

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	15
2	Das System Erde und seine Kreisläufe	19
2.1	Systeme	20
2.2	Offene und geschlossene Systeme	21
2.3	Erhaltungsgrößen	22
2.4	Systemdynamik – Rückkopplung	24
2.5	Systemdynamik – Komplexität – chaotisches Verhalten	26
3	Wetter und Klima	27
3.1	Globale Klimazonen	29
3.2	Klimaveränderung	32
3.3	Die Atmosphäre	35
3.4	Das Klimasystem	36
4	Das Universum, das Sonnensystem und der Planet Erde	39
4.1	Die Entstehung des Universums und der Himmelskörper	39
4.2	Die Entstehung von Sonnensystemen	46
4.3	Unsere Galaxie und unsere Sonne	47
5	Der Planet Erde	49
5.1	Was sind Planeten?	49
5.2	Der Aufbau der Erde	51
5.3	Die Plattentektonik	53
5.4	Die Bewegungsformen der Erde	57
5.4.1	Milankovic-Zyklen	58
5.5	Geologische Zeiträume – astronomische Ausdehnungen	60
6	Die Erdgeschichte	61
6.1	Altersbestimmung	64
6.1.1	Klimaproxy	64
6.1.2	Stratigraphie	64
6.1.3	Leitfossilien	64
6.1.4	Erdmagnetfeld	65
6.1.5	Radiometrische Altersbestimmung	65
6.1.6	Sedimentablagerungen	66
6.1.7	Eiskernbohrungen	67
6.1.8	Jahresringzählungen von Bäumen	67

6.2	Messung von Ozeanwassertemperaturen der Vergangenheit	67
6.2.1	Mechanismus der $\delta^{18}\text{O}$ -Methode	68
6.2.2	Mechanismus der $\delta^2\text{H}$ -Methode	69
6.3	Fossilien	69
6.3.1	Wie entstehen Fossilien?	69
6.4	Die Entwicklung des Lebens	70
6.4.1	Was ist Leben?	70
6.5	Die Erdneuzeit	77
6.6	Die Evolution zur Entwicklung der Menschen	81
6.7	Übersicht über die Erdzeitalter	85
7	Erdphysik und Klima	87
7.1	Energieerhaltung	88
7.2	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	88
7.3	Die Sonne	89
7.4	Das Sonnenspektrum	92
7.5	Die Energieflussdichte der Sonne	95
7.6	Der »Treibhauseffekt«	97
7.7	Albedo – das Rückstrahlvermögen der Erde	102
7.8	Physik der Gase	103
7.8.1	Aggregatzustände	103
7.8.2	Die Zustandsgleichung »idealer« Gase	104
7.8.3	Partialdrücke in Gasgemischen	104
7.8.4	Der Luftdruck	105
	<i>7.8.4.1 Tiefdruckgebiet • 7.8.4.2 Hochdruckgebiet • 7.8.4.3 Wie entsteht Wind?</i>	
7.8.5	Die Luftfeuchtigkeit	106
7.8.6	Wie entstehen Wolken?	107
7.9	Corioliskraft	107
7.10	Planetare Windströmungen	109
7.10.1	Die Hadley-Zelle	109
7.10.2	Die Polarzelle	110
7.10.3	Die Ferrel-Zelle	111
7.10.4	Polarer Jetstream	113
7.10.5	El-Niño/El-Niña-Phänomen	114
7.11	Ozeanströmungen	117
7.11.1	Eigenschaften von Wasser	117
7.11.2	Eigenschaften von Meerwasser	118
7.11.3	Bewegung des Meerwassers	119
7.11.4	Meridionale Umwälzzirkulation	121
7.11.5	Der Golfstrom	122
7.12	Wasserkreislauf	123
7.12.1	Wo wird die Wärmeenergie auf der Erde gespeichert?	126
7.13	Sauerstoffkreislauf	127

8	Der bedrängte Planet und seine Reaktion	131
8.1	Welche Reaktionen des Erdsystems werden gegenwärtig beobachtet?	133
8.1.1	Anstieg der globalen Erdtemperatur	133
8.1.2	Das Abschmelzen der Gletscher	138
8.1.3	Das Abschmelzen der Antarktis und des grönländischen Eises	139
8.1.4	Anstieg des Meeresspiegels	142
8.1.5	Wachstum der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre	143
