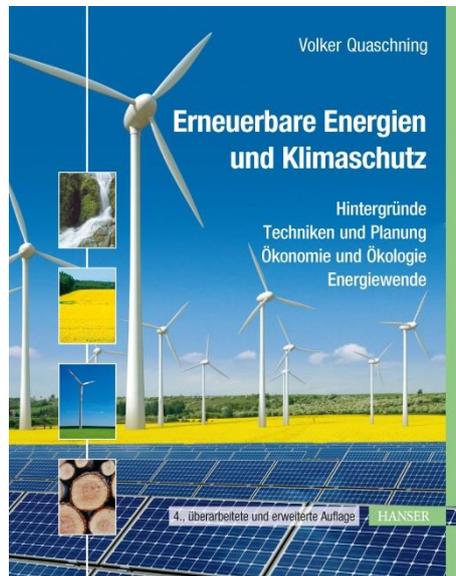


HANSER



Leseprobe

zu

Erneuerbare Energien und Klimaschutz

Hintergründe – Techniken und Planung – Ökonomie und Ökologie –
Energiewende

4., überarbeitete und erweiterte Auflage
Mit 254 Bildern

von Volker Quaschnig

ISBN (Buch): 978-3-446-45416-3
ISBN (E-Book): 978-3-446-45703-4

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-45416-3>

sowie im Buchhandel
© Carl Hanser Verlag, München



Vorwort

Die Energie- und Klimaproblematik ist endlich dort angekommen, wo sie hingehört: in der breiten Öffentlichkeit. Dabei sind die Zusammenhänge von Energieverbrauch und Klimaerwärmung bereits seit vielen Jahrzehnten bekannt. Schon Ende der 1980er-Jahre erklärte die damalige deutsche Bundesregierung Klimaschutz zum Regierungsziel. Zahlreiche Experten forderten bereits damals den schnellen Umbau unserer Energieversorgung. Die dafür nötigen Schritte erfolgten allerdings bestenfalls halbherzig. Dabei lässt sich das Klimaproblem nicht aussitzen. Von Jahr zu Jahr wird immer deutlicher erkennbar, dass der Klimawandel bereits eingesetzt hat. Die Prognosen der Klimaforscher sind verheerend. Gelingt es uns nicht, die Notbremse zu ziehen, werden die katastrophalen Folgen des Klimawandels unsere heutigen Vorstellungsgrenzen weit überschreiten. Die Verleihung des Friedensnobelpreises im Jahr 2007 an den Klimapolitiker Al Gore und den Weltklimarat, die seit Jahren eindringlich vor den Klimafolgen warnen, sind eher ein Zeichen der Hilflosigkeit als einer nahenden Lösung des Problems.

Neben den Klimafolgen zeigen immer neue Rekorde bei den Preisen für Erdöl oder Erdgas, dass diese unseren Bedarf nicht mehr lange decken können und schnellstmöglich andere Alternativen erschlossen werden müssen.

Die Lösung ist dabei recht simpel. Sie lautet: regenerative Energien. Diese wären in der Lage, in nur wenigen Jahrzehnten unsere gesamte Energieversorgung vollständig zu übernehmen. Nur so können wir unsere Abhängigkeit von immer teurer werdenden und Krisen verursachenden Energieträgern wie Erdöl oder Uran beenden und unseren Energiehunger nachhaltig klimaverträglich stillen.

Der Weg dahin ist aber für viele noch ziemlich unklar. Oft traut man den regenerativen Energien nicht zu, eine wirkliche Alternative zu bieten. Dabei unterschätzt man völlig deren Möglichkeiten und prophezeit ein Zurück zur Steinzeit, wenn einmal das Erdöl und die Kohle erschöpft sein werden.

Dieses Buch soll solche Vorurteile zerstreuen. Es beschreibt klar und verständlich, welche verschiedenen Techniken und Potenziale zur Nutzung regenerativer Energien existieren, wie diese funktionieren und wie sie eingesetzt werden können. Das Zusammenspiel der verschiedenen Technologien ist dabei stets im Fokus. Am Beispiel Deutschlands wird auf-

gezeigt, wie eine nachhaltige Energieversorgung aussehen kann und wie diese umzusetzen ist. Dabei dient dieses Buch weniger als Handlungskatalog für eine zögerliche Politik, sondern soll vielmehr allen Leserinnen und Lesern Wege aufzeigen, selbst Beiträge für eine klimaverträgliche Energiewirtschaft zu leisten. Neben der Erläuterung von Energiesparmaßnahmen liefert das Buch dazu konkrete Planungshilfen für die Realisierung eigener regenerativer Energieanlagen.

Das Buch ist bewusst so geschrieben, dass es einem breiten Leserkreis die nötigen Informationen bietet. Es soll sowohl den Einstieg in die verschiedenen Technologien ermöglichen als auch für Personen mit einigen Vorkenntnissen interessante Hintergrundinformationen liefern.

Damit ist dieses Buch eine wichtige Ergänzung zu dem von mir verfassten und bereits beim Hanser Verlag erschienenen Fachbuch „Regenerative Energiesysteme“. Das große Interesse an dem mittlerweile in der sechsten Auflage erschienenen und ins Englische und ins Arabische übersetzten Fachbuch hat gezeigt, dass ein Bedarf an entsprechender Literatur besteht. Als Rückmeldung zu diesem Fachbuch und zu zahlreichen meiner Vorträge wurde stets das Interesse an einem allgemeinverständlichen, aber dennoch umfassenden Buch geäußert. Das neue Buch soll nun diese Lücke schließen und damit auch eine Unterstützung bei der Gestaltung einer nachhaltigen Energieversorgung liefern.

An dieser Stelle danke ich meiner Frau Cornelia, meinem Vater Günter, meinem Onkel Manfred sowie Friedrich Sick, die mit ihren Anregungen zum Entstehen dieses Buches beigetragen haben. Ein ganz besonderer Dank gilt auch dem Carl Hanser Verlag und im Speziellen Erika Hotho, Franziska Kaufmann und Mirja Werner für die Unterstützung und Realisierung dieses Buches.

Berlin, im Sommer 2008

Prof. Dr. Volker Quaschnig

Vorwort zur 4. Auflage

Die sehr guten Verkaufszahlen und die positive Resonanz zu diesem Fachbuch haben gezeigt, dass die Thematik und die Art der Darstellung auf ein breites Interesse stoßen. Trotz sorgfältigster Prüfung lassen sich kleinere Fehler und Unstimmigkeiten nicht vermeiden. Ein besonderer Dank gilt daher allen Leserinnen und Lesern, die mit Hinweisen zur Beseitigung von Fehlern beigetragen haben. Die vierte Auflage wurde umfassend aktualisiert. Sie enthält alle aktuellen Daten zu den erneuerbaren Energien und wurde um neueste Trends erweitert. Ein eigener Abschnitt erläutert, welche Schritte nötig wären, um das Pariser Klimaschutzabkommen einzuhalten und so die Lebengrundlagen der künftigen Generationen zu bewahren. Es bleibt zu hoffen, dass dieses Buch damit einen kleinen Beitrag leisten kann, die Energiewende auf das nötige Tempo zu steigern.

Berlin, im Sommer 2018

Prof. Dr. Volker Quaschnig

Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin

www.volker-quaschnig.de



Inhalt

1	Unser Hunger nach Energie	13
1.1	Energieversorgung – gestern und heute	14
1.1.1	Von der französischen Revolution bis ins 20. Jahrhundert.....	14
1.1.2	Die Epoche des schwarzen Goldes	17
1.1.3	Erdgas – der jüngste fossile Energieträger.....	20
1.1.4	Atomkraft – gesplattene Energie	22
1.1.5	Das Jahrhundert der fossilen Energieträger	26
1.1.6	Das erneuerbare Jahrhundert	27
1.2	Energiebedarf – wer was wo wie viel verbraucht.....	28
1.3	Die SoDa-Energie	32
1.4	Energievorräte – Reichtum auf Zeit	35
1.4.1	Nicht-konventionelle Vorräte – Verlängerung des Ölzeitalters	36
1.4.2	Ende in Sicht	38
1.4.3	Das Ende der Spaltung	39
1.5	Hohe Energiepreise – Schlüssel für den Klimaschutz	40
2	Klima vor dem Kollaps	43
2.1	Es ist warm geworden – Klimaveränderungen heute	43
2.1.1	Immer schneller schmilzt das Eis	43
2.1.2	Naturkatastrophen kommen häufiger.....	47
2.2	Schuldiger gesucht – Gründe für den Klimawandel.....	50
2.2.1	Der Treibhauseffekt.....	50
2.2.2	Hauptverdächtiger Kohlendioxid.....	51
2.2.3	Andere Übeltäter	56
2.3	Aussichten und Empfehlungen – was kommt morgen?.....	58
2.3.1	Wird es in Europa bitterkalt?.....	61
2.3.2	Empfehlungen für einen wirksamen Klimaschutz	63
2.4	Schwere Geburt – Politik und Klimawandel	66
2.4.1	Deutsche Klimapolitik.....	66
2.4.2	Klimapolitik international.....	67
2.5	Selbsthilfe zum Klimaschutz.....	69

