

Inhalt

1	Grundsätzliches zur Energie	17
1.1	Erscheinungsformen der Energie	18
1.2	Erhaltung der Energie	21
1.3	Physikalische Randbedingungen der Umwandlung von Energie	22
1.4	Die Einteilung in Primär-, End- und Nutzenergie	24
1.5	Übersicht der natürlichen Energiequellen	24
1.6	Arten der Energieumwandlung	26
1.7	Möglichkeiten der Energiespeicherung und des Transportes . .	28
2	Unser heutiger Umgang mit Energie	29
2.1	Der Weltenergieverbrauch	29
2.2	Der Energieverbrauch in Deutschland	32
3	Rahmenbedingungen für den zukünftigen Umgang mit Energie	36
3.1	Rahmenbedingungen ... der Welt	36
3.1.1	Weltbevölkerungsentwicklung	36
3.1.2	Welternährungssituation	39
3.1.3	Weltenergievorräte	43
3.1.4	Globale Umweltaspekte des Energieverbrauchs	44
3.1.5	Ansätze zur Vorhersage der Einsparpotentiale und des zukünftigen Energieverbrauchs	48
3.2	Rahmenbedingungen in Deutschland als typischem Industrieland	50
3.2.1	Bevölkerungsentwicklungs- und -versorgungsaspekte	50
3.2.2	Rohstoffimport und Technologieexport	51
3.2.3	Regionale Umweltauswirkungen	52
3.2.4	Szenarien über <i>Wie</i> und <i>Wieviel</i> zukünftiger Energieversorgung in Deutschland	55
3.3	Einsparung und Substitution als Handlungsvorgaben weltweiter Energiepolitik	59

8 Inhalt

4	Fossile Energie	60
4.1	Vorräte und Verbrauch	60
4.1.1	... von Kohle	60
4.1.2	... von Erdöl und Erdgas	62
4.1.3	... von Methan aus tiefer Erdkruste und Methanhydrat	65
4.2	Grundsätzliches zur Umwandlung chemischer Energie	66
4.2.1	... in Wärme	67
4.2.2	... in Wärme in geschlossenenen Kreisläufen	68
4.2.3	... in elektrische Energie mittels Brennstoffzellen	70
4.3	Nutzung von Kohle	71
4.3.1	... durch Verbrennung in Ofen, Kraftwerk und Heizkraftwerk: Kraft-Wärme-Kopplung und deren Randbedingungen	71
4.3.2	Nutzung von Kohle durch Vergasung und Verflüssigung	81
4.4	Nutzung von flüssigen und gasförmigen Kohlenwasserstoffen	89
4.4.1	Aufbereitung von Erdöl	89
4.4.2	Erzeugung von Heizwärme	93
4.4.3	Verbrennung in Motoren, Turbinen, Wärmepumpenantrieben	95
4.4.4	Antrieb von Gasturbinen und Betrieb von Magnetohydrodynamischen Wandlern	97
4.5	Umweltbelastungen aus dem Verbrauch fossiler Energien	99
4.5.1	Freisetzung toxischer Schadstoffe (Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe) bei der Nutzung fossiler Energieträger	100
5	Erneuerbare Energien: Solarenergie	110
5.1	Die Sonne als Sender von Energie	110
5.2	Die Erde als Empfänger von Energie	113
5.3	Photosynthese	118
5.3.1	Erzeugung von Biomasse: Nachwachsende Rohstoffe	123
5.3.2	Verbrennung von Biomasse	126
5.3.3	Umwandlung von Biomasse in Flüssigtreibstoffe Aethanol und Rapsmethylester	128
5.3.4	Erzeugung von gasförmigen Energieträgern	131
5.4	Nutzung über den photoelektrischen Effekt	132
5.4.1	Funktionsprinzip und Wirkungsgrade von Solarzellen	133
5.4.2	Technische Entwicklung beim Bau von Solarzellen	139
5.4.3	Nutzungsmöglichkeiten von Solarzellen	140
5.5	Nutzung des Sonnenlichtes als Wärmequelle zur Wärme- und Stromerzeugung	143
5.5.1	Wirkungsweise von Sonnenlichtkollektoren	144