8.1.6	Anstieg der Methankonzentration	145
8.1.7	Anstieg von Distickstoffoxid in der Atmosphäre	147
8.1.8	Anstieg von Schwefelhexafluorid	150
8.1.9	Der Rückgang borealer Wälder und der Regenwaldgebiete	151
8.1.10	Verlust der Arten – das sechste Massenaussterben	155
8.1.11	Die Verschiebung der Klimazonen	159
8.1.12	Die Wetterextreme nehmen zu	160
8.1.13	Umwandlung von natürlichem Land	161
9	Bedrohung der Menschheit durch den Klimawandel	163
9.1	Kippunkte des Klimasystems oder der freie Fall ins Klimachaos	166
9.1.1	Kippunkt: Auftauen der Permafrostböden	169
9.1.2	Kippunkt: Der Bakterienstoffwechsel im Ozean	170
9.1.3	Kippunkt: Absterben der Amazonas-Regenwälder	170
9.1.4	Kippunkt: Absterben nördlicher borealer Nadelwälder	172
9.1.5	Kippunkt: Auflösung von Stratokumulus-Wolken	172
9.2	Das Konzept der Strahlungsantriebe	173
9.2.1	Strahlungsantrieb durch Treibhausgase	178
	9.2.1.1 Strahlungsantrieb CO ₂ • 9.2.1.2 Strahlungsantriebe Methan, Lachgas, FCKW und halogenisierte Verbindungen • 9.2.1.3 Berechnung der Strahlungsantriebe der wichtigsten Treibhausgase	
9.2.2	Strahlungsantrieb: Aerosole	182
	9.2.2.1 Strahlungsantrieb: Kondensstreifen und kondensstreifeninduzierte Trübung • 9.2.2.2 Strahlungsantrieb stratosphärische Aerosole	
9.2.3	Strahlungsantrieb Albedo-Veränderungen durch Landnutzung und Landbedeckungswechsel	184
9.2.4	Solarer Strahlungsantrieb	185
9.2.5	Gesamter natürlicher und anthropogener Strahlungsantrieb	186
9.2.6	Die Auswirkung der Strahlungsantriebe auf das Erdklima	188
	9.2.6.1 Schnell wirkende Klimareaktion • 9.2.6.2 Berechnung der Effektivität der Klimastörung durch eine Veränderung der Konzentration der Treibhausgase • 9.2.6.3 Langsam wirkende Klimareaktion	
9.3	Ursprung und Verursacher des Treibhausgases CO ₂	192
9.3.1	CO ₂ – und globaler Kohlenstoffkreislauf	192
	9.3.1.1 Globaler Kohlenstoffhaushalt	
9.3.2	Kohlenstoffemissionen	196
9.3.3	Globale Emissionen von Treibhausgasen nach Wirtschaftssektoren	197
9.3.4	CO ₂ -Emissionen durch Verkehrsträger	198
9.3.5	CO ₂ -Emissionen durch Zementproduktion	199
9.3.6	CO ₂ -Emissionen aus Land- und Forstwirtschaft und anderer Landnutzung	200

9.3.7	CO ₂ -Emission aus der Gewinnung elektrischer Energie aus fossilen Brennstoffen	200
9.3.8	Fossiler Brennstoff Kohle	203
9.3.9	Fossiler Brennstoff Erdöl	205
9.3.10	Globale Emissionen von Treibhausgasen, aus fossilen Brennstoffen stammend, nach Herkunftsländern	205
9.3.11	Spitzenverbraucher/Einwohner	207
9.3.12	Weltweit größte Förderer und Verbraucher fossiler Brennstoffe	208
10	Bedrohungen der Umwelt durch den Menschen	211
10.1	Die schleichende Vergiftung des Menschen und seiner Umwelt	211
10.1.1	Schadstoffquellen in der Umwelt	213
	<i>10.1.1.1 Metalle und Metalloide • 10.1.1.2 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe • 10.1.1.3 Industrielle Chemikalien • 10.1.1.4 Pharmazeutika und Körperpflegeprodukte • 10.1.1.5 Radioaktive Elemente • 10.1.1.6 Elektronischer Abfall • 10.1.1.7 Kunststoffe • 10.1.1.8 Nanopartikel • 10.1.1.9 Natürliche Toxine in Lebensmitteln</i>	