3	Vom Energieverschwenden zum Energie- und Kohlendioxidsparen.....	71
3.1	Wenig effizient – Energiever(sch)wendung heute	71
3.2	Privater Energiebedarf – zu Hause leicht gespart.....	75
3.2.1	Private Elektrizität – viel Geld verschleudert.....	75
3.2.2	Wärme – fast ohne heizen durch den Winter.....	78
3.2.3	Transport – mit weniger Energie weiterkommen	83
3.3	Industrie und Co – schuld sind doch nur die anderen.....	86
3.4	Die eigene Kohlendioxidbilanz.....	87
3.4.1	Direkt selbst verursachte Emissionen.....	87
3.4.2	Indirekt verursachte Emissionen	89
3.4.3	Gesamtemissionen.....	91
3.5	Ökologischer Ablasshandel.....	92
4	Die Energiewende – der Weg in eine bessere Zukunft?.....	96
4.1	Kohle- und Kernkraftwerke – Krücke statt Brücke.....	97
4.1.1	Energie- und Automobilkonzerne – aufs falsche Pferd gesetzt	97
4.1.2	Braunkohle – Klimakiller made in Germany.....	100
4.1.3	Kohlendioxidsequestrierung – aus dem Auge aus dem Sinn.....	102
4.1.4	Atomkraft – Comeback strahlend gescheitert.....	104
4.2	Effizienz und KWK – ein gutes Doppel für den Anfang	106
4.2.1	Kraft-Wärme-Kopplung – Brennstoff doppelt genutzt.....	106
4.2.2	Energiesparen – mit weniger mehr erreichen	107
4.3	Regenerative Energiequellen – Angebot ohne Ende	109
4.4	Deutschland wird erneuerbar	110
4.4.1	Auf alle Sektoren kommt es an	111
4.4.2	Energiewende im Wärmesektor	112
4.4.3	Energiewende im Verkehrssektor.....	115
4.4.4	Energiewende im Elektrizitätssektor.....	118
4.4.5	Sichere Versorgung mit regenerativen Energien.....	120
4.4.6	Dezentral statt zentral – weniger Leitungen für das Land	123
4.5	Gar nicht so teuer – die Mär der unbezahlbaren Kosten	125
4.6	Energiewende statt laue Energiewende.....	127
4.6.1	Deutsche Energiepolitik – im Schatten der Konzerne	127
4.6.2	Energiewende in Bürgerhand – eine Revolution steht ins Haus	128
5	Photovoltaik – Strom aus Sand	130
5.1	Aufbau und Funktionsweise.....	131
5.1.1	Elektronen, Löcher und Raumladungszonen	131
5.1.2	Wirkungsgrad, Kennlinien und der MPP.....	133
5.2	Herstellung von Solarzellen – vom Sand zur Zelle	136
5.2.1	Siliziumsolarzellen – Strom aus Sand	136
5.2.2	Von der Zelle zum Modul	138
5.2.3	Dünnschichtsolarzellen	139
5.3	Photovoltaikanlagen – Netze und Inseln.....	140
5.3.1	Sonneninseln	140
5.3.2	Sonne am Netz	143

5.3.3	Mehr solare Unabhängigkeit	147
5.4	Planung und Auslegung	150
5.4.1	Geplante Inseln.....	150
5.4.2	Geplant am Netz.....	152
5.4.3	Geplante Autonomie.....	156
5.5	Ökonomie.....	158
5.5.1	Was kostet sie denn?	159
5.5.2	Förderprogramme	160
5.5.3	Es geht auch ohne Mehrwertsteuer.....	162
5.6	Ökologie.....	163
5.7	Photovoltaikmärkte	164
5.8	Ausblick und Entwicklungspotenziale	166
6	Solarthermieanlagen – mollig warm mit Sonnenlicht.....	168
6.1	Aufbau und Funktionsweise.....	170
6.2	Solkollektoren – Sonnensammler.....	172
6.2.1	Schwimmbadabsorber	172
6.2.2	Flachkollektoren.....	173
6.2.3	Luftkollektoren.....	174
6.2.4	Vakuum-Röhrenkollektor.....	175
6.3	Solarthermische Anlagen	177
6.3.1	Warmes Wasser von der Sonne	177
6.3.1.1	Schwerkraftsysteme.....	178
6.3.1.2	Systeme mit Zwangsumlauf	179
6.3.2	Heizen mit der Sonne	181
6.3.3	Solare Siedlungen.....	183
6.3.4	Kühlen mit der Sonne.....	184
6.3.5	Schwimmen mit der Sonne.....	185
6.3.6	Kochen mit der Sonne	186
6.4	Planung und Auslegung	187
6.4.1	Solarthermische Trinkwassererwärmung.....	188
6.4.1.1	Grobauslegung.....	188
6.4.1.2	Detaillierte Auslegung.....	189
6.4.2	Solarthermische Heizungsunterstützung.....	190
6.5	Ökonomie.....	193
6.5.1	Wann rechnet sie sich denn?	193
6.5.2	Förderprogramme	194
6.6	Ökologie.....	194
6.7	Solarthermiemärkte	195
6.8	Ausblick und Entwicklungspotenziale	197
7	Solkraftwerke – noch mehr Kraft aus der Sonne.....	199
7.1	Konzentration auf die Sonne	200
7.2	Solare Kraftwerke	202
7.2.1	Parabolrinnenkraftwerke	202
7.2.2	Solarturmkraftwerke.....	206

7.2.3	Dish-Stirling-Kraftwerke	208
7.2.4	Aufwindkraftwerke	209
7.2.5	Konzentrierende Photovoltaikkraftwerke	210
7.2.6	Solare Chemie	211
7.3	Planung und Auslegung	212
7.3.1	Konzentrierende solarthermische Kraftwerke	213
7.3.2	Aufwindkraftwerke	214
7.3.3	Konzentrierende Photovoltaikkraftwerke	214
7.4	Ökonomie	215
7.5	Ökologie	216
7.6	Solkraftwerksmärkte	217
7.7	Ausblick und Entwicklungspotenziale	218
8	Windkraftwerke – luftiger Strom.....	221
8.1	Vom Winde verweht – woher der Wind kommt	222
8.2	Nutzung des Windes	225
8.3	Anlagen und Parks	229
8.3.1	Windlader	229
8.3.2	Große netzgekoppelte Windkraftanlagen	231
8.3.3	Kleinwindkraftanlagen	234
8.3.4	Windparks	236
8.3.5	Offshore-Windparks	237
8.4	Planung und Auslegung	241
8.5	Ökonomie	243
8.6	Ökologie	246
8.7	Windkraftmärkte	247
8.8	Ausblick und Entwicklungspotenziale	249
9	Wasserkraftwerke – nasser Strom	251
9.1	Anzapfen des Wasserkreislaufs	252
9.2	Wasserturbinen	254
9.3	Wasserkraftwerke	257
9.3.1	Laufwasserkraftwerke	257
9.3.2	Speicherwasserkraftwerke	259
9.3.3	Pumpspeicherkraftwerke	260
9.3.4	Gezeitenkraftwerke	262
9.3.5	Wellenkraftwerke	262
9.3.6	Meeresströmungskraftwerke	263
9.4	Planung und Auslegung	264
9.5	Ökonomie	266
9.6	Ökologie	267
9.7	Wasserkraftmärkte	268
9.8	Ausblick und Entwicklungspotenziale	270
10	Geothermie – tiefgründige Energie	271
10.1	Anzapfen der Erdwärme	272
10.2	Geothermieheizwerke und Geothermiekraftwerke	276

10.2.1	Geothermische Heizwerke.....	276
10.2.2	Geothermische Kraftwerke.....	277
10.2.3	Geothermische HDR-Kraftwerke	279
10.3	Planung und Auslegung	280
10.4	Ökonomie.....	281
10.5	Ökologie.....	282
10.6	Geothermiemärkte.....	283
10.7	Ausblick und Entwicklungspotenziale	284
11	Wärmepumpen – aus kalt wird heiß	285
11.1	Wärmequellen für Niedertemperaturwärme.....	285
11.2	Funktionsprinzip von Wärmepumpen	288
11.2.1	Kompressionswärmepumpen.....	288
11.2.2	Absorptionswärmepumpen und Adsorptionswärmepumpen	289
11.3	Planung und Auslegung	291
11.4	Ökonomie.....	294
11.5	Ökologie.....	296
11.6	Wärmepumpenmärkte	298
11.7	Ausblick und Entwicklungspotenziale	299
12	Biomasse – Energie aus der Natur.....	300
12.1	Entstehung und Nutzung von Biomasse.....	301
12.2	Biomasseheizungen.....	304
12.2.1	Brennstoff Holz	304
12.2.2	Kamine und Kaminöfen	308
12.2.3	Scheitholzkessel	309
12.2.4	Holzpelletsheizungen	310
12.3	Biomasseheizwerke und Biomassekraftwerke	312
12.4	Biotreibstoffe	314
12.4.1	Bioöl.....	315
12.4.2	Biodiesel.....	315
12.4.3	Bioethanol	316
12.4.4	BtL-Kraftstoffe.....	318
12.4.5	Biogas.....	319
12.5	Planung und Auslegung	320
12.5.1	Scheitholzkessel	320
12.5.2	Holzpelletsheizung	321
12.6	Ökonomie.....	323
12.7	Ökologie.....	325
12.7.1	Feste Brennstoffe.....	325
12.7.2	Biotreibstoffe.....	327
12.8	Biomassemärkte	328
12.9	Ausblick und Entwicklungspotenziale	330
13	Erneuerbare Gase und Brennstoffzellen	331
13.1	Energieträger Wasserstoff.....	333
13.2	Methanisierung.....	336

