

Volker Quaschnig

# Erneuerbare Energien und Klimaschutz

Hintergründe  
Techniken  
Anlagenplanung  
Wirtschaftlichkeit



HANSER



# Inhalt

<b>1</b>	<b>Unser Hunger nach Energie</b> .....	<b>13</b>
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 – gespaltene Energie .....	21
1.1.5	Das Jahrhundert der fossilen Energieträger .....	25
1.2	Energiebedarf – wer was wo wie viel verbraucht.....	26
1.3	Die SoDa-Energie .....	30
1.4	Energievorräte – Reichtum auf Zeit .....	33
1.5	Das Ende der Spaltung.....	35
1.6	Heutige Ölpreise – Politik, Angebot und Nachfrage .....	36
<b>2</b>	<b>Klima vor dem Kollaps?</b> .....	<b>38</b>
2.1	Es ist warm geworden – Klimaveränderungen heute .....	38
2.1.1	Langsam schmilzt das Eis.....	38
2.1.2	Naturkatastrophen kommen häufiger.....	41
2.2	Schuldiger gesucht – Gründe für den Klimawandel .....	43
2.2.1	Der Treibhauseffekt.....	43
2.2.2	Hauptverdächtiger Kohlendioxid.....	44
2.2.3	Andere Übeltäter .....	49
2.3	Aussichten und Empfehlungen – was kommt morgen?.....	51
2.3.1	Wird es in Europa bitterkalt?.....	53
2.3.2	Empfehlungen für einen wirksamen Klimaschutz .....	56
2.4	Schwere Geburt – Politik und Klimawandel .....	56
2.4.1	Deutsche Klimapolitik.....	56
2.4.2	Klimapolitik international.....	58
2.5	Selbsthilfe zum Klimaschutz.....	60
<b>3</b>	<b>Vom Energieverschwenden zum Energie- und Kohlendioxidsparen</b> .....	<b>61</b>
3.1	Wenig effizient – Energiever(sch)wendung heute.....	61

3.2	Privater Energiebedarf – zu Hause leicht gespart.....	65
3.2.1	Private Elektrizität – viel Geld verschleudert.....	65
3.2.2	Wärme – fast ohne heizen durch den Winter.....	68
3.2.3	Transport – mit weniger Energie weiterkommen .....	73
3.3	Industrie und Co – schuld sind doch nur die anderen.....	76
3.4	Die eigene Kohlendioxidbilanz.....	77
3.4.1	Direkt selbst verursachte Emissionen.....	77
3.4.2	Indirekt verursachte Emissionen .....	78
3.4.3	Gesamtemissionen.....	81
3.5	Ökologischer Ablasshandel.....	82
<b>4</b>	<b>Kohlendioxidfreie Energieversorgung – Vision oder Utopie? .....</b>	<b>85</b>
4.1	Optionen einer kohlendioxidfreien Energieversorgung .....	86
4.1.1	Effiziente Kraftwerke – mehr Strom mit weniger Kohlendioxid.....	86
4.1.2	Kohlendioxidsequestrierung – weg mit dem Kohlendioxid .....	87
4.1.3	Atomkraft – strahlend sauber .....	89
4.1.4	Kraft-Wärme-Kopplung – Brennstoff doppelt genutzt.....	90
4.1.5	Energiesparen – mit weniger mehr erreichen .....	91
4.2	Regenerative Energiequellen – Angebot ohne Ende .....	93
4.3	Wege zum Klimaschutz .....	94
4.3.1	Runter mit dem Primärenergiebedarf.....	95
4.3.2	Stromerzeugung ganz ohne atomare und fossile Kraftwerke .....	97
4.3.3	Dämmung und regenerative Energien zur Wärmeversorgung.....	98
4.3.4	Effizienzsteigerung und neue Konzepte für den Verkehr.....	99
4.4	Sichere Versorgung mit regenerativen Energien.....	100
<b>5</b>	<b>Photovoltaik – Strom aus Sand .....</b>	<b>102</b>
5.1	Aufbau und Funktionsweise.....	103
5.1.1	Elektronen, Löcher und Raumladungszonen .....	103
5.1.2	Wirkungsgrad, Kennlinien und der MPP.....	105
5.2	Herstellung von Solarzellen – vom Sand zur Zelle .....	108
5.2.1	Siliziumsolarzellen – Strom aus Sand .....	108
5.2.2	Von der Zelle zum Modul .....	110
5.2.3	Dünnschichtsolarzellen .....	111
5.3	Photovoltaikanlagen – Netze und Inseln .....	112
5.3.1	Sonneninseln .....	112
5.3.2	Sonne am Netz .....	115
5.4	Planung und Auslegung.....	119
5.4.1	Geplant am Netz.....	119
5.4.2	Geplante Inseln.....	124
5.5	Ökonomie .....	125
5.5.1	Was kostet sie denn? .....	126
5.5.2	Förderprogramme.....	127
5.5.3	Es geht auch ohne Mehrwertsteuer.....	128
5.6	Ökologie .....	130
5.7	Photovoltaikmärkte .....	131