5.5.2	Absorption in Flachkollektoren	146
5.5.3	Absorption direkten Sonnenlichts in konzentrierenden Kollektoren	150
5.5.4	Aufwindkraftwerke und Sonnenteiche	155
5.6	Umweltrelevante Aspekte der Nutzung von Solarenergie . . .	156
5.6.1	... bei Biomasse: Anbau	157
5.6.2	... bei Biomasse: Verbrennung	158
5.6.3	... bei Solarzellenproduktion	159
5.6.4	... bei großtechnischer Solarthermienutzung	160
6	Erneuerbare Energien: Wind und Wasserkraft	161
6.1	Verfügbares Windpotential	161
6.2	Prinzip und Wirkungsweise von Windkraftanlagen	166
6.3	Konkrete Falluntersuchungen zu Windkraftanlagen	171
6.4	Abschätzung der Rahmenbedingungen flächendeckender Windenergienutzung am Beispiel Deutschland	173
6.5	Energie aus Wassergefälle	174
6.6	Energie aus Gezeiten, Meereswellen und -strömungen	179
6.7	Umweltrelevante Aspekte der Nutzung von Wind und Wasser	189
7	Erneuerbare Energien: Organische Abfälle und Nebenprodukte	192
7.1	Biomethanisierung (Biogas): Potentiale und Nutzungstechniken	192
7.2	Klärschlämme und Gülle: Potentiale und Nutzungstechniken .	200
7.3	Müllverbrennung: Potentiale und Nutzungstechniken	201
7.4	Umweltrelevante Aspekte der Nutzung von organischen Reststoffen	205
8	Erneuerbare Energien: Natürliche Wärmevorkommen	210
8.1	Wärmereservoir Erde	210
8.2	Natürliche Heißwasser-/Heißdampfquellen	211
8.3	Künstliche Entnahme von Wärme aus der Erdkruste	213
8.4	Nutzung der Wärme aus Luft, Boden und Wasser mit Wärmepumpen	215
8.5	Umweltrelevante Aspekte der Nutzung natürlicher Wärmevorkommen	221
9	Energie aus der Kernspaltung	223
9.1	Radioaktivität	228
9.1.1	Radioaktives Zerfallsgesetz und Maße für radioaktive Zerfälle	229

9.1.2	Formen der Radioaktivität	229
9.1.3	Wechselwirkung von radioaktiver Strahlung mit Materie und deren Maßeinheiten	232
9.1.4	Natürliche und künstliche Quellen der Radioaktivität im Vergleich	240
9.2	Grundlagen der Kernspaltung	244
9.3	Kernbrennstoffe	251
9.3.1	Vorräte und Verbrauch	251
9.3.2	Anreicherung vor dem Einsatz und Herstellung von Brennelementen	252
9.4	Kernreaktoren	254
9.4.1	Grundprinzip	254
9.4.2	Übersicht über Reaktortypen	255
9.4.3	Druck-, Siede- und Schwerwasserreaktor	255
9.4.4	Graphitmoderierte Reaktoren	257
9.4.5	Hochtemperaturreaktoren	259
9.4.6	Brutreaktoren	260
9.4.7	Potential an Kernreaktoren	262
9.4.8	Evolutionäre Entwicklungsfortschreibungen	263
9.4.9	Revolutionäre Entwicklungsfortschreibungen: inhärent sichere Reaktoren	265
9.5	Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen	268
9.6	Transport aktiven Materials	272
9.7	Endlagerung radioaktiver Abfälle	273
9.8	Umweltaspekte der Nutzung der Kern(spalt)energie	277
9.8.1	Kerntechnische Anlagen im Normalbetrieb	277
9.8.2	Große nukleare Störfälle	279
9.8.3	Risikoanalysen für Störfälle	283
10	Energie aus der Kernfusion	288
10.1	Grundlagen der Kernfusion	288
10.2	Fusionsreaktor Sonne	292
10.3	Bereitstellung von Kern(fusions)brennstoffen	293
10.4	Fusion im magnetischen Einschluß	294
10.4.1	Stellarator	295
10.4.2	Tokamak	296
10.4.3	Ideenskizze zur Kraftwerksrealisierung	298
10.5	Plasmafusion unter Trägheitseinschluß; Fusion mit Laser- oder Teilchenbeschuß	300
10.6	Myonkatalytische Fusion	301

