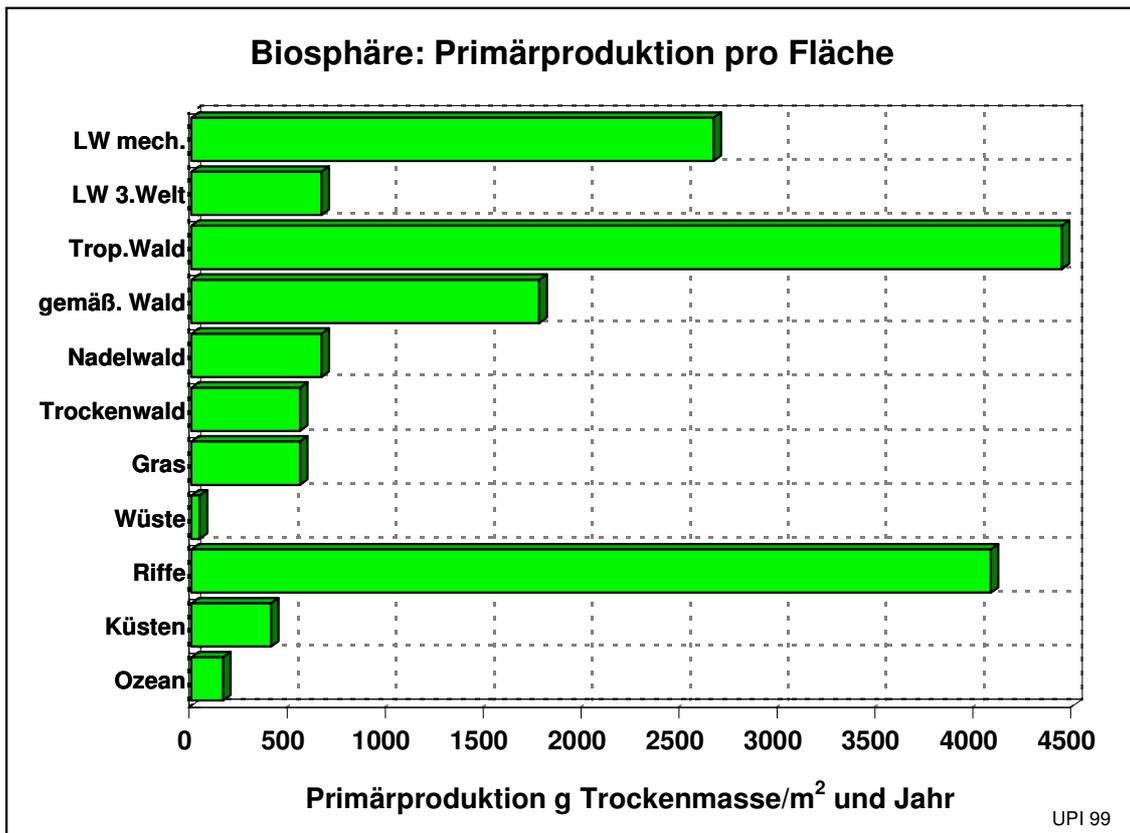
Der Mensch begann vor rund 150 Jahren industriell zu wirtschaften. Er schaffte es dabei in wenigen Jahrzehnten, sich selbst und die Natur an den Rand des Ruins zu manövrieren.