5.8	Ausblick und Entwicklungspotenziale .....	132
<b>6</b>	<b>Solarthermieanlagen – mollig warm mit Sonnenlicht.....</b>	<b>134</b>
6.1	Aufbau und Funktionsweise .....	136
6.2	Solarkollektoren – Sonnensammler .....	138
6.2.1	Schwimmbadabsorber .....	138
6.2.2	Flachkollektoren .....	139
6.2.3	Luftkollektoren .....	140
6.2.4	Vakuum-Röhrenkollektor .....	141
6.3	Solarthermische Anlagen .....	143
6.3.1	Warmes Wasser von der Sonne .....	143
6.3.1.1	Schwerkraftsysteme .....	143
6.3.1.2	Systeme mit Zwangsumlauf .....	145
6.3.2	Heizen mit der Sonne .....	147
6.3.3	Solare Siedlungen .....	148
6.3.4	Kühlen mit der Sonne .....	149
6.3.5	Schwimmen mit der Sonne .....	150
6.3.6	Kochen mit der Sonne .....	151
6.4	Planung und Auslegung .....	152
6.4.1	Solarthermische Trinkwassererwärmung .....	153
6.4.1.1	Grobauslegung .....	153
6.4.1.2	Detaillierte Auslegung .....	154
6.4.2	Solarthermische Heizungsunterstützung .....	155
6.5	Ökonomie .....	157
6.5.1	Wann rechnet sie sich denn? .....	157
6.5.2	Förderprogramme .....	159
6.6	Ökologie .....	159
6.7	Solarthermiemärkte .....	160
6.8	Ausblick und Entwicklungspotenziale .....	162
<b>7</b>	<b>Solkraftwerke – noch mehr Kraft aus der Sonne.....</b>	<b>163</b>
7.1	Konzentration auf die Sonne .....	164
7.2	Solare Kraftwerke .....	166
7.2.1	Parabolrinnenkraftwerke .....	166
7.2.2	Solarturmkraftwerke .....	170
7.2.3	Dish-Stirling-Kraftwerke .....	172
7.2.4	Aufwindkraftwerke .....	173
7.2.5	Konzentrierende Photovoltaikkraftwerke .....	174
7.2.6	Solare Chemie .....	175
7.3	Planung und Auslegung .....	176
7.3.1	Konzentrierende solarthermische Kraftwerke .....	177
7.3.2	Aufwindkraftwerke .....	178
7.3.3	Konzentrierende Photovoltaikkraftwerke .....	179
7.4	Ökonomie .....	179
7.5	Ökologie .....	180
7.6	Solkraftwerksmärkte .....	181

7.7	Ausblick und Entwicklungspotenziale .....	182
<b>8</b>	<b>Windkraftwerke – luftiger Strom.....</b>	<b>185</b>
8.1	Vom Winde verweht – woher der Wind kommt .....	186
8.2	Nutzung des Windes .....	189
8.3	Anlagen und Parks .....	193
8.3.1	Windlader.....	193
8.3.2	Netzgekoppelte Windkraftanlagen .....	195
8.3.3	Windparks .....	198
8.3.4	Offshore-Windparks.....	200
8.4	Planung und Auslegung .....	203
8.5	Ökonomie .....	205
8.6	Ökologie .....	208
8.7	Windkraftmärkte.....	210
8.8	Ausblick und Entwicklungspotenziale .....	211
<b>9</b>	<b>Wasserkraftwerke – nasser Strom .....</b>	<b>213</b>
9.1	Anzapfen des Wasserkreislaufs.....	214
9.2	Wasserturbinen .....	216
9.3	Wasserkraftwerke .....	219
9.3.1	Laufwasserkraftwerke .....	219
9.3.2	Speicherwasserkraftwerke.....	221
9.3.3	Pumpspeicherkraftwerke .....	222
9.3.4	Gezeitenkraftwerke .....	224
9.3.5	Wellenkraftwerke.....	224
9.3.6	Meeresströmungskraftwerke .....	225
9.4	Planung und Auslegung .....	226
9.5	Ökonomie .....	228
9.6	Ökologie .....	229
9.7	Wasserkraftmärkte.....	230
9.8	Ausblick und Entwicklungspotenziale .....	232
<b>10</b>	<b>Geothermie – tiefgründige Energie .....</b>	<b>233</b>
10.1	Anzapfen der Erdwärme .....	234
10.2	Geothermieheizwerke und Geothermiekraftwerke.....	238
10.2.1	Geothermische Heizwerke .....	238
10.2.2	Geothermische Kraftwerke.....	239
10.2.3	Geothermische HDR-Kraftwerke.....	241
10.3	Planung und Auslegung .....	242
10.4	Ökonomie .....	243
10.5	Ökologie .....	244
10.6	Geothermiemärkte.....	245
10.7	Ausblick und Entwicklungspotenziale .....	246
<b>11</b>	<b>Wärmepumpen – aus kalt wird heiß.....</b>	<b>247</b>
11.1	Wärmequellen für Niedertemperaturwärme.....	247

11.2	Funktionsprinzip von Wärmepumpen .....	250
11.2.1	Kompressionswärmepumpen.....	250
11.2.2	Absorptionswärmepumpen und Adsorptionswärmepumpen .....	251
11.3	Planung und Auslegung .....	253
11.4	Ökonomie.....	256
11.5	Ökologie.....	258
11.6	Wärmepumpenmärkte .....	260
11.7	Ausblick und Entwicklungspotenziale .....	261
<b>12</b>	<b>Biomasse – Energie aus der Natur.....</b>	<b>262</b>
12.1	Entstehung und Nutzung von Biomasse .....	263
12.2	Biomasseheizungen.....	266
12.2.1	Brennstoff Holz .....	266
12.2.2	Kamine und Kaminöfen .....	270
12.2.3	Scheitholzkessel .....	271
12.2.4	Holzpelletsheizungen .....	272
12.3	Biomasseheizwerke und Biomassekraftwerke .....	274
12.4	Biotreibstoffe .....	276
12.4.1	Bioöl.....	277
12.4.2	Biodiesel.....	277
12.4.3	Bioethanol .....	278
12.4.4	BtL-Kraftstoffe.....	280
12.4.5	Biogas.....	281
12.5	Planung und Auslegung .....	282
12.5.1	Scheitholzkessel .....	282
12.5.2	Holzpelletsheizung .....	283
12.6	Ökonomie.....	285
12.7	Ökologie.....	287
12.7.1	Feste Brennstoffe.....	287
12.7.2	Biotreibstoffe.....	289
12.8	Biomassemärkte .....	290
12.9	Ausblick und Entwicklungspotenziale .....	291
<b>13</b>	<b>Wasserstoffwirtschaft und Brennstoffzellen .....</b>	<b>293</b>
13.1	Energieträger Wasserstoff.....	294
13.1.1	Herstellung von Wasserstoff .....	295
13.1.2	Speicherung und Transport von Wasserstoff.....	297
13.2	Hoffnungsträger Brennstoffzelle.....	298
13.3	Ökonomie.....	301
13.4	Ökologie.....	302
13.5	Märkte, Ausblick und Entwicklungspotenziale.....	303
<b>14</b>	<b>Sonnige Aussichten – Beispiele für eine nachhaltige Energieversorgung ....</b>	<b>305</b>
14.1	Klimaverträglich wohnen.....	305
14.1.1	Kohlendioxidneutrales Standardfertighaus.....	306
14.1.2	Plusenergie-Solarhaus .....	307

