

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>7</b>
1.1 Theoretische Grundlagen . . . . .	9
1.1.1 Der 1. Hauptsatz der Thermodynamik . . . . .	9
1.1.2 Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik . . . . .	10
<b>2 Der Energiebegriff</b>	<b>11</b>
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 $E_{\text{kin}}$ . . . . .	18
2.2.2 Die potentielle Exergie $E_{\text{pot}}$ . . . . .	18
2.2.3 Die elektrische Exergie $E_{\text{el}}$ . . . . .	19
2.2.4 Die thermische Exergie $E_{\text{therm}}$ . . . . .	19
2.2.5 Die chemische Exergie $E_{\text{chem}}$ . . . . .	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
<b>3 Der Bedarf an Primärenergie</b>	<b>41</b>
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
<b>4 Das Wachstum und seine Grenzen</b>		<b>55</b>
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
<b>5 Die Weltenergievorräte</b>		<b>91</b>
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
<b>6 Die erneuerbaren Energien</b>		<b>137</b>
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 Meeresswellen . . . . .	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
<b>7</b>	<b>Eine Zukunft ohne Energie?</b>	<b>212</b>
<b>8</b>	<b>Die Energiespeicherung</b>	<b>221</b>
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
<b>9</b>	<b>Der Energietransport</b>	<b>250</b>
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
<b>10</b>	<b>Die Möglichkeiten des Energiesparens</b>	<b>264</b>
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
<b>11</b>	<b>Schlusswort</b>	<b>283</b>