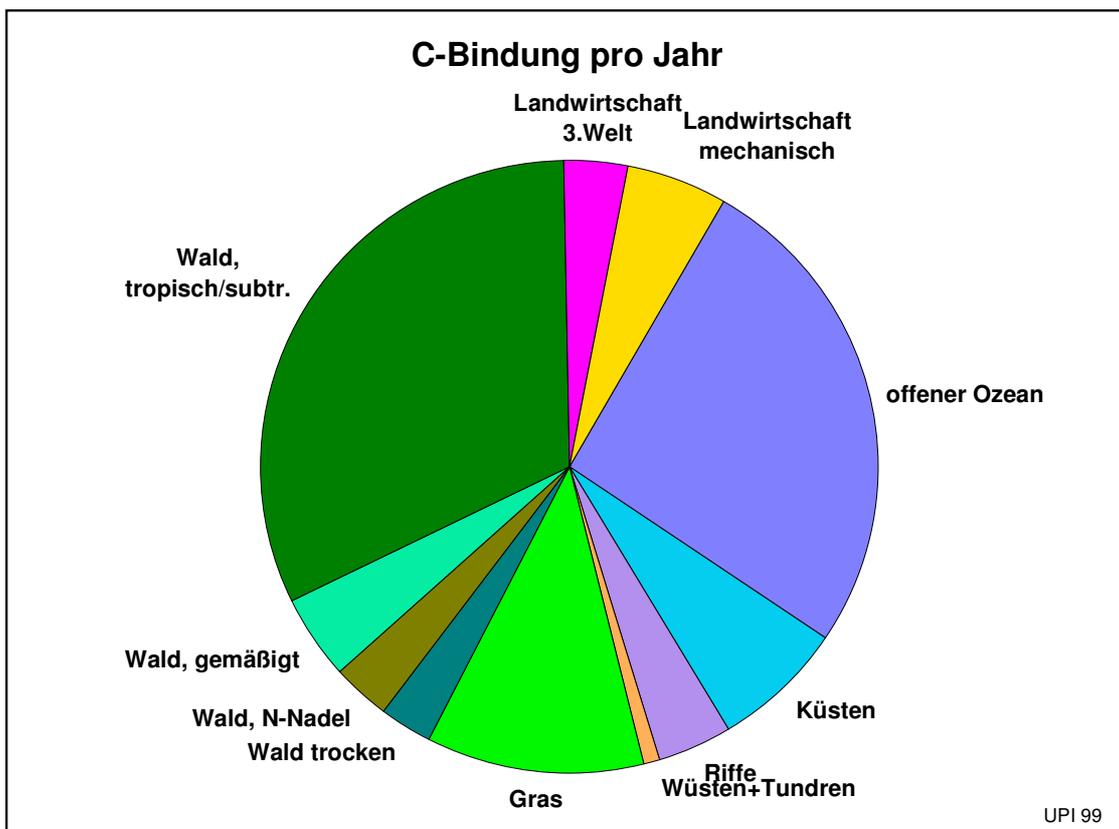
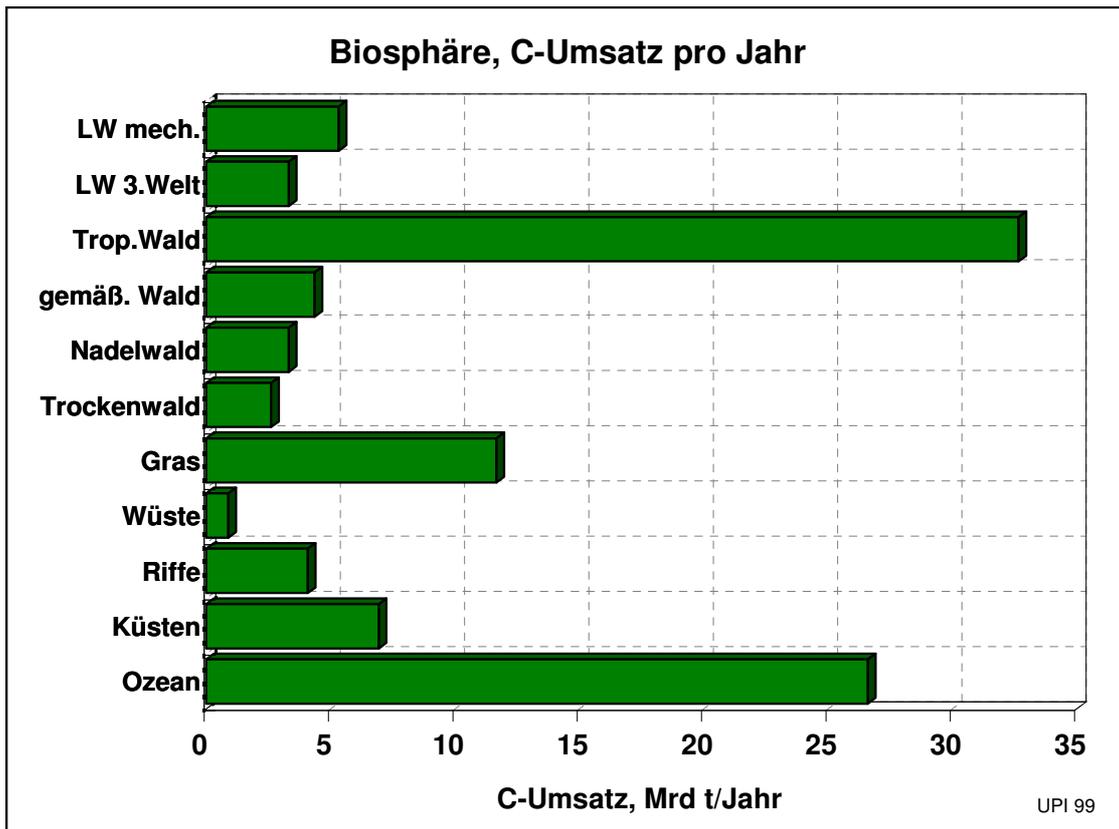
Die Zeit, in der die industrielle Produktion des Menschen das Antlitz der Erde veränderte, ist weniger als ein Dreißigmillionstel des Alters des Lebens. Diese Zeitverhältnisse sind nicht mehr vorstellbar. Ein Vergleich dazu: Würde man vom Mittelmeer durch Italien, die Schweiz und Deutschland an die Nordsee wandern, wäre man genau tausend Kilometer oder eine Milliarde Millimeter unterwegs. Würde das Leben auf dieser Wanderung am Mittelmeer anfangen, dann begänne die industrielle Produktion des Menschen erst etwa 5 Zentimeter vor der Nordsee. Das explosionsartige Wirtschaftswachstum mit der Synthese hunderttausender künstlicher Substanzen, der quadratkilometerweisen Versiegelung von Landschaft und der Bedrohung von Meeren und Klima finge erst 2 Zentimeter vor der Nordsee an.