14.1.3	Plusenergiehaus-Siedlung .....	308
14.1.4	Heizen nur mit der Sonne .....	309
14.1.5	Null Heizkosten nach Sanierung .....	310
14.2	Klimaverträglich arbeiten und produzieren .....	311
14.2.1	Büros und Läden im Sonnenschiff .....	311
14.2.2	Nullemissionsfabrik .....	312
14.2.3	Kohlendioxidfreie Schwermaschinenfabrik .....	312
14.3	Klimaverträglich Auto fahren .....	313
14.3.1	Abgasfreie Elektropower .....	314
14.3.2	Weltumrundung im Solarmobil .....	315
14.3.3	In dreiunddreißig Stunden quer durch Australien .....	316
14.3.4	Game over CO <sub>2</sub> ! .....	317
14.4	Klimaverträglich Schiff fahren und fliegen .....	318
14.4.1	Moderne Segelschiffahrt .....	318
14.4.2	Solarfähre am Bodensee .....	319
14.4.3	Höhenweltrekord mit Solarflugzeug .....	320
14.4.4	Mit dem Solarflugzeug um die Erde .....	321
14.4.5	Fliegen für Solarküchen .....	322
14.5	Kohlendioxidfreier Strom für die Insel .....	324
14.6	Alles wird gut .....	325
<b>Anhang .....</b>		<b>326</b>
A.1	Energieeinheiten und Vorsatzzeichen .....	326
A.2	Geografische Koordinaten von Energieanlagen .....	327
A.3	Weiterführende Informationen im Internet .....	329
<b>Literatur .....</b>		<b>330</b>
<b>Register .....</b>		<b>333</b>



# 1 Unser Hunger nach Energie

Wer kennt sie nicht, die TV-Kultserie Raumschiff Enterprise. Dank ihr wissen wir bereits heute, dass man sich in nicht allzu ferner Zukunft aufmachen wird, die unendlichen Weiten des Weltraums zu erforschen. Die Energiefrage ist dann bereits längst gelöst. Der im Jahr 2063 erfundene Warptrieb liefert unbegrenzt Energie, mit der Captain Kirk sein Raumschiff Enterprise mit Überlichtgeschwindigkeit zu neuen Abenteuern steuern kann. Energie ist im Überfluss vorhanden, auf der Erde herrschen Friede und Wohlstand und Umweltprobleme gibt es nicht mehr. Doch vollkommen gefahrlos ist auch diese Art der Energieversorgung nicht. Einen Warpkerbruch schaut man sich am besten aus sicherer Entfernung an, wie seinerzeit den Super-GAU eines antiken Kernkraftwerks. Und auch das Warpplasma ist eine nicht ganz ungefährliche Materie, wie der regelmäßige Fernsehserienzuschauer aus Erfahrung zu berichten weiß.

Leider – oder manchmal auch zum Glück – sind die Fiktionen der Traumfabriken weit vom wirklichen Leben entfernt. Die Erfindung des Warptriebs erscheint aus heutiger Sicht recht unwahrscheinlich, auch wenn dies eingefleischte Star-Trek-Fans anders sehen mögen. Derzeit ist man noch nicht einmal ansatzweise in der Lage, die vergleichsweise simple Kernfusion zu beherrschen. Somit muss zur Lösung unseres Energieproblems auf heute bekannte und auch funktionierende Techniken mitsamt ihren Problemen zurückgegriffen werden.

In der Realität hatte die Energienutzung schon immer spürbare Einflüsse auf die Umwelt. Die aus heutiger Sicht mangelhafte Verbrennung von Holz und die damit verbundenen gesundheitsschädlichen Abgase rund um die Feuerstätten haben beispielsweise die Lebenserwartung unserer Ahnen deutlich reduziert. Eine schnell steigende Weltbevölkerung, zunehmender Wohlstand und der damit verbundene Energiehunger haben den Bedarf an Energie sprunghaft ansteigen lassen. Waren die durch den Energiebedarf ausgelösten Umweltprobleme bislang stets regional begrenzt, haben die Auswirkungen unseres Energiehungers mittlerweile eine globale Dimension erreicht. Das globale Klima droht chaotische Verhältnisse anzunehmen. Unser Energieverbrauch ist dabei Hauptauslöser der weltweiten Klimaerwärmung. Resignation oder Furcht sind aber die falschen Antworten auf die immer größer werdenden Probleme. Es gibt Alternativen zur heutigen Energieversorgung. Es ist möglich, eine langfristig sichere und bezahlbare Energieversorgung aufzubauen, die nur

minimale und beherrschbare Umweltauswirkungen haben wird. Dieses Buch beschreibt, wie diese Energieversorgung aussehen muss und welchen Beitrag jeder Einzelne leisten kann, damit wir doch noch gemeinsam das Klima retten können. Zuerst ist es aber erforderlich, die Ursachen der heutigen Probleme näher zu betrachten.

### 1.1 Energieversorgung – gestern und heute

---

#### 1.1.1 Von der französischen Revolution bis ins 20. Jahrhundert

Zu Zeiten der französischen Revolution, also gegen Ende des 18. Jahrhunderts war in Europa die tierische Muskelkraft die wichtigste Energiequelle. Damals standen 14 Millionen Pferde und 24 Millionen Rinder mit einer Gesamtleistung von rund 7,5 Milliarden Watt als Arbeitstiere zur Verfügung <sup>[Köni99]</sup>. Dies entspricht immerhin der Leistung von mehr als 100 000 Mittelklasseautos.



