

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	Theoretische Grundlagen	9
1.1.1	Der 1. Hauptsatz der Thermodynamik	9
1.1.2	Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik	10
2	Der Energiebegriff	11
2.1	Die Energie und die Energieformen	11
2.1.1	Die physikalische Messgröße Energie	12
2.1.2	Die ökonomischen Messgrößen	14
2.2	Die Umwandlung der Energieformen	15
2.2.1	Die kinetische Exergie E_{kin}	18
2.2.2	Die potenzielle Exergie E_{pot}	18
2.2.3	Die elektrische Exergie E_{el}	19
2.2.4	Die thermische Exergie E_{therm}	19
2.2.5	Die chemische Exergie E_{chem}	19
2.3	Die Wirkungsgrade der Energiewandlung	22
2.3.1	Der Carnot'sche Kreisprozess	27
2.3.2	Der Otto-Motor	28
2.3.3	Die Dampfmaschine	30
2.3.4	Die Beleuchtung	31
2.4	Der Nutzungsgrad und der Versorgungsgrad	33
2.4.1	Zur Definition des Nutzungsgrads	37
2.4.2	Erneuerbare Energien als Primärenergie.	37
2.4.3	Die Speichernotwendigkeit von erneuerbaren Energien	37
2.4.4	Der Mix aus fossilen und erneuerbaren Energien	38
2.5	Fragen zur Energieversorgung	39
3	Der Bedarf an Primärenergie	41
3.1	Empirische Daten	41
3.1.1	Die Energieeffizienz	47
3.2	Die ve- und we-Länder	49
3.3	Bedarfssektoren für Endenergie	50
3.4	Die Energieprognosen	53

3.4.1	Differentialgleichungen und elementare Funktionen	54
4	Das Wachstum und seine Grenzen	55
4.1	Die Entwicklung der Weltbevölkerung	55
4.1.1	Das Bevölkerungsmodell 1	59
4.1.2	Das Bevölkerungsmodell 2	62
4.1.3	Die Bevölkerungswanderung	67
4.2	Die Entwicklung des Bruttoinlandprodukts	69
4.3	Die Entwicklung des Primärenergiebedarfs	72
4.4	Die Grenzen des Wachstums	73
4.5	Der Energiehaushalt der Erde	75
4.5.1	Die Sonne und die Erde als "schwarze Körper"	80
4.5.2	Ein einfaches Klimamodell	82
4.6	Das Flächenangebot der Erde	85
4.7	Deutschland, ein Sonderfall?	89
5	Die Weltenergievorräte	91
5.1	Die fossil biogenen Energien	92
5.2	Die fossil mineralischen Energien 1: Kernspaltung	96
5.2.1	Die Kernspaltung durch thermische Neutronen	99
5.2.2	Spaltreaktoren: Konventionelle Technik	103
5.2.3	Spaltreaktoren: Neue Technik	108
5.3	Die Entsorgung des nuklearen Abfalls	112
5.3.1	Die Transmutation	116
5.4	Die fossil mineralischen Energien 2: Kernfusion	117
5.4.1	Die physikalischen Grundlagen eines Fusionsreaktors	119
5.4.2	Der Fusionsreaktor: Magnetischer Einschluss	121
5.4.3	Der Fusionsreaktor: Trägheitseinschluss	124
5.5	Die Risiken der Kernenergie	125
5.6	Das Ende der fossilen Energieträger	130
5.6.1	Die Wachstumsfunktion	134
6	Die erneuerbaren Energien	137
6.1	Die Solarenergie: Verfügbarkeit	140
6.1.1	Die Absorption von Licht in Materie	143
6.2	Die Solarenergie: Biomasse und Abfälle	150
6.2.1	Der natürliche Kohlenstoffkreislauf	157
6.2.2	Ein einfaches Kreislaufmodell	159
6.3	Die Solarenergie: Fotovoltaik	161
6.3.1	Die Halbleiterdiode als Fotodiode	165
6.4	Die Solarenergie: Lichtkonzentratoren	167
6.4.1	Spiegel und Linse als Lichtkonzentrator	171
6.5	Die Solarenergie: Thermische Solarzellen	174
6.5.1	Der Wirkungsgrad thermischer Solarzellen	177

6.6	Die Strömungsenergie: Verfügbarkeit	180
6.7	Die Strömungsenergie: Windkraftanlagen	184
6.7.1	Der Wirkungsgrad von Windkraftanlagen	187
6.8	Die Strömungsenergie: Wasserkraftwerke	192
6.8.1	Der Wirkungsgrad von Wasserkraftwerken	195
6.9	Die Strömungsenergie: Wellenkraftwerke	197
6.9.1	Die Energie von Meereswellen	198
6.10	Die Strömungsenergie: Gezeitenkraftwerke	201
6.10.1	Die Energie der Gezeiten	204
6.11	Die Kernenergie: Geothermie	206
6.11.1	Die Entnahme der Wärme aus der Erdkruste	210
7	Eine Zukunft ohne Energie?	212
8	Die Energiespeicherung	221
8.1	Die Versorgung mit erneuerbarer Energie	221
8.2	Die Speicherung erneuerbarer Energien	225
8.2.1	Die Speicherung elektrischer Energie	225
8.2.2	Die Speicherung thermischer Energie	227
8.2.3	Die Speicherung mechanischer Energie	232
8.2.4	Die Speicherung chemischer Energie	237
8.3	Die Möglichkeiten der Energiespeicherung	247
9	Der Energietransport	250
9.1	Die physikalischen Grundlagen des Energietransports	251
9.1.1	Der Transport von elektrischer Energie	251
9.1.2	Der Transport von chemischer Energie	256
9.1.3	Der Transport von thermischer Energie	261
9.2	Transport und Speicherung erneuerbarer Energien	262
10	Die Möglichkeiten des Energiesparens	264
10.1	Das Einsparpotenzial bei der Raumwärme	267
10.1.1	Die Heizung mit Wärmepumpe	272
10.1.2	Die Heizung mit Wärmespeicher	273
10.2	Das Einsparpotenzial bei der Mobilität	276
10.3	Das Einsparpotenzial bei privaten Haushalten	280
10.4	Die Energielücke zwischen Bedarf und Angebot	281
11	Schlusswort	283