13.3	Transport und Speicherung von EE-Gasen	337
13.3.1	Transport und Speicherung von Wasserstoff.....	337
13.3.2	Transport und Speicherung von erneuerbarem Methan.....	338
13.4	Hoffnungsträger Brennstoffzelle.....	341
13.5	Ökonomie	344
13.6	Ökologie	345
13.7	Märkte, Ausblick und Entwicklungspotenziale.....	346
14	Sonnige Aussichten – Beispiele für eine nachhaltige Energieversorgung	348
14.1	Klimaverträglich wohnen.....	348
14.1.1	Kohlendioxidneutrales Standardfertighaus.....	349
14.1.2	Plusenergie-Solarhaus	350
14.1.3	Plusenergiehaus-Siedlung	351
14.1.4	Heizen nur mit der Sonne.....	352
14.1.5	Null Heizkosten nach Sanierung	353
14.2	Klimaverträglich arbeiten und produzieren.....	354
14.2.1	Büros und Läden im Sonnenschiff	354
14.2.2	Nullemissionsfabrik	355
14.2.3	Kohlendioxidfreie Schwermaschinenfabrik	356
14.2.4	Plusenergie-Firmenzentrale.....	357
14.3	Klimaverträglich Auto fahren	358
14.3.1	Weltumrundung im Solarmobil.....	358
14.3.2	In dreiunddreißig Stunden quer durch Australien.....	359
14.3.3	Abgasfrei ausgeliefert	360
14.3.4	Elektroautos für Alle.....	361
14.4	Klimaverträglich Schiff fahren und fliegen.....	363
14.4.1	Moderne Segelschiffahrt.....	363
14.4.2	Solarfähre am Bodensee.....	364
14.4.3	Höhenweltrekord mit Solarflugzeug	365
14.4.4	Mit dem Solarflugzeug um die Erde.....	366
14.4.5	Fliegen für Solarküchen	367
14.5	Alles wird erneuerbar.....	368
14.5.1	Ein Dorf wird unabhängig	368
14.5.2	Hybridkraftwerk für die sichere regenerative Versorgung	370
14.6	Alles wird gut.....	371
	Anhang.....	373
A.1	Energieeinheiten und Vorsatzzeichen	373
A.2	Geografische Koordinaten von Energieanlagen.....	374
A.3	Weiterführende Informationen im Internet	377
	Literatur	379
	Register.....	383

2 Klima vor dem Kollaps

Dass sich das Klima ändert, wissen wir eigentlich schon lange. Unzählige Eis- und Warmzeiten haben gezeigt, dass die Klimabedingungen auf der Erde ständigen Wechseln unterworfen sind. Für menschliche Zeithorizonte dauert ein Wechsel jedoch relativ lange. Etwa alle 100 000 Jahre kam es in der jüngeren Erdgeschichte zu Eiszeiten, die jeweils durch deutlich kürzere Warmzeiten unterbrochen waren. Unsere jetzige Warmzeit, das sogenannte Holozän, begann vor etwa 11 700 Jahren. Da die letzten Warmzeiten im Schnitt nur rund 15 000 Jahren andauerten, müssten wir eigentlich unweigerlich auf die nächste Eiszeit zusteuern.

Die genauen Ursachen für den Wechsel zwischen Warm- und Eiszeiten lassen sich nur bedingt rekonstruieren. Natürliche Effekte wie Veränderungen der Sonnenaktivität, Änderungen der Erdbahngeometrie, Vulkanismus, Änderungen von Meeresströmungen sowie Verschiebung der Kontinentalplatten gelten als Hauptursachen von Klimaänderungen. Kommen mehrere Ursachen zusammen, sind auch recht abrupte Änderungen möglich. Das belegt die Klimageschichte der Erde. Insofern ist die in jüngster Zeit beobachtete Erderwärmung nichts Ungewöhnliches. Außergewöhnlich ist nur, dass vermutlich erstmals Lebewesen der Erde einen abrupten Klimawandel verursachen – nämlich wir Menschen.

2.1 Es ist warm geworden – Klimaveränderungen heute

2.1.1 Immer schneller schmilzt das Eis

Nach der letzten Eiszeit haben sich die weltweiten Temperaturen um rund 3,5 Grad Celsius erhöht. Durch die Erwärmung und die abtauenden Eismassen sind die Meeresspiegel um über 120 Meter angestiegen. Heute dicht besiedelte Gebiete waren während der letzten Eiszeit durch meterhohe Eispanzer bedeckt und ehemals fruchtbare Landschaften sind seitdem im Meer versunken. Über die letzten 7000 Jahre waren die Klimabedingungen auf der Erde allerdings außerordentlich konstant. Die Meeresspiegel haben sich so gut wie gar nicht und die Temperaturen nur um wenige Zehntel Grad Celsius verändert. Diese Klimastabilität

war eine der wesentlichen Voraussetzungen dafür, dass sich die Menschheit weiterentwickeln konnte. Unsere Zivilisation mit ihren Siedlungsgebieten und landwirtschaftlichen Flächen hat sich auf die stabilen Bedingungen eingestellt. Zerstören wir diese Stabilität, wird das enorme Auswirkungen auf das Leben haben, wie wir es heute kennen.

Ein Blick auf die Entwicklung seit der letzten Eiszeit ist auch hilfreich, wenn es um die Einschätzung künftiger Temperaturveränderungen geht. Abbildung 2.1 zeigt, dass bereits relativ kleine Temperaturänderungen große Auswirkungen haben können. Eine Erwärmung von 1 Grad Celsius klingt für Viele erst einmal nicht sehr dramatisch. Setzt man das in Relation zu dem Temperaturanstieg seit der letzten Eiszeit, ist bereits dieser Wert mehr als bedenklich.

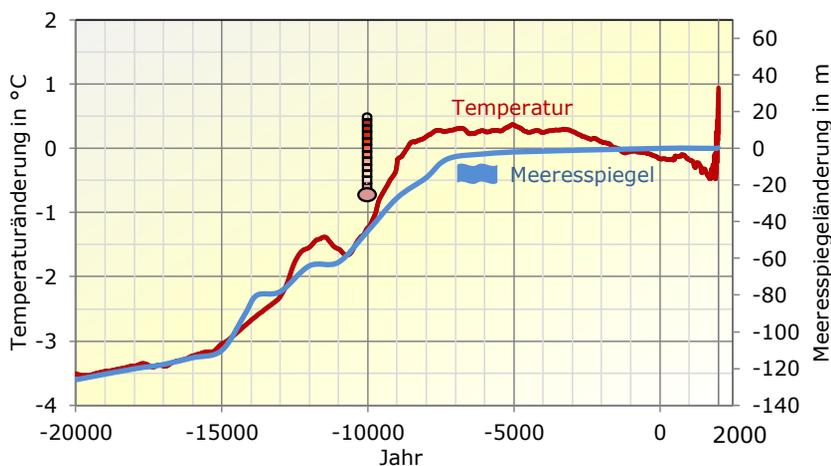


Abbildung 2.1 Temperatur- und Meeresspiegeländerung seit 20 000 v. Chr. bis 2016

Daten: [CDI16, Mar13, Sha12, Fle98], Zeitraum 1951-1980 entspricht null

Durch den Einfluss der Menschen ist die Temperatur in den letzten 100 Jahren bereits um rund 1 Grad Celsius angestiegen und der Anstieg beschleunigt sich immer mehr. Man braucht kein Klimaexperte zu sein, um zu erkennen, dass der jüngste Anstieg keine normale Entwicklung sein kann. Vor allem das vergleichsweise hohe Tempo des Temperaturanstiegs bereitet Klimaexperten Sorgen. Eine natürliche Erklärung gibt es für diesen extremen Anstieg nicht.

Kommt es zu weiteren starken Änderungen der Klimabedingungen, werden sie zweifellos das Gesicht der Erde und unsere heutigen Lebensbedingungen stärker verändern als dies selbst das dramatischste geschichtliche Ereignis der letzten Jahrtausende vermocht hat. Experten halten darum eine Erwärmung oberhalb von 1,5 bis 2 Grad Celsius für nicht vertretbar. Die Bekämpfung des vom Menschen gemachten Treibhauseffekts und der damit verbundenen Erwärmung ist damit vermutlich heute die mit Abstand wichtigste Aufgabe zum Erhalt der Lebensgrundlagen künftiger Generationen.



Beobachtete Klimaveränderungen [IPC07, EEA10, NOAA13]

- Die globale Oberflächentemperatur lag im Jahr 2016 bereits 0,94 Grad Celsius über dem Mittel von 1951 bis 1980.
- Die 2000er-Jahre waren die wärmste Dekade seit Beginn der Temperaturmessungen.
- Die Temperaturzunahme der letzten 50 Jahre ist doppelt so hoch wie die der letzten 100 Jahre. Die Erwärmung der Arktis erfolgte mehr als doppelt so schnell.
- Die Temperaturen der letzten 50 Jahre waren höher als jemals zuvor in den vergangenen 1300 Jahren.
- Weltweit schrumpfen die Gletscher sowie die Eisschilde auf Grönland und der Antarktis. Die Alpengletscher haben zwischen 1850 und 2010 bereits zwei Drittel ihres Volumens verloren.
- Die sommerliche arktische Meereisbedeckung ist von 7,5 Millionen Quadratkilometern im Jahr 1982 auf 3,5 Millionen Quadratkilometer im Jahr 2012 zurückgegangen.
- Der Meeresspiegel ist seit 1993 durchschnittlich um 3,1 Millimeter pro Jahr gestiegen, im 20. Jahrhundert insgesamt um 17 Zentimeter. Mehr als die Hälfte geht auf die thermische Ausdehnung der Meere zurück, etwa 25 Prozent auf Abschmelzen der Gebirgsgletscher und etwa 15 Prozent auf das Abschmelzen der arktischen Eisschilde.
- Die Häufigkeit von heftigen Niederschlägen hat zugenommen.
- Häufigkeit und Intensität von Dürren sind seit den 1970er-Jahren gestiegen.
- Die Häufigkeit von Temperaturextremen hat zugenommen.
- Die Intensität tropischer Wirbelstürme ist seit den 1970er-Jahren stärker geworden.