#### Leistung und Energie oder anders herum

Die Begriffe Leistung und Energie hängen untrennbar zusammen. Obwohl alle die Unterschiede schon mal im Physikunterricht gehört haben sollten, werden beide Begriffe gerne verwechselt und fehlerhaft verwendet.

Die *Energie* ist die gespeicherte Arbeit, also die Möglichkeit Arbeit zu verrichten. Energie heißt auf Englisch „energy“ und trägt das Formelzeichen *E*. Die Arbeit heißt auf Englisch „work“ und wird mit dem Formelzeichen *W* abgekürzt.

Die *Leistung* (engl.: „power“, Formelzeichen: *P*) gibt an, in welcher Zeit die Arbeit verrichtet oder die Energie verbraucht wird.

$$P = \frac{W}{t} \quad \left( \text{Leistung} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}} \right)$$

Wenn zum Beispiel eine Person einen Eimer Wasser hochhebt, ist dies eine Arbeit. Durch die verrichtete Arbeit wird die Lageenergie des Wassereimers vergrößert. Wird der Eimer doppelt so schnell hochgehoben, ist die benötigte Zeit geringer, die Leistung ist doppelt so groß, auch wenn die Arbeit die gleiche ist.

Die Einheit der Leistung ist Watt (Abkürzung: W). Für die Abkürzung der Einheit Watt wird der gleiche Buchstabe wie für das Formelzeichen der Arbeit verwendet, was die Unterscheidung nicht gerade erleichtert.

Die Einheit der Energie ist Wattsekunde (Ws) oder Joule (J). Daneben werden noch andere Einheiten verwendet. *Anhang A.1* beschreibt eine Umrechnung zwischen verschiedenen Energieeinheiten.

Da die benötigten Leistungen und Energien oft sehr groß sind, werden häufig Vorsatzzeichen wie Mega (M), Giga (G), Tera (T), Peta (P) oder Exa (E) verwendet (vgl. *Anhang A.1*).

Das zweite Standbein der damaligen Energieversorgung war Brennholz, und zwar mit strategischer Bedeutung. Heute geht man davon aus, dass die Verlagerung des Machtzentrums aus dem Mittelmeerraum in die Gebiete nördlich der Alpen unter anderem auf den dortigen Waldreichtum und die damit verbundenen Energiepotenzialen zurückzuführen ist. Während die islamische Welt noch bis ins 15. Jahrhundert auf der iberischen Halbinsel eine Vormachtstellung bewahren konnte, schwand ihr Einfluss unter anderem durch Holzmangel. Es fehlte zunehmend an Brennholz zum Einschmelzen von Metall für Schiffskanonen und andere Waffen. Energiekrisen sind also nicht erst eine Erfindung des späten 20. Jahrhunderts.



**Abbildung 1.1** Brennholz, Arbeitstiere, Wind- und Wasserkraft deckten noch im 18. Jahrhundert weitgehend die weltweite Energieversorgung

Neben Muskelkraft und Brennholz wurden bis in die Anfänge des 20. Jahrhunderts auch andere erneuerbare Energien intensiv genutzt. Ende des 18. Jahrhunderts waren in Europa zwischen 500 000 und 600 000 Wassermühlen im Einsatz. Die Windkraftnutzung fand vor allem in flachen Gegenden mit hohem Windangebot Verbreitung. In den vereinigten Niederlanden waren zum Beispiel Ende des 17. Jahrhunderts rund 8 000 Windmühlen in Betrieb.

Fossile Energieträger waren lange Zeit nur von untergeordneter Bedeutung. Steinkohle aus Lagerstätten unter der Erdoberfläche war als Energieträger zwar durchaus bekannt, wurde jedoch weitgehend gemieden. Erst als der Mangel an Holz in einigen Gebieten Europas zu Energieengpässen führte, begann man, die Kohlevorkommen zu erschließen. Die höhere Energiedichte der Steinkohle erwies sich außerdem vorteilhaft bei der Stahlherstellung. Somit ließ sich ihr Vormarsch nicht mehr bremsen. Während um das Jahr 1800 noch 60 Prozent der Steinkohle in Haushalten für Heizzwecke diente, überwog bereits 40 Jahre später der Einsatz in Eisenhütten und in der Produktion.



### Fossile Energieträger – gespeicherte Sonnenenergie

Fossile Energieträger sind konzentrierte Energieträger, die in sehr langen Zeiträumen aus tierischen oder pflanzlichen Überresten entstanden sind. Zu den fossilen Energieträgern zählen Erdöl, Erdgas, Steinkohle, Braunkohle und Torf. Die Ausgangsstoffe fossiler Energieträger konnten nur durch Umwandlung von Sonnenstrahlung über Jahrmillionen entstehen. Somit sind fossile Energieträger also eine Form von gespeicherter Sonnenenergie.

Chemisch gesehen basieren fossile Energieträger auf organischen Kohlenstoff-Verbindungen. Bei der Verbrennung mit Sauerstoff entsteht daher nicht nur Energie in Form von Wärme, sondern immer auch das Treibhausgas Kohlendioxid sowie weitere Verbrennungsprodukte.

Um 1530 förderten Kohlebergwerke in Großbritannien ungefähr 200 000 Tonnen, um 1750 etwa 5 Millionen Tonnen und im Jahr 1854 bereits 64 Millionen Tonnen. Hauptkohleförderländer waren neben Großbritannien die USA und Deutschland, die um das Jahr 1900 einen Anteil von 80 Prozent an der Weltproduktion besaßen <sup>[Köni99]</sup>.



### Erneuerbare Energien – gar nicht so neu

Die Vorkommen an fossilen Energieträgern wie Erdöl, Erdgas oder Kohle sind begrenzt. Sie werden in einigen Jahrzehnten verbraucht und damit einfach weg sein. Erneuerbare Energieträger „erneuern“ sich hingegen von selbst. Entzieht ein Wasserkraftwerk beispielsweise einem Fluss die Kraft des Wassers, hört dadurch der Fluss nicht auf zu fließen. Der Energiegehalt des Flusses erneuert sich von selbst, indem die Sonne Wasser verdunstet und der Regen den Fluss wieder speist.