10.2	Die Plastifizierung der Welt	217
10.2.1	Gefahren des Kunststoffes und des Mikroplastiks	221
10.2.2	Welche Gefahren bergen die Zusatzstoffe des Plastiks in sich?	222
10.2.3	Die größten Produzenten von Plastik	224
10.3	Die Bevölkerungsexplosion	225
10.3.1	Migrationsbewegungen	228
10.3.2	Das Leben in den Städten	230
10.4	Verschiebung der Vegetationszonen	232
10.5	Die Gefahr von Hungersnöten durch den Rückgang der Nahrungsmittelproduktion	232
10.6	Bedrohung: der atomare Krieg	237
10.7	Bedrohung: die gentechnische Versuchung	240
10.7.1	Risiken, verbunden mit gentechnisch veränderten Organismen	241
10.7.2	Risiken, verbunden mit möglicher ökologischer Instabilität	242
10.8	Bedrohung: die Entmenschlichung durch Digitalisierung	243
10.8.1	Die GAFAM-Oligopole	244
10.8.2	Datenschutzprobleme	247
10.8.3	Die Gefahr von Monopolen	247
10.8.4	Die Gefahr der Manipulation der öffentlichen Meinung	248
10.8.5	Droht eine Übernahme der Welt durch die KI?	248
11	Was unternimmt die Menschheit gegen die existenzielle Bedrohung durch den Klimawandel und seine Folgen?	249
11.1	Wer verursacht die beobachteten Reaktionen des Klimasystems?	250
11.2	Warnungen der Wissenschaft	252
11.3	Berichte und Konferenz der UNO – IPCC	253
11.3.1	Warum wurde im Paris-Protokoll genau 2 °C als Grenzwert gewählt?	254
11.3.2	Ein kurzer historischer Überblick über die bisherigen Klimakonferenzen	256
11.4	Voraussagen des Klimas (IPCC 1990) und tatsächlicher Verlauf bis 2020	258

11.5	Erfolge, Teilerfolge und Misserfolge der Welt im Kampf gegen Umweltprobleme	259
11.5.1	Das Ozonloch schließt sich – ein Erfolg internationaler Zusammenarbeit	259
11.5.2	Die Gewässerverschmutzung	261
11.5.3	Der Rückgang der Luftschadstoffe	262
12	Warum passiert nichts oder: »Alles, was geschieht, ist zu wenig!«	267
12.1	Die Geschichte der Technik oder: Die vergiftete Frucht der Erkenntnis	267
12.2	Der reale Klimawandel und die empfundene Bedrohung	270
12.3	Der Neoliberalismus als Beschleuniger des Klimawandels	273
12.3.1	Der Neoliberalismus erobert die Welt	275
12.3.2	Die Schwächung des Sozialstaats	278
12.3.3	Die Ausbeutung der Entwicklungsländer durch den Neoliberalismus	279
12.3.4	Die Aushöhlung demokratischer Regierungsformen durch den Neoliberalismus	280
12.3.5	Die neoliberalen Antriebskräfte des Klimawandels	282
12.4	»Nachhaltigkeit« und Menschenrechte	285
12.4.1	»Global Compact« der United Nations	285
	12.4.1.1 <i>Bluwashing</i> • 12.4.1.2 <i>Greenwashing</i>	
12.4.2	Zeitigt der Global Compact Erfolge?	286
12.4.3	OECD-Leitsätze für multinationale Unternehmen	287
12.4.4	EU-Grünbuch »Europäische Rahmenbedingungen für die soziale Verantwortung der Unternehmen der EU«	288
12.5	Das Märchen von der nachhaltigen Produktion	288
12.5.1	Aluminium Stewardship Initiative (ASI)	289
12.5.2	Global Roundtable on Sustainable Beef (GRSB)	291