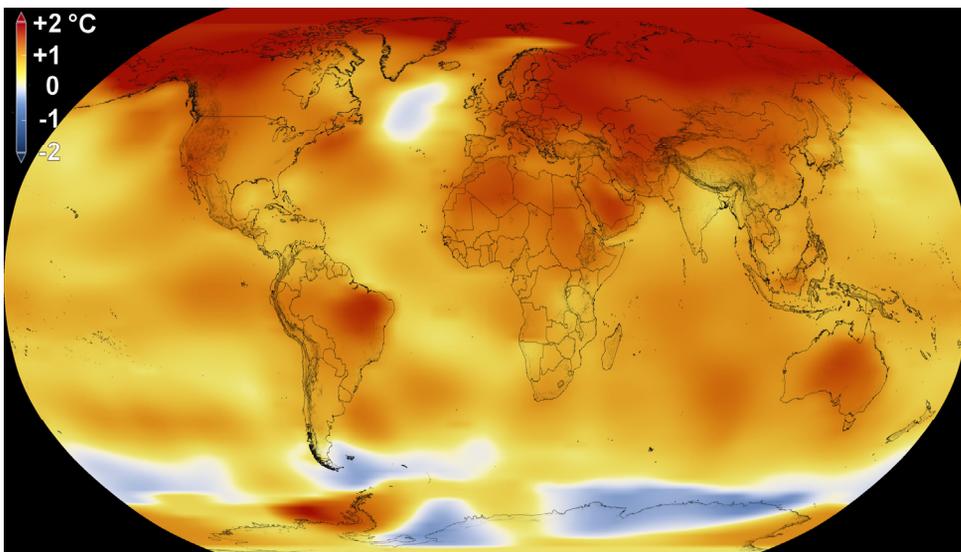


Abbildung 2.2 Temperaturänderung der Periode 2012-16 im Vergleich zum Mittelwert der Jahre 1951 bis 1980. Quelle: NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio, <http://svs.gsfc.nasa.gov>

Die globale Erwärmung erfolgt nicht auf allen Teilen der Erde gleichmäßig. Vor allem im Bereich der Arktis hat die Temperaturänderung stellenweise schon 2 Grad Celsius überschritten (*Abbildung 2.2*). Generell erwärmt auch das Land schneller als die Ozeane. Bei einer durchschnittlichen Erwärmung von mehr als 4 Grad Celsius könnten sich einige Gebiete auf dem Festland zu regelrechten Todeszonen entwickeln, in denen der Mensch wegen der enormen Hitze ohne technische Hilfsmittel nicht mehr lange überleben könnte.

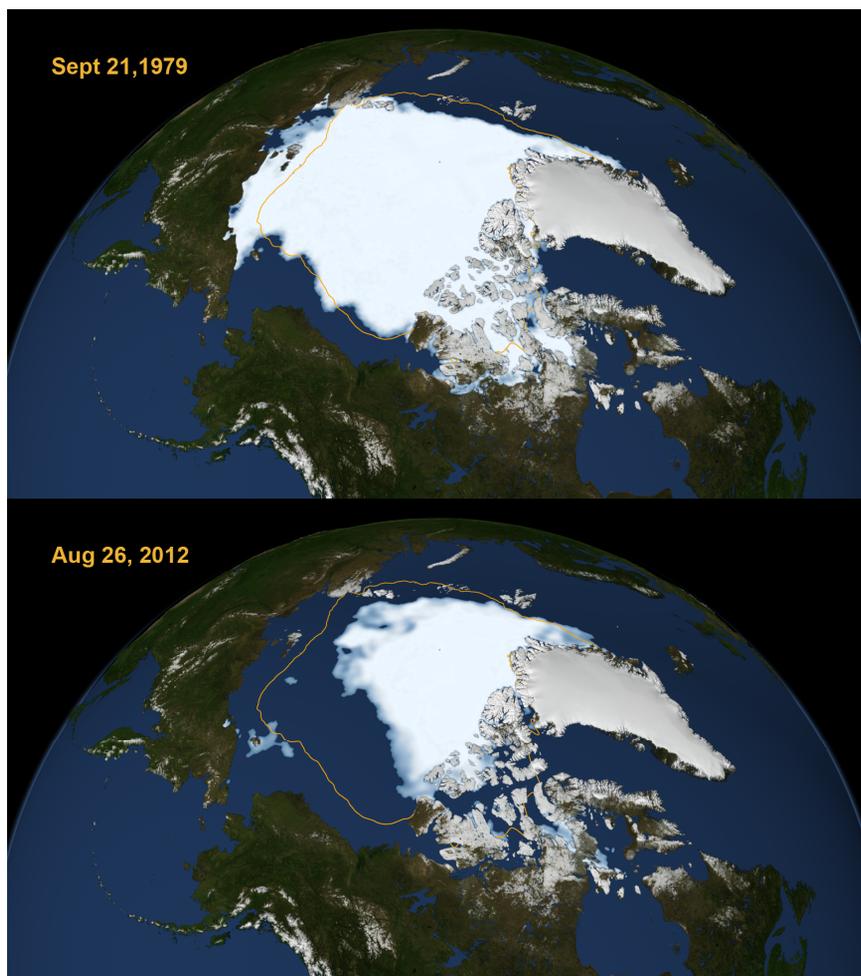


Abbildung 2.3 Sommerliche arktische Eisbedeckung für das Jahr 1979 (oben) und das Jahr 2012 (unten). Quelle: NASA, <http://svs.gsfc.nasa.gov>

Als Folge der Erwärmung dehnt sich das Wasser der Meere aus. Durch die Zunahme der Temperaturen schmelzen auch mehr und mehr arktisches Eis und das ewige Eis der Gletscher ab. Die Eisbedeckung des Meers in der Arktis ist innerhalb von 30 Jahren um über 50 Prozent zurückgegangen (*Abbildung 2.3*). Neben den Eismassen der Arktis schmelzen

auch viele Gletscher rasend schnell ab. Der größte Gletscher der Welt, der Bering-Gletscher in der Arktis Kanadas, ist während des letzten Jahrhunderts um mehr als 10 Kilometer geschrumpft. Von den Gebirgsgletschern in den Ostalpen ist bereits heute nur noch weniger als die Hälfte der Masse aus dem Jahr 1850 übrig.

Bislang sind die Meeresspiegel in den letzten 100 Jahren lediglich um rund 20 Zentimeter angestiegen. Sollte künftig das Festlandeis auf Grönland oder der Antarktis spürbar abschmelzen dürfte sich der Anstieg der Meeresspiegel aber spürbar beschleunigen.

2.1.2 Naturkatastrophen kommen häufiger

Mit den globalen Temperaturen nehmen auch die Wetterextreme zu. Größere Temperaturunterschiede verursachen heftigere Stürme, stärkere Regenfälle sowie häufigere Hochwasser und Überschwemmungen.

Bereits heute sind klima- und wetterbedingte Ereignisse die Hauptursache für Vertreibungen (*Abbildung 2.4*). Im Jahr 2016 mussten 23,5 Millionen Menschen weltweit vor Stürmen und Überschwemmungen fliehen. Zwischen 2008 und 2016 waren es sogar insgesamt 196 Millionen ^[iDMC¹⁷]. Ein Großteil der Menschen wird derzeit in Asien, Lateinamerika und der Karibik vertrieben. Darum werden diese Fluchtbewegungen in Europa momentan bestenfalls über die Nachrichten registriert. Bei steigenden Klimawandelfolgen dürfte aber auch Europa kaum vor diesen Bewegungen verschont bleiben. Steigen die Meeresspiegel durch die globale Erwärmung mittelfristig lediglich um einen Meter an, verlieren rund 100 Millionen Menschen dauerhaft ihre Heimat.

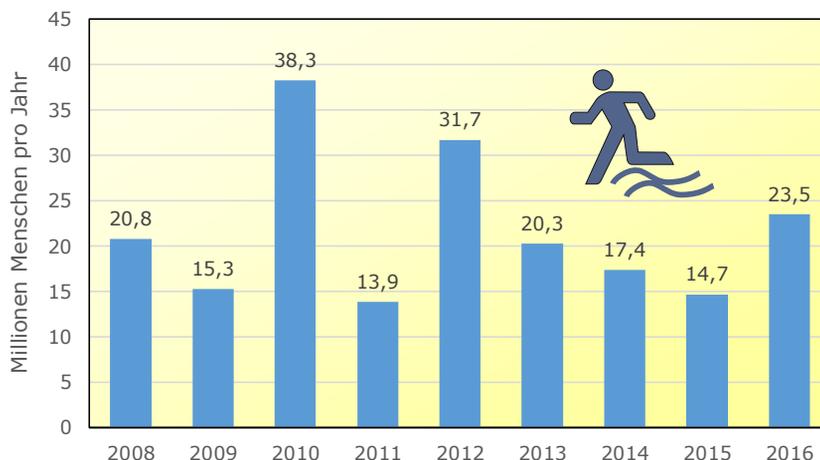


Abbildung 2.4 Anzahl der weltweit Vertriebenen durch klima- und wetterbedingte Naturkatastrophen wie Stürme und Überschwemmungen. Daten: iDMC ^[iDMC¹⁷]