Erneuerbare Energien werden auch als regenerative Energien oder alternative Energien bezeichnet. Andere erneuerbare Energieformen sind beispielsweise Windenergie, Biomasse, Erdwärme oder Sonnenenergie. Auch die Sonne wird in rund 4 Milliarden Jahren einmal erloschen sein. Verglichen mit den wenigen Jahrzehnten, die uns noch fossile Energieträger zur Verfügung stehen, ist dieser Zeitraum aber unendlich groß.

Übrigens werden erneuerbare Energien durch die Menschheit bereits wesentlich länger genutzt als fossile Energieträger, obwohl zwischen traditionellen und heutigen Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien technologische Quantensprünge liegen. Neu sind erneuerbare Energien deshalb dennoch nicht – nur die Erkenntnis, dass erneuerbare Energien langfristig die einzige Option für eine sichere und umweltverträgliche Energieversorgung sind.

Ende des 20. Jahrhunderts stieg die weltweite Kohleförderung schließlich auf annähernd 4 Milliarden Tonnen an. Die Kohleförderung in Deutschland und in Großbritannien hat mit einem Anteil von unter drei Prozent am Weltmarkt ihre einstige Vormachtstellung verloren. Kraftwerke zur Stromerzeugung nutzen heute einen Großteil der Kohle. Hauptförderländer sind derzeit mit deutlichem Abstand China und die USA.

### 1.1.2 Die Epoche des schwarzen Goldes

Wie Kohle besteht Erdöl aus Umwandlungsprodukten von tierischen und pflanzlichen Stoffen, der Biomasse der Urzeit. Über einen Zeitraum von Millionen von Jahren lagerten sich Plankton und andere Einzeller in wenig durchlüfteten Meeresbecken ab und wurden eingeschlossen. Aufgrund von Sauerstoffmangel konnten sie sich nicht zersetzen. Chemische Umwandlungsprozesse machten aus ihnen schließlich Erdöl und Erdgas. Die ursprünglich eingelagerte Biomasse hat wiederum ihren Ursprung in der Sonne, sodass die fossilen Energieträger wie Kohle, Erdöl oder Erdgas nichts anderes als Langzeitkonserven der Sonnenenergie sind. Die ältesten Öllagerstätten sind etwa 350 Millionen Jahre alt. Das Gebiet um den Persischen Golf, wo heute das meiste Öl gefördert wird, lag noch vor 10 bis 15 Millionen Jahren vollständig unter dem Meeresspiegel.

Die Erschließung von Erdölvorkommen erfolgte wesentlich später als die der Steinkohlevorkommen. Heute kaum mehr vorstellbar, doch lange Zeit mangelte es an sinnvollen Anwendungen für den flüssigen Energieträger. Anfangs schmierte man Erdöl auf die Haut, um Hauterkrankungen zu heilen. Seine leichte Entzündlichkeit im Vergleich zu Stein- und Holzkohle gaben Erdöl den Ruf eines äußerst gefährlichen Brennstoffs. In kleinen Mengen wurde Erdöl bereits vor Jahrtausenden als Heil- und Beleuchtungsmittel verwendet. Die Petroleumlampe und später die Erfindung von Verbrennungsmotoren brachten Ende des 19. Jahrhunderts schließlich den Durchbruch.

Der eigentliche Beginn der industriellen Mineralölförderung war im August 1859. In diesem Jahr stieß der Amerikaner Edwin L. Drake in der Nähe von Titusville im amerikanischen Bundesstaat Pennsylvania bei einer Bohrung in etwa 20 Metern Tiefe auf Erdöl. Besonders ein Name verbindet sich mit der weiteren Erdölförderung in Amerika: John Davison Rockefeller. Er gründete 1862 im Alter von 23 Jahren eine Erdölfirma, aus der die Standard Oil und später die Exxon Corporation hervorgingen, und vereinigte große Bereiche der amerikanischen Ölwirtschaft.

Es dauerte dennoch bis ins 20. Jahrhundert hinein, bis fossile Energieträger und speziell das Erdöl den Energiemarkt beherrschten. Im Jahr 1860 wurden weltweit gerade einmal 100 000 Tonnen Öl gefördert. 1895 waren es bereits 14 Millionen Tonnen. Nach einer Gewerbestatistik des Deutschen Reichs aus dem Jahr 1895 waren 18 362 Windmotoren, 54 529 Wassermotoren, 58 530 Dampfmaschinen und 21 350 Verbrennungskraftmaschinen im Einsatz <sup>[Gas05]</sup>. Die Hälfte der Antriebsaggregate wurde selbst damals noch mit regenerativen Energieträgern betrieben.



# Register

## A

Ablasshandel 82  
Absorber 135, 170  
    Schwimmbad 138  
    selektiv 140  
Absorberbeschichtung 140  
Absorptionswärmepumpe 251  
Adsorptionswärmepumpe 251  
alkalische Elektrolyse 296  
Archimedes 165  
arktische Eisbedeckung 40  
Atombombe 22  
Atomkraft 21, 89, 96  
Atomkraftwerk 23  
Auftriebsprinzip 192  
Aufwindkraftwerk 173  
Auslegung  
    Holzpelletslagererraum 284  
    Photovoltaik 119  
    Scheitholzkessel 282  
    solare Heizungsunterstützung 155  
    solare Trinkwassererwärmung 153  
    Solarkraftwerke 176  
    Solarthermieanlagen 152  
    Wärmepumpe 253  
    Wasserkraftwerke 226  
    Windkraft 203  
Ausrichtung  
    Photovoltaikanlage 121

## B

BAFA 159, 286  
Bahn 74  
Barrel 19  
Batteriekapazität 125  
Be- und Entlüftung 72