12.5.3	Roundtable on Responsible Soy (RTRS)	294
12.5.4	Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO)	296
	12.5.4.1 <i>Unilever</i> • 12.5.4.2 <i>Cargill</i> • 12.5.4.3 <i>Wilmar International</i>	
12.5.5	Better Cotton Initiative (BCI)	300
12.6	Das Versagen der Medien	304
12.6.1	Wem gehören die Medien?	304
12.6.2	Welche Inhalte verbreiten die neuen Medien?	305
12.7	Die Nichtnutzung der Vorteile der Gendergerechtigkeit	306
12.8	Die Verleugnung externer Kosten oder das Prinzip »Nach uns die Sintflut«	309
12.8.1	Umweltschädigungskosten – Kostensätze	309
12.8.2	Das EU-Emissionshandelssystem	312
13	Was muss zur Rettung der Menschheit geschehen? Was können wir tun?	313
13.1	Der Planet ist krank	314
13.2	Vitalparameter der »gesunden« Erde	314
13.3	Vitalparameter: Weltbevölkerung	315
13.3.1	Die »optimale« Größe der Weltbevölkerung	316

13.4	Vitalparameter: Treibhausgasemissionen	317
13.4.1	Auswirkungen des CO ₂ -Anstiegs auf die Pflanzenwelt	318
13.5	Vitalparameter: Biodiversität	319
13.6	Aktuelle Fahrpläne zur Dekarbonisierung: Sind sie die Rettung?	321
13.6.1	Das Übereinkommen von Paris	321
13.7	Warum sind die derzeitigen Fahrpläne nicht ausreichend?	325
13.8	Wie stehen die Chancen, die Pariser Klimaziele doch noch zu erreichen?	326
13.9	Energieversorgung aus erneuerbaren Energien	328
13.9.1	Energieeinsparung durch WWS-Energieformen	329
13.9.2	Kostenvergleich zwischen WWS und BAU	330
13.9.3	Ein Fahrplan zur schnellen Dekarbonisierung bis 2050	332
13.10	Gewinnung erneuerbarer Energie	335
13.10.1	Gewinnung elektrischer Energie aus Kernkraftwerken	335
13.10.2	Geothermiekraftwerke	336
13.10.3	Parabolrinnenkraftwerke	337
13.10.4	Photovoltaikkraftwerke und -anlagen	338
13.10.5	Wasserkraftwerke	339
13.10.6	Wellenkraftwerke	340
13.10.7	Meeresströmungskraftwerke	340
13.10.8	Windkraftanlagen zur Stromgewinnung	341
13.10.9	Biogasanlagen	342
13.10.10	Energieträger Wasserstoff	343
13.10.11	Die Brennstoffzelle	343
13.10.12	Vergleich der verschiedenen Energieerzeugungsanlagen	344
13.10.13	Prognose der Leistungsentwicklung erneuerbarer Energieformen	345
13.11	Begleitmaßnahmen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Dekarbonisierung	346
13.11.1	Landwirtschaftliche Betriebe	346
13.11.2	Lebensmittelfülle und Lebensmittelabfälle	347
13.11.3	Das gesunde Essen und reduzierter Fleischkonsum	347
13.11.4	Reduktion von Distickoxid N ₂ O	351
13.11.5	Reduktion von Methan	353
13.11.6	Nachhaltiger Verkehr und Transport	354
13.11.6.1	<i>Ist das Elektroauto die Antwort auf die Klimakrise?</i>	
13.11.7	Eine CO ₂ -Steuer für eine Trendwende	359
13.11.8	Reduktion des Energieverbrauchs in Haushalten	360
13.11.8.1	<i>Energiesparen beim Heizen</i>	
13.11.8.2	<i>Wärmepumpen</i>	
13.11.8.3	<i>Solarthermie</i>	
13.11.8.4	<i>Photovoltaik zur eigenen Stromgewinnung</i>	
13.11.8.5	<i>Hausdämmungsmaßnahmen</i>	
13.11.9	Alternative Baustoffe	366
13.11.9.1	<i>Kohlenstoffarme Zementherstellung</i>	