Beispiele großer Naturkatastrophen

- Winter 1990: Die Orkane Daria, Herta, Vivian und Wiebke töteten 272 Menschen in Europa und richteten Schäden von 12,8 Milliarden Euro an.
- 29.04.1991: Eine Sturmflut als Folge des tropischen Zyklons Gorky erfasst Bangladesch. 138 000 Menschen sterben. Die materiellen Schäden sind mit 3 Milliarden Euro in dem armen Land vergleichsweise gering.
- 26.12.1999: Orkan Lothar verwüstet große Gebiete in Europa. 110 Menschen sterben. Die Schäden betragen 11,5 Milliarden Euro.
- August 2002: Ungewöhnlich starke Regenfälle mit bis zu 400 Litern pro Quadratmeter sorgen für heftige Überschwemmungen in Deutschland und einigen Nachbarländern. In Europa verlieren 230 Menschen ihr Leben und es gibt Schäden von 18,5 Milliarden Euro.
- August 2003: Die größte Hitzewelle in Europa seit Beginn der Klimaaufzeichnungen fordert 70 000 Menschenleben und verursacht Schäden in der Höhe von 13 Milliarden Euro.
- August 2005: Hurrikan Katrina wütet in den USA und zerstört die Stadt New Orleans. 1322 Menschen sterben. Der bislang teuerste Sturm aller Zeiten verursacht Schäden von 125 Milliarden US-Dollar (rund 95 Milliarden Euro).
- 18. Januar 2007: Der Orkan Kyrill fegt über Europa hinweg. Die Deutsche Bahn stellte erstmals in der Geschichte den kompletten Zugverkehr in Deutschland ein.
- Oktober 2010: Eine ungewöhnliche Dürre in Ostafrika verursacht dramatische Ernteausfälle. Rund 260 000 Menschen verhungern.
- Oktober 2012: Hurrikan Sandy verwüstet Teile der Karibik sowie der US-Ostküste und trifft auch ungewöhnlich weit nördlich New York hart. Insgesamt sterben 253 Menschen. Die Schäden betragen 66 Milliarden US-Dollar (rund 50 Milliarden Euro).
- Juni 2013: Elf Jahre nach der Jahrhundertflut von 2002 sorgen schon wieder extreme Niederschläge für massive Überschwemmungen und Rekordwasserstände in Deutschland, Österreich und Tschechien. Es gibt erneut Todesopfer und Milliardenbeschäden.
- Juli 2016: Extreme Niederschläge und Überschwemmungen verursachen in China Schäden in der Höhe von 20 Milliarden US-Dollar. 60 Millionen Menschen waren insgesamt betroffen, 237 sterben.
- September 2017: Die Hurrikane Harvey, Irma und Maria zerstören Teile der Karibik und die US-Metropole Houston. Die Schäden werden mit 215 Milliarden US-Dollar beziffert. 324 Menschen starben.
- Januar 2018: Der Orkan Friederike mit Windgeschwindigkeiten von bis über 200 km/h fordert 8 Todesopfer in Deutschland.

Auch die Zahl der Sachschäden nehmen nach Beobachtungen der Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft kontinuierlich zu. In Rekordjahren überstieg die weltweite Schadenssumme bereits 200 Milliarden Euro.

Alleine der Hurrikan Katrina, der im Jahr 2005 die US-amerikanische Stadt New Orleans verwüstete, richtete Schäden in einer Höhe von rund 125 Milliarden US-Dollar an und kostete 1300 Menschen das Leben (*s. auch Abbildung 2.5*). Im Jahr 2017 zerstörte der Hurrikan Harvey weitere Teile von Houston. Innerhalb weniger Tage fielen dort stellenweise

mehr als 1500 Liter Regen pro Quadratmeter. 200 000 Häuser wurden dabei beschädigt oder zerstört. Insgesamt wird mit Kosten von 85 Milliarden US-Dollar gerechnet.



Abbildung 2.5 Schäden durch Hurrikans in den USA. Fotos: US Department of Defense | Pixabay

Auch in Deutschland haben die Extremereignisse zugenommen. Beispiele in den letzten Jahren waren Starkregen und Überschwemmungen (*Abbildung 2.6*). Bei Vielen ist der Rekordhitzesommer im Jahr 2003 in Erinnerung geblieben. Durch große Hitzewellen sinken die Ernteerträge. Wegen der enormen Belastungen für den Körper und den Kreislauf steigt auch die Sterberate an. Im Sommer 2003 sind in Europa infolge der großen Hitze rund 70 000 Menschen mehr gestorben als in einem normalen Jahr. Schätzungsweise 7000 Hitzetote waren es allein in Deutschland.



Abbildung 2.6 Schäden durch Hochwasser und Unwetter in Deutschland.

Fotos: Wikimedia Commons - Stefan Penninger | Pixabay

Während momentan die finanziellen Schäden durch Naturkatastrophen zumindest in Deutschland noch überschaubar sind, rechnet man mit einem deutlichen Anstieg bis zum

Ende des Jahrhunderts. Bei einer ungebremsten globalen Erwärmung um 4,5 Grad Celsius errechnete das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung DIW Gesamtkosten des Klimawandels alleine für Deutschland von rund 3000 Milliarden Euro bis zum Jahr 2100 ^[Kem07].

2.2 Schuldiger gesucht – Gründe für den Klimawandel

2.2.1 Der Treibhauseffekt

Ohne den schützenden Einfluss der Atmosphäre würden auf der Erde Temperaturen von etwa -18 Grad Celsius herrschen. Wir säßen dann auf einem Eisplaneten.

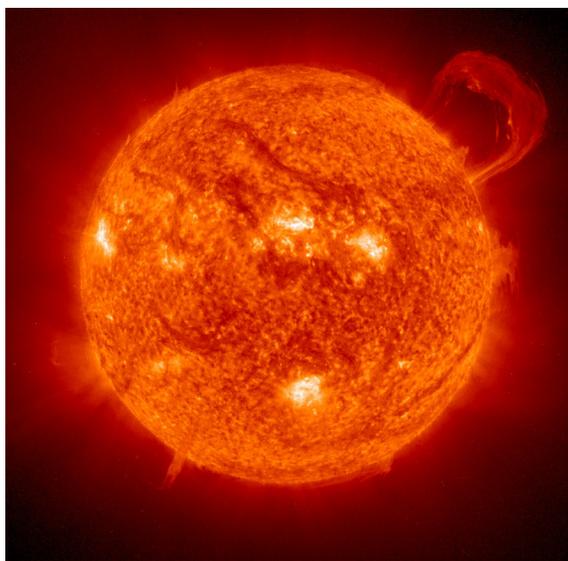


Abbildung 2.7 Veränderungen der Sonnenaktivität sind nur für einen kleinen Bruchteil der globalen Erwärmung verantwortlich. Bild: NASA

Verschiedene natürliche Spurengase in der Atmosphäre, wie Wasserdampf, Kohlendioxid oder Ozon verhindern, dass die Erde sämtliche eintreffende Sonnenenergie wieder ins Weltall abgibt. Einen Teil strahlen diese Gase wie in einem Treibhaus zur Erde zurück. Dieser natürliche Treibhauseffekt ist die Grundlage für das Leben auf unserer Erde. Dadurch hat sich heute eine mittlere Temperatur von etwa $+15$ Grad Celsius eingestellt.

Bei den Spurengasen in der Atmosphäre hat sich in den letzten Jahrtausenden ein Gleichgewicht gebildet, welches das Leben in der Form, wie wir es heute kennen, erst ermöglichte. Gründe für den beobachteten Klimawandel wurden bereits viele diskutiert. Lange Zeit haben Skeptiker den Klimawandel an sich in Frage gestellt. Nachdem heute niemand mehr wirklich ernsthaft behaupten kann, dass es nicht wärmer geworden ist, versuchen einige nun die Schuld auf natürliche Effekte zu schieben: Beispielsweise auf die Sonnenaktivität. Sie war in den vergangenen Jahrzehnten vermutlich größer als in allen 8000 Jahren zuvor.

Nachweislich hat sich tatsächlich die Strahlungsmenge, die die Erde erreicht, leicht erhöht. Wissenschaftler schließen aber aus, dass dies eine so starke Erwärmung verursachen kann. Bestenfalls ein Zehntel der beobachteten Temperaturzunahme geht auf die gestiegene Sonnenaktivität zurück.

Die plausibelste Ursache für die Erwärmung ist, dass sich durch menschliche Einflüsse die Anteile von Spurengasen signifikant verändert haben. Die Konzentration an Gasen, die nachweislich eine globale Erwärmung bewirken, hat in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen. Der Mensch verursacht also eine Verstärkung des natürlichen Treibhauseffekts. Dieser vom Menschen hervorgerufene Treibhauseffekt heißt auch anthropogener Treibhauseffekt (*Abbildung 2.10*). Sehr neu ist diese Theorie allerdings nicht.



Atmen wir das Klima kaputt?

Beim Ausatmen enthält die Atemluft rund 4 Prozent an Kohlendioxid – etwa hundertmal mehr als beim Einatmen. Pro Jahr pustet jeder damit rund 350 Kilogramm an Kohlendioxid in die Atmosphäre. Wenn wir ein Lagerfeuer entzünden und dabei Holz verbrennen, setzen wir damit ebenfalls Kohlendioxid frei. Pflanzen, Tiere und Menschen sind jedoch in einem biogeochemischen Kreislauf eingebunden. Der Mensch nimmt Kohlenhydrate zu sich und atmet Sauerstoff ein. Beide Stoffe setzt er in Kohlendioxid um, das er wieder ausatmet.