Beaufort-Windskala 190  
Berechnung  
    Batteriekapazität 125  
    Größe des Erdwärmekollektors 253  
    Holzpelletslagererraumgröße 284  
    Kollektorgröße 154  
    Kollektorwirkungsgrad 137  
    Leistung des Windes 189  
    Leistungszahl der Wärmepumpe 249  
    Photovoltaikanlagenertrag 122  
    Photovoltaikleistung 119  
    PV-Leistung für Inselnetzsysteme 124  
    Scheitholzkesselleistung 282  
    Solarkraftwerksertrag 177  
    Speichergröße 154  
    Wasserkraftwerksleistung 227  
    Windkraftjahresertrag 204  
Betz'scher Leistungsbeiwert 191  
BHKW 90  
Biodiesel 277  
Bioethanol 278  
Biogas 281  
Biogasanlage 281  
Biomasse 262  
    Entstehung 263  
    Heizungen 266  
    Heizwerke 274  
    Kraftwerke 274  
    Märkte 290  
    Ökologie 287  
    Ökonomie 285  
    Potenziale 265  
    Treibstoffe 276, 289  
Biomassenutzung in Deutschland 291  
Bioöl 277  
Biotreibstoffe 276, 289  
Blockheizkraftwerke 90  
Bohrturm 237  
Bohrung

Tiefengeothermie 236  
Wärmepumpe 255  
Braunkohlekraftwerk Jämschwalde 86  
Brennstoffzelle 298, 325  
Brennstoffzellenstacks 300  
Bruttoinlandsprodukt 91  
BtL-Kraftstoffe 280  
Bypassdioden 111

### C

C4-Pflanzen 265  
Clean Development Mechanism 82  
COP siehe Leistungszahl 249

### D

Dämmung 71  
Dampfreformierung 295  
DIN plus 267  
direkt-normale Bestrahlungsstärke 177  
Dish-Stirling-Kraftwerk 172  
DNI 177  
Dreiliterhaus 70, 306  
Dünnschicht-Photovoltaikmodul 111

### E

EEG 83  
effiziente Kraftwerke 86  
Eisbedeckung 40  
Eiszeit 38  
Elektroauto 314  
Elektroherd 63  
Elektrolyse 296  
Emissionshandel 83  
Endenergie 28, 62  
Endenergieverbrauch 64  
Verkehr 74  
Energie 14, 27, 62  
Energie-Effizienz-Klasse 67  
Energiereserven 34  
Energiesparen 61  
Energiesparlampen 66, 82  
Energiespartipps 68, 74  
EnEV 69, 70  
Erdgas 20, 286  
Erdgasspeicher 20  
Erdkern 234  
Erdöl 17, 33, 286  
Erdölbarrel 19  
Erdölpreise 37  
Erdölreserven 33  
Erdwärmekollektor 253  
Erneuerbare Energien Gesetz 83  
Erneuerbare-Energien-Gesetz  
Biomassekraftwerke 287

Geothermische Kraftwerke 243  
Photovoltaik 128  
Wasserkraft 229  
Windkraft 207

### F

FCKW 49, 50, 258  
Fenster 71  
Festmeter 268  
Fischtreppe 229  
FKW 49, 51, 60, 258  
Flachkollektor 139  
Flatcon-Technologie 175  
Flüssigwasserstoff 297  
fossile Energieträger 16, 85  
Fotovoltaik siehe Photovoltaik 102  
Francis-Turbine 218  
Fresnelkollektor 165

### G

Gasherd 63  
Geothermie 233  
HDR-Kraftwerk 241  
Heizwerk 238  
Kraftwerk 239  
Märkte 245  
Ökologie 244  
Ökonomie 243  
Wärmepumpe 247  
geothermischer Tiefengradient 235  
Gezeitenkraftwerke 224  
globale Zirkulation 187  
Goldisthal 223  
Golfstrom 52, 55  
Grönlandeis 52, 53  
grüner Strom 64  
GuD-Kraftwerke 90, 169

### H

Hadley-Zelle 187  
Halbleiter 104  
Harrisburg 23  
Häufigkeitsverteilung 205  
HDR siehe Hot Dry Rock 237  
Heat Pipe 142  
Heizkosteneinsparungen 69  
Heizwert  
Holz 270  
Helios 321  
Herstellung  
Biodiesel 278  
Bioethanol 278  
BtL-Kraftstoffe 280  
RME 278

Solarzellen 108  
 Wasserstoff 295  
 HFKW 258  
 Hohlspiegel 165  
 Holz 266  
 Holzbriketts 267  
 Holzfeuchte 269  
 Holzpellets 267  
   Norm 268  
   Preise 286  
 Holzpelletsheizung 272, 283  
 Holzständerbauweise 70  
 Hot Dry Rock 237  
   Kraftwerk 241  
 Hurrikan Katrina 41, 42

**I**

IPCC 52

**J**

Jahresarbeitszahl 249  
 Jahresdauerlinie 227  
 Joint Implementation 82

**K**

Kalina-Prozess 240  
 Kalkar 24  
 Kältemaschine 251  
 Kältemittel 250, 258  
 Kamin 271  
 Kaminofen 271  
 Kammersysteme 224  
 Kaplan-Turbine 217  
 Karbonatschmelzen-Brennstoffzelle 300  
 Kernenergie 22, 89, 96  
 Kernfusion 25  
 KfW-40-Haus 70  
 KfW-60-Haus 70  
 Klimaschutz 56, 60  
 Klimaveränderungen 38  
 Klimawandel 52  
 Knallgasreaktion 293  
 Kohlendioxid 44, 49, 88, 295  
   Abtrennung 88  
 Kohlendioxidbilanz 77  
 Kohlendioxidemissionen  
   Bilanz 78  
   Deutschland 57  
   Heizung 77  
   Länder der Erde 45  
   Nahrungsmittel 79  
   Papierverbrauch 80  
   Spritverbrauch 75  
   Verkehr 74