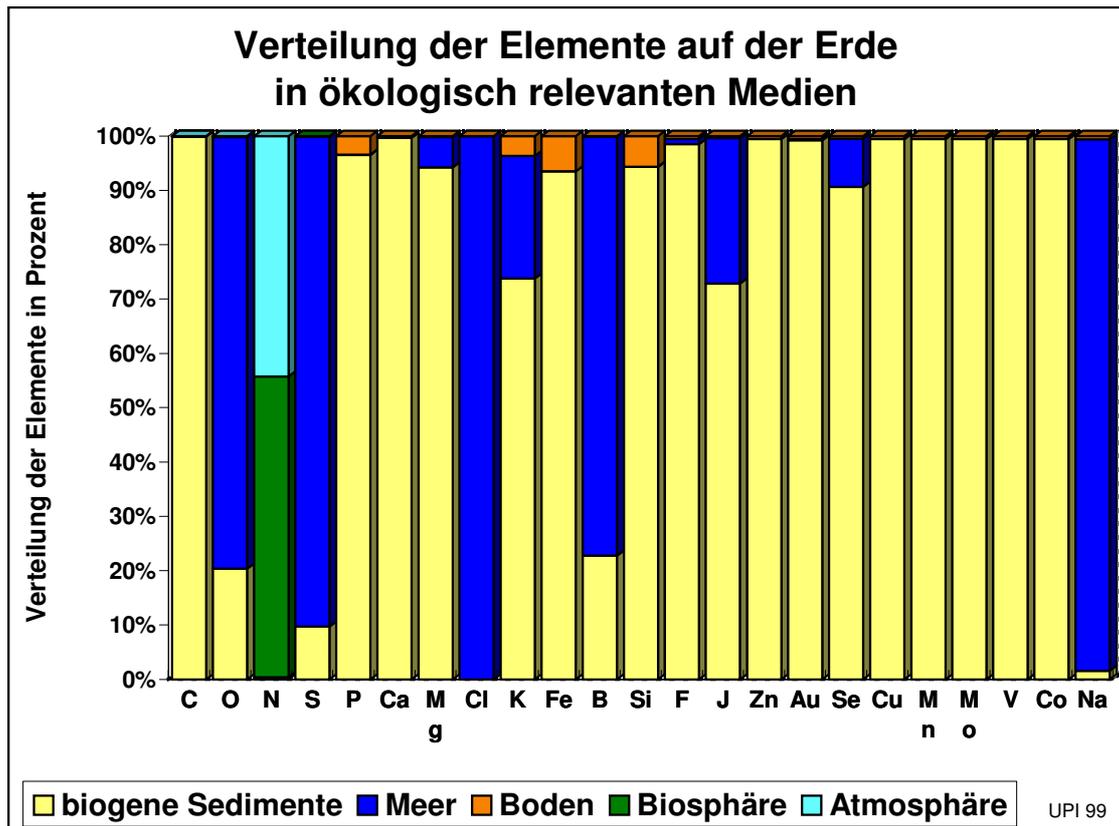
Aufgrund des bisher verfügbaren Wissens aus Biologie, Paläontologie und Geologie entwickelte das UPI-Institut in den letzten Jahren ein Computermodell der Biosphäre, mit dem sich u.a. Stoff- und Energieflüsse der Biosphäre simulieren lassen. Im folgenden werden Ergebnisse daraus vorgestellt.

Produktionsmengen und Energieumsatz

Die nachfolgenden Grafiken zeigen die biologische Produktivität verschiedener Ökosysteme der Erde und die heutige Verteilung der Elemente auf der Erde.







Das Leben auf der Erde hat bisher etwa 10^{20} Tonnen Biomasse produziert (als Trockenmasse gerechnet). Diese Materiemenge war irgendwann einmal lebendig, war also Eiweiß, Zellulose, Holz, Knochen oder Millionen anderer Substanzen in Pflanzen und Tieren.

Die Menge aller vom Menschen bisher industriell erzeugten Güter ist demgegenüber verschwindend klein: Weniger als ein Milliardstel im Vergleich zur Produktionsmenge der Biosphäre.

Auch die Energieflüsse in der Biosphäre stellen den Energieumsatz der Menschheit weit in den Schatten. Zur Herstellung der Biomasse und zur Aufrechterhaltung des Lebens fing die Biosphäre bisher etwa 6×10^{19} Tonnen Steinkohleeinheiten Sonnenenergie ein. Das ist 200 Millionen mal mehr als der gesamte bisherige Energieverbrauch der Menschheit.