13.11.9.2	<i>Alternative Baustoffe für Gebäude</i>	
13.11.10	Steigerung der Biodiversität	370
13.11.10.1	<i>Wert pflanzengenetischer Ressourcen</i>	
13.11.10.2	<i>Süßwasser-ökosysteme</i>	
13.12	Stärkung demokratischer Regierungsformen	375
13.12.1	Eine neue Gesellschaft im Wertewandel	378
13.12.2	Unverhältnismäßigkeit der Vermögen verringern	378

13.12.3	Bedingungsloses Grundeinkommen	379
13.12.4	Stärkung des Sozialstaates	380
13.12.5	Startkapital für alle	381
13.12.6	Wirtschaftswachstum oder Gesundshrimpung?	381
13.12.7	Mehr Demokratie für alle	381
13.12.8	Nachhaltiger Konsum	383
13.12.9	Objektive öffentliche Medien und Medienförderung	383
13.12.10	Was kann der Einzelne tun?	384
13.12.11	Was sollen die Regierungen tun?	387
14	Wenn nichts mehr hilft: Geoengineering oder Notmaßnahmen	389
14.1	Methoden des künstlichen Abbaus von CO ₂ aus der Atmosphäre	392
14.1.1	Aufforstung und Wiederaufforstung von Wäldern	392
14.1.2	Renaturierung von Mooren und Feuchtgebieten	394
14.1.3	CO ₂ -Filterung und -Abscheidung im Boden	394
14.1.4	Der Ozean als Helfer	395
14.1.5	Ozeandüngung	396
14.1.6	Bioenergiegewinnung, kombiniert mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung	397
14.1.7	CO ₂ -Abscheidung durch Mikroalgen	398
14.1.8	DACC-Abscheidung von CO ₂ über Filter und Chemie und Speicherung	398
14.1.9	Düngen mit Biokohle (BC)	399
14.1.10	Verwitterung von Mineralien	399
14.1.11	Kohlenstoffabscheidung und -verwertung (CCU)	400
14.1.12	Vergleich von CDR-Technologien	400
14.1.13	Zusatznutzen von CDR-Methoden	401
14.1.14	Kohlenstoffbindung im Boden	402
14.2	Methoden zur Reduktion des Strahlungsantriebs	403
14.2.1	Einbringen von Aerosolen in die Stratosphäre	403
14.2.2	Aufhellen von Wolken über dem Meer	403
14.2.3	Erhöhung der Albedo	404
14.3	Risiken des Geoengineering	404
14.4	Methanabscheidung – kurzfristiger Helfer in der Not	405
15	Umweltschutzorganisationen	407
15.1	Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)	407
15.2	International Union for Conservation of Nature (IUCN)	408
15.3	United Nations Environment Program (UNEP)	409
15.4	Earth System Governance Project	409
15.5	Global Environment Facility (GEF)	410
15.6	European Environment Agency (EEA)	411
15.7	Das Projekt zur Offenlegung von CO ₂ -Emissionen (Carbon Disclosure Project – CDP)	411
15.8	Greenpeace	412
15.9	World Wildlife Fund for Nature (WWF)	414
15.10	Global 2000	414

15.11	Rain Forest Action Network (RAN)	415
15.12	Friends of the Earth International (FoE)	416
15.13	Fridays for Future & School Strike for Climate	417
15.14	Extinction Rebellion	418
15.15	Global Footprint Network (GFN)	419
15.16	Oxfam	420
15.17	Union of Concerned Scientists (UCS)	421
16	Empfohlene weiterführende Literatur und Links	423
16.1	Empfohlene Literatur	423
16.2	Empfohlene Links	424
17	Konstanten und Konvertierung	427
18	Abkürzungen	429
19	Quellenverzeichnis für Abbildungen	433
20	Quellenverzeichnis für Tabellen	445
21	Index	449