Wasserstoffherstellung 302  
 Kohlendioxidfreie Kraftwerke 88  
 Kohlendioxidkonzentration 45, 46  
 Kohlendioxidsequestrierung 87  
 Kollektor 135, 138, 165  
 Kollektorgröße 154  
 Kollektorwirkungsgrad 137  
 Kombikraftwerk 100  
 Kompressionswärmepumpe 250  
 kontrollierte Be- und Entlüftung 72  
 Konzentration von Solarstrahlung 164  
 Konzentrator 165  
 Konzentratorzellen 175  
 konzentrierende Photovoltaik 174  
 Kraftstofftrag je Hektar 289  
 Kraft-Wärme-Kopplung 90  
 Kraftwerk  
   Atom 23, 89  
   Aufwind 173  
   Biomasse 274  
   Blockheiz 90  
   Braunkohle 86  
   Dish-Stirling 172  
   Geothermie 239  
   Gezeiten 224  
   HDR 241  
   Jänschwalde 86  
   kohlendioxidfreies 88  
   Kombi 100  
   konzentrierende Photovoltaik 174  
   Laufwasser 219  
   Meeresströmung 225  
   Neurath 87  
   ORC 239  
   Parabolrinnen 166  
   Photovoltaik 112  
   Pumpspeicher 222  
   SEGS 168  
   Solarturm 170  
   Speicherwasser 221  
   Wellen 224  
   Wind 185  
 Kurzschlussstrom 107  
 Kværner-Verfahren 295  
 KWK 90  
 Kyoto-Protokoll 58

**L**

Lachgas 49  
 Laufwasserkraftwerke 219  
 Leerlaufspannung 107  
 Leistung 14  
 Leistungsbeiwert 191  
 Leistungszahl 249  
 LH2 siehe Flüssigwasserstoff 297

Linienkonzentrator 165  
Lithosphäre 235  
Luftkollektor 140  
Luftreceiver 170

### M

Manhattan-Projekt 22, 23  
Märkte  
    Biomasse 290  
    Geothermie 245  
    Photovoltaik 131  
    Solarkraftwerke 181  
    Solarthermieranlagen 160  
    Wärmepumpe 260  
    Wasserkraft 230  
    Wasserstoff 303  
    Windkraft 210  
Maximum Power Point 107  
Meeresspiegelanstieg 39, 52, 53  
Meeresströmungskraftwerke 225  
Mehrwertsteuer 128  
Methan 49  
Modulpreisentwicklung 132  
monokristallines Silizium 109  
MPP 107  
MPP-Spannung 107  
MPP-Strom 107

### N

Nachführung von PV-Modulen 116  
Naturkatastrophen 41, 42  
Neigungsgewinne 121  
Niedrigenergiehaus 70  
Nullemissionsfabrik 312  
Nullheizkostenhaus 310  
Nutzenergie 28, 62

### O

offener Kamine 270  
Offshore-Windkraft 200  
Ökologie  
    Biomasse 287  
    Geothermie 244  
    Photovoltaik 130  
    Solarkraftwerke 180  
    Solarthermieranlagen 159  
    Wärmepumpe 258  
    Wasserkraft 229  
    Wasserstoffherstellung 302  
    Windkraft 208  
Ökonomie  
    Biomasse 285  
    Geothermische Anlagen 243  
    Photovoltaik 125

Solarkraftwerke 179  
Solarthermieranlagen 157  
Wärmepumpe 256  
Wasserkraft 228  
Wasserstoff 301  
Windkraft 205  
Ölkrise 18  
Ölpreise 37, 286  
OPEC 18, 36  
ORC-Kraftwerk 239  
Orkan Kyrill 42  
Oxidation  
    partielle 295  
oxidkeramische Brennstoffzelle 300  
oxygene Photosynthese 263  
Ozon 49, 50  
Ozonschicht 50

### P

Parabolrinnenkraftwerk 166  
partielle Oxidation 295  
Passatwind 187  
Passivhaus 70  
Pelton-Turbine 218  
PEM-Brennstoffzelle 300  
Performance Ratio 122  
petrothermale Geothermie 241  
Photosynthese 263  
Photovoltaik 102  
    Dünnschichtmodul 111  
    Funktionsweise 103  
    Inselnetzanlagen 112  
    Konzentratorzellen 175  
    Märkte 131  
    Modulpreisentwicklung 132  
    Netzanschluss 119  
    netzgekoppelte Anlagen 115  
    Ökologie 130  
    Ökonomie 125  
    optimale Ausrichtung 121  
    Wirkungsgrad 106  
Photovoltaikmodul 110  
Planung  
    Biomasseheizung 285  
    geothermische Anlagen 242  
    Photovoltaik 119  
    Photovoltaikanlage 123, 129  
    Scheitholzkessel 282  
    solare Heizungsunterstützung 155  
    solare Trinkwassererwärmung 153  
    Solarkraftwerke 176  
    Solarthermieranlagen 152  
    Wärmepumpe 253, 256  
    Wasserkraftwerke 226  
    Windkraft 203

Plugin-Hybridfahrzeug 314  
 Plusenergiehaus-Siedlung 308  
 Plusenergie-Solarhaus 307  
 polykristalline Solarzellen 109  
 PR siehe Performance Ratio 122  
 Primärenergie 28, 62  
 Primärenergiebedarf  
   Biomasseanteil 290  
   Energieträger 29  
   Entwicklung weltweit 26  
   Klimaschutzszenario 95  
   Pro-Kopf 27, 91  
   Transportsektor 99  
   Wärmeversorgung 98  
 Pro-Kopf-Primärenergiebedarf 27, 91  
 Pumpspeicherkraftwerke 222  
 Punktkonzentrator 166  
 PV siehe Photovoltaik 102  
 PVC 138

## R

Raummeter 268  
 Receiver 170  
 Reduktionsziele 56  
 regenerative Stromversorgung 97, 100  
 regenerativer Stromimport 96, 184  
 regeneratives Energieangebot 93  
 Rinnenkraftwerk 166  
 RME siehe Rapsöl-Methylester 278  
 Rohöleinheit 326  
 Rohr-Turbine 217  
 Rotorblatt 192  
 Rundholz 267