10.7	Zeitrahmen für Realisierung von Fusionsreaktorkonzepten . . .	302
10.8	Umweltaspekte der Energiegewinnung aus Kernfusion	303
11	Rahmenbedingungen für Energieeinsparung: Speicherung, Transport und rationelle Verwendung von Energie	304
11.1	Speicherung und Transport von Wärme	304
11.1.1	Direkte Wärmespeicherung und rationeller Heizenergieeinsatz	304
11.1.2	Latentwärmespeicherung	314
11.1.3	Thermochemische Energiespeicherung	316
11.1.4	Transport von Wärme (Fernwärme)	317
11.2	Speicherung und Transport von elektrischer Energie	321
11.2.1	Speicherung in Batterien, Akkumulatoren und Einsatz von Brennstoffzellen	321
11.2.2	Speicherung in kapazitiven und induktiven Speichern	334
11.2.3	Transport in Stromleitungen: Freileitung, Erd-/Unterseekabel, supraleitende Kabel	337
11.3	Speicherung und Transport von Brenn- und Treibstoffen . . .	343
11.3.1	Speicherung von Kohlenwasserstoffen	343
11.3.2	... von Wasserstoff in flüssiger und gasförmiger Phase	344
11.3.3	Transport fester, flüssiger und gasförmiger Brennstoffe	347
11.4	Speicherung von mechanischer Energie	350
11.4.1	Pumpwasserspeicher	350
11.4.2	Schwungradspeicher	350
11.4.3	Luft- und Dampfdruckspeicher	352
11.5	Rationelle Verwendung von Energie	354
11.5.1	... beim Stromeinsatz	354
11.5.2	... im Verkehrsbereich	356
11.5.3	Einsparungen auf weiteren Gebiete	356
12	Rahmenbedingungen für Energieeinsparung: Spezielle Techniken der Energienutzung	360
12.1	Gaskinetische und thermodynamische Grundbegriffe	360
12.2	Wärme­kraft­ma­schinen	367
12.2.1	Carnotprozeß, Wirkungsgrad	368
12.2.2	WKM mit geschlossenem Kreislauf: Stirling-Motor	369
12.2.3	WKM mit geschlossenem Kreislauf: Clausius-Rankine-Maschine	370
12.2.4	WKM mit offenem Kreislauf: Otto- und Dieselmotor	373
12.2.5	WKM mit offenem Kreislauf: Turbinen	375

12.3	Wärmepumpen und -transformatoren	378
12.4	Magnetohydrodynamische Wandler	379
12.5	Thermoelektrische und thermionische Energiewandler	383
12.6	Wasserstofftechnologie	386
12.7	Erzeugung von Licht	393
12.8	Elektromotoren und Generatoren	397
13	Vergleich der Ergiebigkeiten verschiedener Energiequellen	400
13.1	Der Begriff des Erntefaktors	400
13.2	Erntefaktoren von Energiequellen im Vergleich	402
14	Vergleich der Umweltbelastungen und Risiken	406
14.1	Der Begriff Risiko	406
14.2	Freisetzung von Wärme	408
14.3	Freisetzung toxischer und radioaktiver Schadstoffe	410
14.4	Freisetzung von atmosphärenchemisch relevanten Spurengasen	411
14.4.1	Fluorierte Kohlenwasserstoffe und ihre Quellen	412
14.4.2	Distickstoffoxid und seine Quellen	414
14.4.3	Einfluß auf die stratosphärische Ozonschicht	415
14.5	Freisetzung strahlungsphysikalisch relevanter Spurengase . . .	417
14.5.1	Der Mechanismus des Treibhauseffektes und seine Steuerung durch Wasserdampf, Kohlendioxid und weitere Gase	417
14.5.2	Natürliche Schwankungen des CO ₂ -Gehalts und dessen Auswirkungen auf die Temperatur	421
14.5.3	Vorhersagen der Computermodelle auf veränderte CO ₂ -Gehalte	422
14.5.4	Antropogene Einflußnahmen: Energieverbrauch und Brandrodung	425
14.5.5	Antropogene Freisetzungen weiterer relevanter Gase	426
14.5.6	Möglichkeiten der Rückhaltung von CO ₂ und anderer Treibhausgase	426
14.5.7	Auswirkungen auf das globale Klima der Zukunft	428
14.6	Vergleich der Schadensrisiken aller Quellen	429
15	Schlußbetrachtungen	433
	Literaturverzeichnis	434
	Sachverzeichnis	447