Der Hauptrohstoff

Hauptrohstoff der Biomassenproduktion ist der Kohlenstoff. Die grünen Pflanzen nehmen ihn als Kohlendioxid aus der Luft auf und verwandeln ihn mit Hilfe von Son-

nenenergie in Biomasse. Wird diese von den Pflanzen selbst, von Tieren oder Abbauorganismen wieder veratmet, entsteht wieder die gleiche Menge Kohlendioxid, die in die Luft zurückfließt.

Bisher wurden durch die Biosphäre rund 5×10^{19} Tonnen Kohlenstoff umgesetzt. Das ist das 800 000-fache des Kohlenstoffgehalts der Biosphäre (Wasser, Boden und Atmosphäre) und das 600-fache des gesamten Kohlenstoffgehalts der Erdkruste. Dies bedeutet, daß der gesamte Kohlenstoff unseres Körpers, unserer Nahrung, des Kohlendioxids der Luft und des Karbonatgesteins in Kalksteinen im statistischen Mittel schon rund 600 mal Rohstoff, Biomasse und Abfall im Produktionsprozeß des Lebens war. Und nirgends haben sich gefährlicher Giftmüll oder lebensfeindliche Deponien von Abfällen gebildet. Der gesamte Rohstoff wurde zu Abfall und der gesamte Abfall wurde wieder zu Rohstoff. Dort, wo ein Teil des Materials in Abfalldeponien z.B. in Form von Meeres-Sedimenten abgelagert wurde, sind heute fruchtbare Lehmböden.

Beim Menschen sind die Mülldeponien der letzten Jahrzehnte auf unabsehbare Zeit mit Schwermetallen, Plastik, Dioxinen und einem Sammelsurium anderer lebensfeindlicher Stoffe verseucht. Allein in der Bundesrepublik werden wir in Zukunft mit rund 100 000 Altlastenstandorten zu kämpfen haben. Klärschlämme aus Kläranlagen, die an sich biologisch sehr gut recycelt werden könnten, sind heute mit Dioxinen, PCB's, PCP, Schwermetallen u.a. so belastet, daß sie nicht auf Böden aufgebracht werden können.

Die Luft

Zum Atmen "verbrauchte" das Leben bisher rund 10^{20} Tonnen Sauerstoff. Dies bedeutet, daß der gesamte Sauerstoff der Atmosphäre einschließlich des Sauerstoffs in den Ozeanen bisher schon rund 60 mal von der Fabrik Leben benutzt, in Biomasse eingebaut und wieder ausgeatmet und erneuert wurde. Der Hauptbestandteil der Luft, der Stickstoff, wurde dabei sogar schon 200 000 mal ein- und ausgeatmet.

In der Industrie genügt oft der einmalige Durchgang von Luft durch den Produktionsprozeß, um aus reiner Atemluft lebensfeindliche und giftige Abgase zu machen. Heute setzt allein die Bundesrepublik Deutschland jedes Jahr rund 15 Millionen Tonnen giftige Abgase in Form von Stickoxiden, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen in die Atmosphäre frei. Diese Menge reicht aus, 90 Millionen Kubikkilometer saubere Luft bis über die gesetzlich zulässigen Grenzwerte hinaus zu verseuchen. Dieses Volumen verseuchter Luft entspricht rechnerisch einem Luftpaket über der gesamten Fläche der Bundesrepublik bis in 320 Kilometer Höhe oder einem Luftvolumen über der gesamten Erdoberfläche vom Erdboden bis in 150 m Höhe. Und das jedes Jahr und nur aus der Bundesrepublik Deutschland. Daß die Erdatmosphäre

dadurch noch nicht völlig verseucht ist, liegt nur daran, daß die meisten Schadstoffe durch den Regen wieder aus der Atmosphäre ausgewaschen werden. Sie gelangen dann in Böden und Gewässer.

Die Lufthülle der Erde ist dünner, als gemeinhin angenommen wird.

Das Leben auf der Erde spielt sich in der Troposphäre ab, einer Luftschicht, die vom Erdboden bis in etwa 10 Kilometer Höhe reicht. Darüber liegt die Stratosphäre, deren Dicke je nach Jahreszeit und in Abhängigkeit von der geographischen Breite 15 bis 30 Kilometer beträgt. Mit zunehmender Höhe nimmt die Dichte der Luft schnell ab.

50 Prozent der gesamten Luft befinden sich zwischen Erdoberfläche und 5 Kilometer Höhe, 70 Prozent bis in 10 Kilometer und über 90 Prozent bis in 20 Kilometer Höhe. Die Weite des Himmels und der Atmosphäre, die von der Erdoberfläche aus fast unendlich erscheint, ist also sehr begrenzt.