## S

Schäden durch Naturkatastrophen 41  
 Scheitholz 267  
 Scheitholzkessel 271, 282  
 schneller Brutreaktor 24  
 Schüttraummeter 268  
 Schwerkraftsystem 143  
 Schwimmbadabsorber 138  
 Schwimmbaderwärmung 151  
 Schwimmersysteme 224  
 Segelschiffahrt 318  
 SEGS-Kraftwerke 168  
 selektive Beschichtung 140  
 selektiver Absorber 140  
 Silizium 108  
 SoDa-Energie 30  
 solar beheiztes Mehrfamilienhaus 309  
 Solar Impulse 321  
 Solarabsorber 135  
 Solarauto 316

solare Chemie 175  
 solare Deckungsrate 153, 156  
 solare Direktverdampfung 169  
 solare Heizungsunterstützung 147, 155  
 solare Nahwärmeversorgung 149  
 solare Schwimmbaderwärmung 151  
 solare Strahlungsenergie  
   Deutschland 120  
   Welt 176  
 solare Trinkwassererwärmung 146, 153  
 solares Kühlen 149  
 Solarfahre 319  
 Solarflugzeug 320  
 Solarkocher 152  
 Solarkollektor 135, 138  
 Solarkraftwerke 163  
   Aufwindkraftwerke 173  
   Dish-Stirling-Kraftwerk 172  
   konzentrierende Photovoltaik 174  
   Märkte 181  
   Ökologie 180  
   Ökonomie 179  
   Parabolrinnenkraftwerk 166  
   Photovoltaik 115  
   Planung 176  
   Solarturmkraftwerk 170  
 Solarküche 322  
 Solarmobil 315  
 Solarstrahlungsarten 177  
 Solarstromimport 96, 184  
 Solartankstelle 317  
 Solarthermieranlagen 134, 166  
   Auslegung 152  
   Heizungsunterstützung 147  
   Kraftwerke 163  
   Märkte 160  
   Ökologie 159  
   Ökonomie 157  
   Planung 152  
   Trinkwassererwärmung 146  
 Solarturmkraftwerk 170  
 Solarzelle  
   Aufbau 105  
   Funktionsweise 103  
   Herstellung 108  
   Wirkungsgrad 106  
 Sonnenaktivität 43  
 Sonnenenergie 93  
 Sonnenofen 164, 175  
 Sonnenschiff 311  
 Speichergröße 154  
 Speicherwasserkraftwerke 221  
 Standardtestbedingungen 107  
 Standby-Verluste 65  
 STC siehe Standardtestbedingungen 107  
 Steinkohleeinheit 326

Stirling-Motor 172  
Stratosphäre 50  
Stromerzeugungskosten  
    Photovoltaik 127  
    Solarkraftwerke 183  
    Windkraft 207  
Stromimport 96, 184  
Strömungsverlauf einer Windkraftanlage 191  
Stromverbrauch 67, 97

### T

tektonische Platten 235  
Temperaturänderung 39, 47, 52  
Temperaturen  
    Deutschland in der Tiefe 236  
Thermosiphonanlage 145  
Tiefenbohrung 236  
Tiefengeothermie siehe Geothermie 233  
Tiefengradient 235  
Transport 73  
Transportsektor 99  
Treibhauseffekt 43  
    Ursachen 51  
Treibhauspotenziale  
    Kältemittel 258  
    Treibhausgase 49  
Trinkwassererwärmung 146, 153  
Tschernobyl 23  
Turbine  
    Bulb 217  
    Francis 218  
    Kaplan 217  
    Ossberger 219  
    Pelton 218  
    Rohr 217  
Turmkraftwerk 170

### U

Umsatzsteuer 129  
Uranvorkommen 35  
U-Wert 71

### V

Vakuumdämmstoffe 70  
Vakuum-Flachkollektor 142  
Vakuum-Röhrenkollektor 141  
Vakuumverglasungen 71  
Verkehr 99  
Verkehrssektor 73  
volumetrischer Receiver 170

### W

Wafer 109

Wärmepumpe 247  
    Absorption 251  
    Adsorption 251  
    Funktionsprinzip 250  
    Kältemittel 250  
    Kompression 250  
    Leistungszahl 249  
    Märkte 260  
    Ökologie 258  
    Ökonomie 256  
    Wärmequellen 248  
Wärmequellen für Wärmepumpen 248  
Wärmerohr 142  
Wärmestrahlung 140  
Wärmetauscher 142  
Wärmeverluste 71  
Wärmeversorgung 98  
Warmzeit 38  
Wasserkochen 63  
Wasserkraft 213  
    Gezeitenkraftwerke 224  
    Laufwasserkraftwerke 219  
    Märkte 230  
    Meeresströmungskraftwerke 225  
    Ökologie 229  
    Ökonomie 228  
    Pumpspeicherkraftwerke 222  
    Speicherwasserkraftwerke 221  
    Turbinen 216  
    Wellenkraftwerke 224  
Wasserkreislauf der Erde 214  
Wasserstoff 294  
    Herstellung 295  
    Ökologie 302  
    Ökonomie 301  
    Speicherung 297  
Wasserturbinen 216  
Wellenkraftwerke 224  
Weltbevölkerung 92  
Widerstandsprinzip 191  
Wind 187  
Windgeschwindigkeit 188, 205  
Windgeschwindigkeitsrekorde 190  
Wind-Inselsystem 194  
Windkraft 185  
    Anlagenaufbau 196  
    Auftriebsprinzip 192  
    Auslegung 203  
    Märkte 210  
    netzgekoppelte Anlagen 195  
    Offshore 200  
    Ökologie 208  
    Ökonomie 205  
    Planung 203  
    Windlader 193  
Windlader 193

Windpark 198

Wirkungsgrad

    Biomassekraftwerk 276

    Biomassewachstum 264

    Brennstoffzelle 300

    Dampfturbinenprozess 169

    Kamine und Kaminöfen 270

    Kollektor 137

    offener Kamin 270

ORC-Kraftwerk 240

Photovoltaik 106

Scheitholzkessel 271

World Solar Challenge 316

## **Z**

Zugdrachen 319