Pflanzen binden wiederum dieses Kohlendioxid und liefern unsere Kohlenhydrate. Kohlenhydrate sind organische Verbindungen aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff und werden in Pflanzen durch Photosynthese aufgebaut. Getreide und Nudeln bestehen zum Beispiel zu 75 Prozent aus Kohlenhydraten. Der Weizen in der italienischen Spaghettinudel hat vielleicht sogar das Kohlendioxid in Kohlenhydrate umgewandelt, das wir im letzten Urlaub ausgeatmet haben.

Wenn eine Pflanze verbrennt, verrottet oder eben als Kohlenhydratlieferant endet, entsteht dabei genauso viel Kohlendioxid wie diese zuvor aus der Luft entnommen hat. Die natürlichen Kreisläufe sind also CO₂-neutral und verursachen keinen Anstieg der Konzentration. Das gilt aber nicht für die Urlaubsfahrt nach Italien und den Transport der Spaghettinudel nach Deutschland.

2.2.2 Hauptverdächtiger Kohlendioxid

Bereits im Jahr 1896 rechnete der schwedische Wissenschaftler und Nobelpreisträger Svante Arrhenius erstmals vor, dass eine Verdoppelung des Kohlendioxidgehalts (CO₂) der Atmosphäre zu einer Temperaturerhöhung um 4 bis 6 Grad Celsius führen würde ^[Arr96]. Ein Zusammenhang der beobachteten Klimaerwärmung mit dem Kohlendioxidanstieg in Folge der Industrialisierung wurde in den 1930er-Jahren bereits diskutiert. Er war aber seinerzeit noch nicht eindeutig zu belegen.

Erst gegen Ende der 1950er-Jahre gelang der Nachweis, dass die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre ansteigt ^[Rah04]. Heute gilt als weitgehend bewiesen, dass die Zunahme der Kohlendioxidkonzentration die Hauptursache für die beobachtete Erwärmung ist.

Der Anstieg der Kohlendioxidkonzentration resultiert hauptsächlich aus der Nutzung fossiler Energien. Verbrennen wir fossile Energieträger, ist dies chemisch gesehen eine Oxi-

dation. Bei dieser Reaktion wird Wärme frei. Wir nutzen also den Effekt, dass bei der Verbindung des Kohlenstoffs von Erdöl, Erdgas oder Kohle mit dem Sauerstoff aus der Luft Wärme entsteht. Als Abfallprodukt erhalten wir dabei Kohlendioxid, und das in enorm großen Mengen: derzeit jährlich weit über 30 Milliarden Tonnen. Jeder einzelne Einwohner der Erde erzeugt pro Jahr im Durchschnitt rund 4500 Kilogramm. Das entsprechende Kohlendioxid füllt einen Würfel mit einer Seitenlänge von 13 Metern oder rund 2,3 Millionen Einliterflaschen.

Die Emissionen in den einzelnen Ländern sind dabei genau wie der Energieverbrauch höchst unterschiedlich (*Tabelle 2.1*). Während beispielsweise ein Einwohner der Demokratischen Republik Kongo gerade einmal 40 Kilogramm, also 0,04 Tonnen CO₂ pro Jahr auf die Waage bringt, fallen in China bereits fast 7 Tonnen pro Kopf an. In Deutschland sind es mehr rund 9 Tonnen, in den USA über 16 Tonnen. Würde man das Kohlendioxid, das die Deutschen pro Jahr erzeugen, über den Boden der gesamten Landesfläche verteilen, würde jeder Deutsche einen Meter tief im CO₂ versinken. Das Kohlendioxid der Demokratischen Republik Kongo über die Landesfläche verteilt würde den Boden hingegen nicht einmal einen Millimeter hoch bedecken.

Tabelle 2.1 Die zehn Länder der Erde mit den höchsten energiebedingten Kohlendioxidemissionen. Stand: Jahr 2015. Daten: IEA ^[IEA17]

Land	Mio. t CO ₂	Mio. Einw.	t CO ₂ / Einw.	Land	Mio. t CO ₂	Mio. Einw.	t CO ₂ / Einw.
1. China	9 041	1 371	6,59	6. Deutschland	730	82	8,93
2. USA	4 998	322	15,53	7. Südkorea	586	51	11,58
3. Indien	2 066	1 311	1,58	8. Iran	552	79	6,98
4. Russland	1 469	144	10,19	9. Kanada	549	36	15,32
5. Japan	1 142	127	8,99	10. Saudi Arabien	532	32	16,85
Welt	32 294	7 334	4,40	133. DR Kongo	3	77	0,04

Dabei können wir noch gar nicht so lange mit absoluter Sicherheit sagen, dass sich der Anteil von Kohlendioxid in der Atmosphäre jährlich vergrößert. Erst seit dem Jahr 1958 misst das Observatorium Mauna Loa auf der Pazifikinsel Hawaii kontinuierlich die Kohlendioxidkonzentrationen. Damals betrug die Konzentration 315,2 ppm, im Jahr darauf 315,8 ppm. Die Einheit ppm bedeutet dabei „parts per million“. Auf eine Million Teile Luft kamen also gerade einmal 315 Teile Kohlendioxid. Der kleine Anstieg im ersten Jahr hätte auch durch Messfehler oder natürliche Schwankungen verursacht werden können. Erst als in den Folgejahren die Werte stetig stiegen, war klar, dass der Anteil an Kohlendioxid zunimmt – und das mit wachsender Geschwindigkeit. Im Jahr 2017 stieg die CO₂-Konzentration bereits auf 407 ppm.

Doch selbst die enormen Kohlendioxidemissionen bei der Verbrennung fossiler Energieträger sind im Vergleich zur riesigen Atmosphäre verschwindend gering. Außerdem wird

ein Teil des Kohlendioxids von den Meeren und Pflanzen wieder absorbiert. Es stellt sich also die Frage, inwieweit unsere Emissionen überhaupt die Zusammensetzung der Atmosphäre verändern können.

Wenn wir bei der Nutzung fossiler Energieträger Stickstoff anstelle von Kohlendioxid erzeugen würden, wäre dies mit Sicherheit kein großes Problem. Denn unsere Luft besteht zu rund 78 Prozent aus Stickstoff, 21 Prozent aus Sauerstoff, aber nur zu einem Prozent aus anderen Gasen, von denen Kohlendioxid wiederum nur einen kleinen Teil ausmacht. Die Zusammensetzung der Luft war im Verlauf der Erdgeschichte keineswegs konstant. Aber über die letzten Jahrtausende hatte sich ein Gleichgewicht von weniger als 300 ppm eingestellt. Der Anteil von Kohlendioxid an der Atmosphäre war also geringer als 0,03 Prozent. Das ist aber auch der Grund, warum wir überhaupt relevante Veränderungen verursachen können. Kleine Mengen lassen sich nämlich vergleichsweise einfach erhöhen.

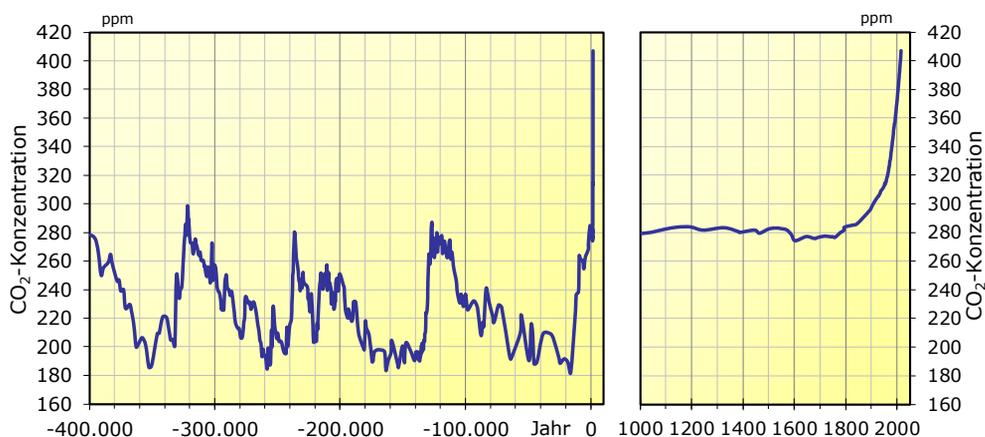


Abbildung 2.8 Entwicklung der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre über die letzten 400 000 Jahre und in jüngerer Vergangenheit. Daten: CDIAC, <http://cdiac.ornl.gov>

Um die Klimageschichte der letzten Jahrtausende untersuchen zu können, musste man sich einer anderen Idee bedienen. Die polaren und alpinen Eisschilde der Erde haben die Klimageschichte der Erde gespeichert. In den Regionen mit ewigem Eis gibt es jedes Jahr Neuschnee auf die Eisflächen. Zwischen den Schneekristallen befindet sich dabei auch jede Menge Luft. Die jährlich hinzukommenden Schneemassen erhöhen den Druck auf den Altschnee und pressen ihn schließlich zu reinem Eis. Die Luft entweicht dabei jedoch nicht völlig, sondern bleibt in kleinen Bläschen im Eis eingeschlossen. Diese lassen sich heute mit moderner Analysetechnik untersuchen. Die Ablagerung von Schnee und das Entstehen von Eis wiederholen sich jährlich mit einer für die Wissenschaft erfreulichen Regelmäßigkeit. Man muss also nur ein Loch in das Eis bohren und Eis aus der Tiefe holen. Somit hat man einen Zeitzeugen der Vergangenheit. Je tiefer man kommt, desto länger kann man in die Geschichte zurückblicken.