Alle Abgase aus Verkehr, Industrie, Kraftwerken und Haushalten werden in eine Luftschicht abgegeben, deren Dicke noch nicht einmal der Entfernung zwischen Bonn und Köln entspricht.

Verkleinert man den Maßstab der Erde zu einem Globus mit einem Meter Durchmesser, dann wäre die Lufthülle nur noch 1 bis 1,5 Millimeter dick. Hätte die Erde die Größe eines Apfels, wäre die Atmosphäre dünner als die Apfelschale.

Das Lösungsmittel

Das chemische Lösungsmittel der Biosphäre ist das Wasser. Eine ganz besondere Flüssigkeit, die wegen ihrer vielfältigen Eigenschaften auch breite Anwendung in der Industrie findet. Es steht in ausreichender Menge zur Verfügung, löst Salze, verdampft schon bei normalen Temperaturen und bildet bei Abkühlung Eis, das leichter als Wasser ist und deshalb auf zugefrorenen Seen schwimmt und eine Totalvereisung verhindert.

Die Biosphäre verwendete bisher rund 10^{23} Tonnen Wasser als Lösungs- und Produktionsmittel in Lebewesen. Die gesamte Wassermenge auf der Erde beträgt $1,7 \times 10^{18}$ Tonnen. (97 % davon befinden sich in Meeren und Ozeanen.) Dies bedeutet, daß das gesamte Wasser unseres Planeten bisher schon rund 50 000 mal von Lebewesen aufgenommen, im Organismus als Pflanzensaft oder Blut umgewälzt und wieder als Wasserdampf oder Urin ausgeschieden wurde. Fünfzigtausend mal. Und natürliches Wasser ist auch heute noch genauso sauber und rein wie vor Milliarden Jahren.

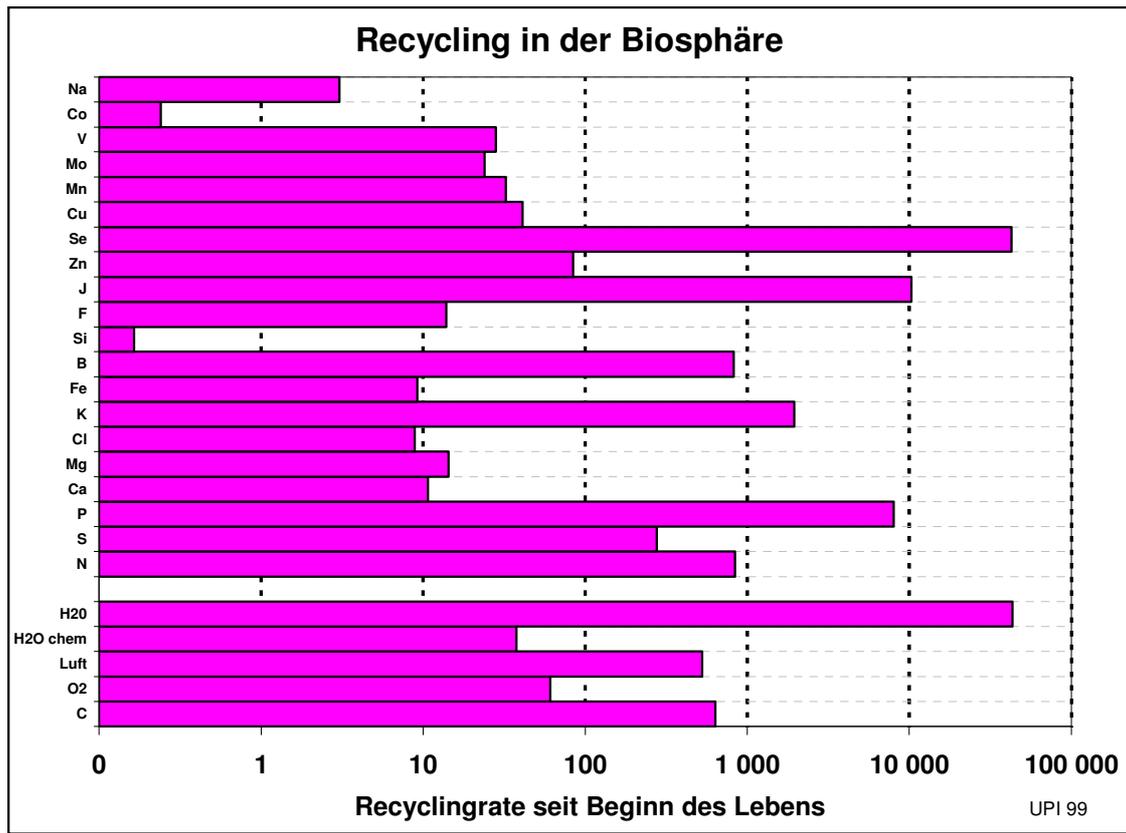
Wird es dagegen nur einmal zur Papierherstellung oder in der chemischen Industrie als Lösungsmittel verwendet, ergießt es sich als giftige, stinkende Brühe in einen Abwasserkanal und verseucht unsere Flüsse, das Grundwasser und die Meere.