Register

A

Ablasshandel 92
Absorber 169, 206
 Beschichtung 174
 Schwimmbad 172
 selektiv 174
Absorptionswärmepumpe 289
Adsorptionswärmepumpe 289
alkalische Elektrolyse 335
Archimedes 201
arktische Eisbedeckung 46
Atombombe 23
Atomkraft 22, 104
Atomkraftwerk 24
Auftriebsprinzip 228
Aufwindkraftwerk 209
Auslegung
 Holzpelletslagerraum 322
 Photovoltaik 150
 Scheitholzkessel 320
 solare Heizungsunterstützung 190
 solare Trinkwassererwärmung 188
 Solarkraftwerke 212
 Solarthermieanlagen 187
 Wärmepumpe 291
 Wasserkraftwerke 264
 Windkraft 241
Ausrichtung Solaranlage 154
Autarkie 147, 157
Autobahn 117

B

BAFA 194, 324
Bahn 84
Barrel 19
Batterie 142, 148, 230

Batteriekapazität 152
Be- und Entlüftung 82
Beaufort-Windskala 226
Berechnung
 Batteriekapazität 152
 Größe des Erdwärmekollektors 291
 Holzpelletslagerraumgröße 322
 Kollektorgröße 189
 Kollektorwirkungsgrad 171
 Leistung des Windes 225
 Leistungszahl der Wärmepumpe 287
 Photovoltaikanlagenertrag 155
 Photovoltaikleistung 153
 PV-Leistung für Inselnetzsysteme 151
 Scheitholzkesselleistung 320
 Solarkraftwerksertrag 213
 Speichergröße 189
 Wasserkraftwerksleistung 265
 Windkraftjahresertrag 241
Betz'scher Leistungsbeiwert 227
BHKW 106
Biodiesel 315
Bioethanol 316
Biogas 319
Biogasanlage 319
Biomasse 113, 300
 Entstehung 301
 Heizungen 304
 Heizwerke 312
 Kraftwerke 312
 Märkte 328
 Nutzung in Deutschland 329
 Ökologie 325
 Ökonomie 323
 Potenziale 303
 Treibstoffe 314, 327
Bioöl 315
Biotreibstoffe 314, 327
Blockheizkraftwerke 106

Bohrturm 275
Bohrung
 Tiefengeothermie 274
 Wärmepumpe 293
Braunkohlekraftwerk Jänschwalde 99
Braunkohletagebau 100
Brennstoffzelle 341
Brennstoffzellenstacks 343
Bruttoinlandsprodukt 107
BtL-Kraftstoffe 318
Bypassdioden 139

C

C4-Pflanzen 303
Clean Development Mechanism 93
COP 287

D

Dämmung 81
Dampfpreformierung 335
direkt-normale Bestrahlungsstärke 213
Dish-Stirling-Kraftwerk 208
DNI 213
Dreiliterhaus 80, 349
Dünnschicht-Photovoltaikmodul 139

E

EEG 94
EE-Gas 332
Eigentümer erneuerbarer Energien 128
Eigenverbrauch 147, 157
Eisbedeckung 46
Eiszeit 43
Elektrizitätsversorgung 119
Elektroauto 117
Elektroherd 73
Elektrolyse 335
Emissionshandel 93
Endenergie 30, 72
Endenergieverbrauch 74
 Verkehr 84
Energie 14, 29, 72
Energiekonzerne 97, 127
Energiepolitik 127
Energiereserven 39
Energiesparen 71
Energiesparlampen 76, 92
Energiespartipps 78, 85
Energiewende 96
EnEV 80
Erdgas 20, 324
Erdgasspeicher 21, 339
Erdkern 272
Erdöl 17, 36, 324

Erdölbarrel 19
Erdölpreise 41
Erdölreserven 38
Erdwärmekollektor 291
Erneuerbare-Energien-Gesetz 94
 Biomassekraftwerke 325
 geothermische Kraftwerke 281
 Wasserkraft 267

F

FKW 56, 57, 296
Fenster 81
Festmeter 306
Fischtreppe 267
FKW 56, 58, 70, 296
Flachkollektor 173
Flatcon-Technologie 211
Flüssigwasserstoff 338
fossile Energieträger 16
fossile Stromerzeugung 127
Fotovoltaik *siehe* Photovoltaik
Fracking 37
Francis-Turbine 256
Fresnelkollektor 201
Fukushima 24

G

Gasherd 73
Geothermie 271
 HDR-Kraftwerk 279
 Heizwerk 276
 Kraftwerk 277
 Märkte 283
 Ökologie 282
 Ökonomie 281
 Wärmepumpe 285
geothermischer Tiefengradient 273
Gezeitenkraftwerke 262
globale Zirkulation 223
Goldisthal 261
Golfstrom 59, 63
Grönlandeis 59, 61
grüner Strom 73
GuD-Kraftwerke 106, 205

H

Hadley-Zelle 223
Halbleiter 132
Harrisburg 24
Häufigkeitsverteilung 242
Haushaltsstrompreise 125
HDR 275
Heizkosteneinsparungen 79
Heizwert von Holz 308

Helios 365
 Herstellung
 Biodiesel 316
 Bioethanol 316
 BtL-Kraftstoffe 318
 RME 316
 Solarzellen 136
 HFKW 296
 Hohlspiegel 201
 Holz 304
 Holzbriketts 305
 Holzfeuchte 307
 Holzpellets 305
 Heizung 310, 321
 Norm 306
 Preise 324
 Holzständerbauweise 81
 Hot Dry Rock 275, 279
 Hurrikan Katrina 48
 Hybridkraftwerk 370

I

IPCC 59

J

Jahresarbeitszahl 114, 287
 Jahresdauerlinie 265
 Joint Implementation 92

K

Kalina-Prozess 278
 Kalkar 24
 Kältemaschine 289
 Kältemittel 288, 296
 Kamin, Kaminofen 309
 Kammersysteme 262
 Kaplan-Turbine 255
 Karbonatschmelzen-Brennstoffzelle 343
 Kavernenspeicher 340
 Kernenergie 22, 105
 Kernenergieausstieg 105
 Kernfusion 26
 KfW-40-Haus 80
 KfW-60-Haus 80
 Kleinwindkraftanlagen 234
 Klimaschutz 63, 69
 Klimaveränderungen 43
 Klimawandel 59
 Knallgasreaktion 331
 Kohlendioxid 51, 56, 103, 335
 Abtrennung 103
 Bilanz 87
 Konzentration 52, 53
 Sequestrierung 102

Kohlendioxidemissionen
 Deutschland 67
 Heizung 88
 Kraftwerk Jänschwalde 100
 Kraftwerk Neurath 101
 Länder der Erde 52
 Nahrungsmittel 89
 Papierverbrauch 90
 Spritverbrauch 85
 Verkehr 84
 Wasserstoffherstellung 345
 kohlendioxidfreie Kraftwerke 103
 Kollektor 169, 172, 201
 Kollektorgröße 189
 Kollektorwirkungsgrad 171
 Kombikraftwerk 121
 Kompressionswärmepumpe 288
 kontrollierte Be- und Entlüftung 82
 konventionelle Vorkommen 35
 Konzentration von Solarstrahlung 200
 Konzentrator 201
 Konzentrazorzellen 211
 konzentrierende Photovoltaik 210
 Kraftstofftertrag je Hektar 327
 Kraft-Wärme-Kopplung 106
 Kraftwerk
 Atom 24, 104
 Aufwind 209
 Biomasse 312
 Blockheiz 106
 Braunkohle 99
 Dish-Stirling 208
 Geothermie 277
 Gezeiten 262
 HDR 279
 Jänschwalde 99
 kohlendioxidfreies 103
 Kombi 121
 konzentrierende Photovoltaik 210
 Laufwasser 257
 Meeresströmung 263
 Neurath 100
 ORC 277
 Parabolrinnen 202
 Photovoltaik 140
 Pumpspeicher 260
 SEGS 204
 Solarturm 206
 Speicherwasser 259
 Wellen 262
 Wind 221
 Kurzschlussstrom 135
 Kværner-Verfahren 335
 KWK 106
 Kyoto-Protokoll 68

L

Lachgas 56
Laufwasserkraftwerke 257
Leerlaufspannung 135
Leistung 14
Leistungsbeiwert 227
Leistungszahl 287
Leitungen 123
LH2 338
Linienkonzentrator 201
Lithosphäre 273
Luftkollektor 174
Luftreceiver 206

M

Manhattan-Projekt 23
Märkte
 Biomasse 328
 Geothermie 283
 Photovoltaik 164
 Solarkraftwerke 217
 Solarthermieranlagen 195
 Wärmepumpe 298
 Wasserkraft 268
 Wasserstoff 346
 Windkraft 247
Maximum Power Point 135
Meeresspiegelanstieg 45, 59, 60
Meeresströmungskraftwerke 263
Mehrwertsteuer 162
Methan 56, 332
 Speicherung 338
Methanisierung 336
Modulpreisentwicklung 166
monokristallines Silizium 137
MPP 135

N

Naturkatastrophen 48
Neigungsgewinne 154
Netze 123
Netzparität 161
nicht-konventionelle Vorkommen 35, 36
Niedrigenergiehaus 80
Nullemissionsfabrik 355
Nullheizkostenhaus 353
Nutzenergie 30, 72

O

offener Kamin 308
Offshore-Windkraft 237
Ökologie
 Biomasse 325
 Geothermie 282

Photovoltaik 163
Solarkraftwerke 216
Solarthermieranlagen 194
Wärmepumpe 296
Wasserkraft 267
Wasserstoffherstellung 345
Windkraft 246

Ökonomie

Biomasse 323
geothermische Anlagen 281
Photovoltaik 158
Solarkraftwerke 215
Solarthermieranlagen 193
Wärmepumpe 294
Wasserkraft 266
Wasserstoff 344
Windkraft 243

Ölkrise 18

Ölparität 161
Ölpreise 41, 324
Ölsande 36
OPEC 18, 40
ORC-Kraftwerk 277
Orkan Kyrill 48
Oxidation, partielle 335
oxidkeramische Brennstoffzelle 343
oxygene Photosynthese 301
Ozon 57
 Ozonloch 57, 58
 Ozonschicht 57

P

Parabolrinnenkraftwerk 202
partielle Oxidation 335
Passatwind 223
Passivhaus 80
Pelton-Turbine 256
PEM-Brennstoffzelle 342
Performance Ratio 155
petrothermale Geothermie 279
Photosynthese 301
Photovoltaik 130
 Autarkiegrad 147, 157
 Dünnschichtmodul 139
 Eigenverbrauchsanteil 147, 157
 Energiewende 119
 Funktionsweise 131
 Heizungsunterstützung 150
 Inselnetzanlagen 140
 Konzentratorzellen 211
 Märkte 164
 Modul 138
 Modulpreisentwicklung 166
 Netzanschluss 146
 netzgekoppelte Anlagen 143

netzgekoppeltes Batteriesystem 148
 Ökologie 163
 Ökonomie 158
 optimale Ausrichtung 154
 Wirkungsgrad 134
 Planung
 Biomasseheizung 323
 geothermische Anlagen 280
 Photovoltaik 150
 Photovoltaikanlage 158, 163
 Scheitholzessel 320
 solare Heizungsunterstützung 190
 solare Trinkwassererwärmung 188
 Solarkraftwerke 212
 Solarthermieanlagen 187
 Wärmepumpe 291, 294
 Wasserkraftwerke 264
 Windkraft 241
 Plugin-Hybridfahrzeug 358
 Plusenergiehaus-Siedlung 351
 Plusenergie-Solarhaus 350
 polykristalline Solarzellen 137
 Porenspeicher 339
 Power-to-Gas-Technologie 114, 332
 PR 155
 Primärenergie 30, 72
 Primärenergiebedarf
 Biomasseanteil 328
 Energieträger 31
 Entwicklung weltweit 26
 Pro-Kopf 29, 107
 Pro-Kopf-Primärenergiebedarf 29, 107
 Pumpspeicherkraftwerke 260
 Punktkonzentrator 202
 PV *siehe* Photovoltaik
 PVC 172

R

Rapsöl-Methylester 316
 Raummeter 306
 Receiver 206
 Reduktionsziele 63
 regenerative Stromversorgung 118, 120, 121
 regenerative Wärmeversorgung 113
 regenerativer Stromimport 220
 regeneratives Energieangebot 109
 Reserven 35
 Ressourcen 35
 Rinnenkraftwerk 202
 RME 316
 Rohöleinheit 373
 Rohr-Turbine 255
 Rotorblatt 228
 Rundholz 305

S

Scheitholz 305
 Scheitholzessel 309, 320
 schneller Brutreaktor 25
 Schüttraummeter 306
 Schwerkraftsystem 178
 Schwimmbadabsorber 172
 Schwimmbaderwärmung 186
 Schwimmersysteme 262
 Segelschiffahrt 363
 SEGS-Kraftwerke 204
 Sektorkopplung 112, 118
 selektive Beschichtung 174
 selektiver Absorber 174
 Silizium 136
 SoDa-Energie 32
 solar beheiztes Mehrfamilienhaus 352
 Solar Impulse 366
 Solarabsorber 169
 Solarauto 359
 solare Chemie 211
 solare Deckungsrate 188, 191
 solare Direktverdampfung 205
 solare Heizungsunterstützung 181, 190
 solare Nahwärmeversorgung 184
 solare Schwimmbaderwärmung 186
 solare Strahlungsenergie
 Deutschland 153
 Welt 212
 solare Trinkwassererwärmung 180, 188
 solares Kühlen 184
 Solarfähre 364
 Solarflugzeug 365
 Solargas 332
 Solarkocher 187
 Solarkollektor 169, 172
 Solarkraftwerke 199
 Aufwindkraftwerke 209
 Dish-Stirling-Kraftwerk 208
 konzentrierende Photovoltaik 210
 Märkte 217
 Ökologie 216
 Ökonomie 215
 Parabolrinnenkraftwerk 202
 Photovoltaik 143
 Planung 212
 Solarturmkraftwerk 206
 Solarküche 367
 Solarmobil 358
 Solarstrahlungsarten 213
 Solarstromimport 220
 Solarthermieanlagen 168, 202
 Auslegung 187
 Heizungsunterstützung 181
 Kraftwerke 199

- Märkte 195
- Ökologie 194
- Ökonomie 193
- Planung 187
- Trinkwassererwärmung 180
- Solarturmkraftwerk 206
- Solarzelle
 - Aufbau 133
 - Funktionsweise 131
 - Herstellung 136
 - Wirkungsgrad 134
- Sonnenaktivität 50
- Sonnenenergie 109
- Sonnenofen 200, 211
- Sonnenschiff 354
- Speicher
 - Batterie 142, 148, 230
 - Erdgas 123, 339
 - Heizwasser 150, 181
 - Holzpellets 321
 - Kavernen 340
 - Methan 338
 - Parabolrinnenkraftwerk 203
 - Poren 339
 - Pufferspeicher 320
 - Pumpspeicher 260
 - Speicherwasser 259
 - Trinkwasser 150, 180, 181, 189
 - Wasserstoff 337
 - zentraler Wärmespeicher 184
- Speichergröße 189
- Speicherwasserkraftwerke 259
- Stadtgas 332
- Standardtestbedingungen 135
- Standby-Verluste 75
- STC 135
- Steinkohleeinheit 373
- Stirling-Motor 208
- Stratosphäre 57
- Stromerzeugung 127
- Stromerzeugungskosten
 - Photovoltaik 160
 - Windkraft 245
- Stromexport 127
- Stromimport 220
- Strompreise 125
- Strömungsverlauf, Windkraftanlage 227
- Stromverbrauch 77
- Stromversorgung 118, 120, 123

T

- tektonische Platten 273
- Temperaturänderung 45, 54, 59
- Thermosiphonanlage 179
- Tiefenbohrung 274

- Tiefengeothermie *siehe* Geothermie
- Tiefengradient 273
- Tiefentemperaturen 274
- Transport 83
- Treibhauseffekt 50
- Treibhausgase 58
- Treibhauspotenziale
 - Kältemittel 296
 - Treibhausgase 56
- Trinkwassererwärmung 180, 188
- Tschernobyl 24
- Turbine
 - Bulb 255
 - Francis 256
 - Kaplan 255
 - Ossberger 257
 - Pelton 256
 - Rohr 255
- Turmkraftwerk 206

U

- Übertragungsnetz 123
- Umsatzsteuer 162
- Untertagespeicher 339
- Uranvorkommen 39
- U-Wert 82

V

- Vakuumdämmstoffe 81
- Vakuum-Flachkollektor 176
- Vakuum-Röhrenkollektor 175
- Vakuumverglasungen 82
- Verkehr 115
- Verkehrssektor 83, 115
- Verteilnetz 123
- volumetrischer Receiver 206

W

- Wafer 137
- Wärmepumpe 114, 285
 - Absorption 289
 - Adsorption 289
 - Funktionsprinzip 288
 - Kältemittel 288
 - Kompression 288
 - Leistungszahl 287
 - Märkte 298
 - Ökologie 296
 - Ökonomie 294
 - Wärmequellen 286
- Wärmequellen für Wärmepumpen 286
- Wärmerohr 176
- Wärmestrahlung 174
- Wärmetauscher 176

- Wärmeverluste 81
 - Wärmeversorgung 112, 113
 - Warmzeit 43
 - Wasserkochen 73
 - Wasserkraft 251
 - Gezeitenkraftwerke 262
 - Laufwasserkraftwerke 257
 - Märkte 268
 - Meeresströmungskraftwerke 263
 - Ökologie 267
 - Ökonomie 266
 - Pumpspeicherkraftwerke 260
 - Speicherwasserkraftwerke 259
 - Turbinen 254
 - Wellenkraftwerke 262
 - Wasserkreislauf der Erde 252
 - Wasserstoff 333
 - Ökologie 345
 - Ökonomie 344
 - Speicherung 337
 - Wasserturbinen 254
 - Wellenkraftwerke 262
 - Weltbevölkerung 108
 - Widerstandsprinzip 227
 - Wind 223
 - Windgas 332
 - Windgeschwindigkeit 224, 242
 - Windgeschwindigkeitsrekorde 226
 - Wind-Inselsystem 230
 - Windkraft 221
 - Anlagenaufbau 232
 - Auftriebsprinzip 228
 - Auslegung 241
 - Energiewende 119
 - Märkte 247
 - netzgekoppelte Anlagen 231
 - Offshore 237
 - Ökologie 246
 - Ökonomie 243
 - Planung 241
 - Windlader 229
 - Windlader 229
 - Windpark 236
 - Wirkungsgrad
 - Biomassekraftwerk 314
 - Biomassewachstum 302
 - Brennstoffzelle 343
 - Dampfturbinenprozess 205
 - Kamine und Kaminöfen 308
 - Kollektor 171
 - Methanisierung 337
 - offener Kamin 308
 - ORC-Kraftwerk 278
 - Photovoltaik 134
 - Scheitholzkessel 309
 - World Solar Challenge 359
- Z**
- Zugdrachen 363