Andere Rohstoffe

Auch eine Menge anderer Stoffe werden von der Biosphäre als Rohstoffe und Produktionsmittel benutzt. Verglichen mit dem jeweiligen Gehalt der Erdkruste, des Bodens, des Wassers und der Atmosphäre ergaben die Berechnungen, daß

- der Stickstoff auf der Erde schon rund 800 mal von Lebewesen in ihren Körper eingebaut und wieder ausgeschieden wurde,
- Schwefel 300 mal,
- Jod 10 000 mal,
- Selen 40 000 mal,
- Phosphor 8 000 mal,
- Kalium 2 000 mal,
- Kalzium, Chlor und Eisen 10 mal,
- Magnesium 15 mal und
- Natrium 3 mal.

Alle diese Rohstoffe wurden aus dem großen Reservoir der Meere und des Bodens entnommen und flossen nach dem Absterben der Organismen wieder in dieses zurück, ohne daß irgendwo Giftmülldeponien oder Müllverbrennungsanlagen angelegt wurden.



Die Funktionsprinzipien der Biosphäre

Wie waren diese gewaltigen Leistungen der Biosphäre möglich, ohne daß die von unserer Zivilisation bekannten Umweltprobleme auftraten und die Entwicklung irgendwann beendeten? Das UPI-Projekt analysierte dazu die einzelnen Systemgemeinschaften der Biosphäre und verglich sie mit den Funktionsprinzipien unserer Wirtschaft und Zivilisation. Schon in den siebziger Jahren veröffentlichte Frederic Vester dazu grundlegende Arbeiten.

Nicht alle Prinzipien der Natur können Vorbild für uns sein. In der Natur überleben langfristig nur die Gene, die ihren Trägern die höchste Fortpflanzungs- und Überlebenswahrscheinlichkeit sichern. Diese einseitige Selektion ist zwar gut für das Überleben der jeweiligen Art. Sie entwickelte aber auch zum Beispiel Egoismus, Aggressionen und Grausamkeit gegen Artfremde oder Konkurrenten. Eigenschaften, die uns auch heute noch als Relikte unserer biologischen Entwicklung das Zusammenleben oft schwer machen und zum Beispiel eine Rüstungsmentalität ermöglichen, die in ihrer Primitivität über steinzeitlichen Entwicklungsstand noch nicht wesentlich hinausgekommen ist.

Welche Prinzipien hingegen wichtiges Merkmal überlebensfähiger Systeme sind, wie ihr Fehlen in unserer Zivilisation die Umweltkrise verursacht und welche Prinzipien deshalb zur Lösung der Umweltprobleme übernommen werden müssen, ist in der Tabelle auf der folgenden Seite dargestellt.

Raumschiff Erde

Wie begrenzt und vernetzt die Kreisläufe auf unserem Raumschiff Erde sind, zeigt sich auch in einem Aspekt, der zunächst nur bei einer Spielerei mit dem Rechenprogramm auftrat. Von dem Kohlenstoff, der zum Beispiel vor 2000 Jahren den Körper eines Menschen irgendwo in Palästina bildete (zum Beispiel des Jesus von Nazareth), sind in jedem von uns heute lebenden Menschen rund 500 Milliarden Kohlenstoffatome enthalten. In Gewichtseinheiten ausgedrückt sind das etwa 10 picogramm (1 picogramm ist 10^{-12} g oder ein tausendmilliardstel Gramm. Zum Vergleich: Dioxine werden in der Einheit picogramm gemessen. Ein Bakterium wiegt etwa 1 picogramm.) Auch von jedem anderen Menschen, der je lebte, tragen wir im Mittel 10 picogramm Kohlenstoff in unserem Körper.

Unsere Erde ist nicht unendlich. Alle Stoffe werden im Laufe der Zeit durch Transportvorgänge der Biosphäre global verteilt.

Funktionsprinzipien der Biosphäre; Eigenschaften überlebensfähiger Systeme	Funktionsprinzipien der Zivilisation; Eigenschaften nicht überlebensfähiger Systeme	Konsequenzen für Zivilisation
Produktion nicht auf Kosten der Produktionsgrundlagen.	Produktion zerstört Produktionsgrundlagen.	Erhaltung der natürlichen Grundlagen. Internalisierung externer Kosten der Produktion. Kreislaufwirtschaft. Sanfte Chemie.
Kein Müll. Optimales Recycling, alle Abfälle werden wiederverwendet.	Nur ein kleiner Teil der Abfälle wird wiederverwendet. Probleme werden in Böden (Deponien) und Atmosphäre (Müllverbrennung) verlagert.	Abfallvermeidung. Abfallrücknahme- und Entsorgungspflicht der Hersteller. Verbot der Substanzen, die Recycling verhindern.
Keine Energieverluste. Die gesamte Energie wird optimal und elegant genutzt.	Der Energienutzungsgrad in der Bundesrepublik liegt unter 30 %.	Effizienzsteigerung der Energienutzung. Hohe Energiesteuern
Die Energiequelle ist zu 100 % regenerativ und wird ohne Abfälle genutzt.	Die Energiequellen sind zu 95 % nicht regenerativ. Bei ihrer Nutzung werden die Energieträger zu 100 % in Abfälle umgewandelt. (CO ₂ , NO _x , Atommüll etc.)	Übergang zu regenerativen Energiequellen.
Permanente Optimierung. Keine starren Systeme. Neues ist jederzeit möglich. Es existieren keine Strukturen, die Neues ver- oder behindern.	Im politischen und bürokratischen Bereich oft starre Strukturen. Optimierungsprozesse unterentwickelt.	Ökonomische Anreizsysteme zur ökologischen Optimierung der Produktion.
Große Kreativität. Jedes einzelne Mitglied einer Art oder eines Öko-Systems kann Neues einführen. Ist das Neue gut, wird es beibehalten.	Behinderung von Kreativität. "Lernschutzwände". Strukturkonservativität.	Zukunftswerkstätten. Bürgerinitiativen. Wertstatt Strukturkonservativität.
Angepaßte Technologie. Jede Art ist optimal an ihre Umwelt angepaßt.	Technologien und Strukturen meist nicht an Umwelt angepaßt.	Angepaßte Technologie.
Dezentrale, gewachsene Strukturen. Kleinräumige, angepaßte Gliederung.	Übergestülpte Suprastrukturen ohne Basisbezug. Zerstörung gewachsener Strukturen.	Schonender Umgang mit gewachsenen Strukturen. Problemangepaßte Entscheidungsstrukturen. Global denken, lokal handeln.

Funktionsprinzipien der Biosphäre; Eigenschaften überlebensfähiger Systeme	Funktionsprinzipien der Zivilisation; Eigenschaften nicht überlebensfähiger Systeme	Konsequenzen für Zivilisation
Stabilität durch Vielfalt. Alle Nischen in Öko-Systemen sind besetzt. Optimal angepasste, vielfältige Arten. Keine Einheitsorganismen.	Vereinheitlichung von Kulturen und Wirtschaftsbereichen. Monopolisierung in der Wirtschaft. Tendenzen zu einheitlichen Stadt- und Agrikultursystemen.	Verhinderung der Monopolisierung. Förderung und Schutz für Vielfalt. Biologische Landwirtschaft.
Funktionsvernetzung.	Funktionelle Trennung von Wohnen, Arbeit, Bildung, Kultur, Erholung, Gewerbe, Produktion, Einkauf usw.	Funktionelle Integration.
Alle Systeme (Organismen wie Öko-Systeme) negativ rückgekoppelt. Exponentielles Wachstum (positive Rückkopplung) nur in vorübergehenden Ausnahmesituationen.	Exponentielles Wachstum ist Grundlage des Wirtschaftssystems. Negative Rückkopplungen fehlen weitgehend. Exponentielles Bevölkerungswachstum.	Beendigung des Wachstumszwanges in Wirtschaft und Bevölkerung. Neubewertung des Bruttosozialprodukts. Negative Rückkopplung durch konsequente Internalisierung externer Kosten.
Alles ist im Fluß. Stabilität durch Fließgleichgewichte, nicht durch Starrheit.	Oft starre Scheingleichgewichte.	Fortschritt durch qualitatives Wachstum. Wertewandel. Erkennen der Vernetzungen.
Alle Systeme, Organismen und Substanzen haben aufgrund der langen Zeiträume eine optimale Umweltverträglichkeitsprüfung hinter sich.	Umweltverträglichkeitsprüfung fehlt.	Umfassende Umweltverträglichkeitsprüfung für alle neuen Substanzen, Prozesse, Projekte und Technologien.
Selbststeuerung der Systeme auf allen Ebenen. Zentrale Steuerung nur über Rahmenbedingungen.	Selbststeuerung unterentwickelt. Zentrale Steuerung über Rahmenbedingungen unterentwickelt.	Ökologische Marktwirtschaft. Selbststeuerung durch konsequente Anwendung des Verursacherprinzips und des Haftungsrechts. Steuerung der Rahmenbedingungen über Öko-Steuern und Ordnungsrecht.

	in Meerwasser		in Boden		in biogenem Sediment Kalk + Kiesel	
	Konzentration g/t	Gesamtmenge in Meer t	Konzentr. g/t	Gesamtmenge in Boden t	Konzentr. g/t	Gesamtmenge in Sediment t
C	29,5	4,90E+13	320	1,30E+12	113 290	6,60E+16
O ₂	878 000	1,50E+18	466 000	1,90E+15	496 000	3,70E+17
H ₂ O		1,70E+18				
N	0,187	3,10E+11	46	1,80E+11	46	3,50E+13
S	884	1,50E+15	520	2,10E+12	210	1,60E+14
P	0,045	7,50E+10	1 180	4,70E+12	175	1,30E+14
Ca	400	6,70E+14	36 300	1,40E+14	304 000	2,30E+17
Mg	1 272	2,10E+15	20 900	8,30E+13	47 570	3,60E+16
Cl	18 980	3,20E+16	314	1,20E+12	0	0
K	380	6,30E+14	25 900	1,00E+14	2 740	2,10E+15
Fe	0,005	8,30E+09	50 000	2,00E+14	3 780	2,90E+15
B	4,6	7,70E+12	3	1,20E+10	3	2,30E+12
Si	0,3	5,00E+11	277 200	1,10E+15	24 220	1,80E+16
F	1,4	2,30E+12	300	1,20E+12	300	2,30E+14
J	0,05	8,30E+10	0,3	1,20E+09	0,3	2,30E+11
Zn	0,008	1,30E+10	132	5,20E+11	130	9,80E+13
Au	0, 000006	9 984 000	0,005	19878150	0,005	3,80E+09
Se	0,004	6,70E+09	0,09	3,60E+08	0,09	6,80E+10
Cu	0,01	1,70E+10	70	2,80E+11	70	5,30E+13
Mn	0,003	5,00E+09	1 000	4,00E+12	1 000	7,50E+14
Mo	0, 0008	1,30E+09	15	6,00E+10	15	1,10E+13
V	0, 0003	5,00E+08	150	6,00E+11	150	1,10E+14
Co	0, 0001	1,70E+08	23	9,10E+10	23	1,70E+13
Na	10 561	1,80E+16	28 300	1,10E+14	371	2,80E+14

Tabelle 1: Konzentrationen, Verteilung und absolute Mengen der Elemente auf der Erde

	Meer	Boden	Sediment	Atmosphäre
	%	%	%	%
C	0,07	0	99,92	0,001
O ₂	79,5	0,1	20,35	0,054
H ₂ O	100	0	0	
N	0,01	0	0,9	99,1
S	90,17	0,13	9,71	
P	0,05	3,43	96,51	
Ca	0,29	0,06	99,65	
Mg	5,56	0,22	94,22	
Cl	100	0	0	
K	22,57	3,68	73,75	
Fe	0	6,52	93,48	
B	77,1	0,12	22,78	
Si	0	5,69	94,31	
F	1,01	0,52	98,47	
J	26,79	0,38	72,83	
Zn	0,01	0,53	99,45	
Au	0,26	0,52	99,21	
Se	8,89	0,48	90,63	
Cu	0,03	0,52	99,44	
Mn	0	0,52	99,47	
Mo	0,01	0,52	99,46	
V	0	0,52	99,48	
Co	0	0,52	99,47	
Na	97,82	0,63	1,56	

Tabelle 2: Prozentuale Verteilung der Elemente auf Meer, Boden, Sedimente und Atmosphäre

	Bisherige Produktion/Umsatz der Biosphäre t	Gehalt in Erdkruste t	Umwälz- rate durch Leben
C-Umsatz	4,20E+19	6,60E+16	600
O ₂ -Umsatz	1,10E+20	1,80E+18	60
Luft-Durchsatz (N ₂)	9,70E+20	4,80E+15	200 000
H ₂ O-Umsatz biochemisch	6,30E+19	1,70E+18	40
Wasserdurchsatz	7,20E+22	1,70E+18	40 000
N-Umsatz	3,20E+18	3,80E+15	800
Schwefel	4,50E+17	1,60E+15	300
Phosphor	1,10E+18	1,40E+14	8 000
Calcium	2,50E+18	2,30E+17	10
Magnesium	5,50E+17	3,80E+16	15
Chlor	2,80E+17	3,20E+16	10
Kalium	5,50E+18	2,80E+15	2 000
Eisen	2,80E+16	3,00E+15	10
Bor	8,20E+15	9,90E+12	800
Silizium	3,20E+15	1,90E+16	0,2
Fluor	3,20E+15	2,30E+14	15
Jod	3,20E+15	3,10E+11	10 000
Zink	8,30E+15	9,90E+13	80
Selen	3,20E+15	7,50E+10	40 000
Kupfer	2,20E+15	5,30E+13	40
Mangan	2,50E+16	7,60E+14	30
Molybdän	2,70E+14	1,10E+13	25
Vanadium	3,20E+15	1,10E+14	30
Kobalt	4,20E+12	1,70E+13	0,2
Natrium	5,50E+16	1,80E+16	3

Tabelle 3: Bisherige Produktion bzw. Umsatz der Biosphäre, Gesamtgehalt der der Biosphäre zugänglichen Erdkruste und biologische Umwälzraten der einzelnen Elemente und Substanzen seit Beginn des Lebens auf der Erde