

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Einleitung	1
1.1	Erscheinungsformen der Energie und Geschichte ihrer Nutzung	1
1.2	Energieströme auf der Erde	7
1.2.1	Einleitung	7
1.2.2	Das Energiesystem Erde	9
1.3	Energienutzung und Umwelt	11
1.4	Energieumwandlung	13
1.5	Energieverbrauch bei der Energiegewinnung	15
1.6	Verbundnetz; Anforderungen an Kraftwerke	15
1.7	Schlußbemerkung	21
1.8	Literatur	22
2	Energiequellen	23
2.1	Energiequellen und deren Bewertung	23
2.2	Fossile Brennstoffe	26
2.2.1	Allgemeines	26
2.2.2	Kohlen	28
2.2.2.1	Allgemeines, Bezeichnungen	28
2.2.2.2	Klassifizierung, Eigenschaften	29
2.2.3	Erdöle	32
2.2.4	Erdgas	33
2.2.5	Umweltbelastung durch die Nutzung fossiler Brennstoffe	33
2.2.5.1	Einleitung	33
2.2.5.2	Emission von Schadgasen	35
2.2.5.3	Staubemission und Staubabscheidung	40
2.2.5.4	Radioaktive Stoffe	42
2.2.5.5	Abwärme	43
2.2.5.6	Kohlendioxid-Emission, Auswirkungen auf das Klima	43

2.3	Nukleare Brennstoffe	46
2.3.1	Allgemeines	46
2.3.2	Ressourcen an Kernbrennstoffen	46
2.3.3	Brennstoffkreislauf für Leichtwasserreaktoren	48
2.3.4	Umweltbelastungen durch die Nutzung der Kernenergie	50
2.4	Erdwärme	51
2.4.1	Grundlagen	51
2.4.2	Umweltbelastungen durch die Nutzung der Erdwärme	54
2.5	Sonnenenergie	55
2.6	Schlußbemerkung	56
2.7	Literatur	57
3	Kreisprozesse zur Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit	59
3.1	Einleitung	59
3.2	Der Dampfkraftprozeß	62
3.2.1	Der ideale Clausius-Rankine-Prozeß	62
3.2.2	Irreversible Zustandsänderung beim Dampfkraftprozeß	66
3.3	Maßnahmen zur Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades	68
3.3.1	Grundsätzliche Gesichtspunkte	68
3.3.2	Erhöhung des Frischdampfzustandes	68
3.3.3	Zwischenüberhitzung	70
3.3.4	Regenerative Speisewasservorwärmung	74
3.3.5	Der Einfluß des Kondensatordruckes	77
3.3.6	Koppelprozesse	78
3.4	Der Gasturbinenprozeß	79
3.4.1	Der Joule-Prozeß	79
3.4.2	Verbesserungsmöglichkeiten für den Joule-Prozeß	82
3.4.2.1	Vorbemerkung	82
3.4.2.2	Innerer Wärmetausch	82
3.4.2.3	Zwischenkühlung und Zwischenüberhitzung	84
3.4.3	Sonderformen des Gasturbinenprozesses	86
3.5	Schlußbemerkung	88
3.6	Literatur	89

4	Nutzung fossiler Brennstoffe in Dampfkraftwerken	91
4.1	Einleitung	91
4.1.1	Bedeutung und Entwicklung der Dampfkraftwerke	91
4.1.2	Stoff- und Energieströme in einem Dampfkraftwerk	93
4.2	Grundlagen der Verbrennungstechnik	96
4.2.1	Begriffe und Definitionen	96
4.2.2	Luftbedarf und Rauchgasmengen	98
4.2.3	Stoffbilanz der Verbrennung	99
4.2.4	Stoffwerte	105
4.2.5	Anmerkungen zum Verbrennungsablauf	106
4.3	Feuerungs-Systeme und Anlagen	109
4.3.1	Allgemeines	109
4.3.2	Feuerungssysteme für feste Brennstoffe	111
4.3.2.1	Rostfeuerungen	111
4.3.2.1.1	Wanderroste	111
4.3.2.1.2	Andere Rostsysteme	115
4.3.2.1.3	Einsatzbereich der Rostfeuerung	116
4.3.2.2	Staubfeuerungen	117
4.3.2.2.1	Allgemeines	117
4.3.2.2.2	Mahlen und Trocknen der Kohle	118
4.3.2.2.3	Luftvorwärmung	124
4.3.2.2.4	Brenner	130
4.3.2.2.5	Feuerungssysteme	135
4.3.2.2.6	Stickoxidbildung und mögliche Minderungsmaßnahmen	138
4.3.2.2.7	Brennkammer für Trockenfeuerungen	140
4.3.2.2.8	Einsatzbereich der Staubfeuerungen	146
4.3.2.3	Wirbelschichtfeuerungen	146
4.3.2.3.1	Grundlagen	146
4.3.2.3.2	Stationäre Wirbelschichtfeuerungen	149
4.3.2.3.3	Zirkulierende Wirbelschichtfeuerungen	151
4.3.2.3.4	Gegenwärtiger Stand und Entwicklungsaufgaben	156
4.3.3	Feuerungssysteme für Öl und Gas	157
4.3.3.1	Allgemeines	157
4.3.3.2	Zerstäubung	158
4.3.3.3	Brenner für Ölfeuerungen	159
4.3.4	Verluste bei der Verbrennung	160
4.3.5	Schlußbemerkung	160

4.4	Dampferzeuger	162
4.4.1	Allgemeines	162
4.4.2	Dampferzeugersysteme	163
4.4.2.1	Einleitung	163
4.4.2.2	Naturumlaufverfahren	164
4.4.2.3	Zwangumlauf-Dampferzeuger	169
4.4.2.4	Zwangdurchlauf-Dampferzeuger	171
4.4.2.5	Zwangdurchlauf-Dampferzeuger mit Vollastumwälzung	175
4.4.3	Der Verdampfungsprozeß	176
4.4.3.1	Strömungsformen und Wärmeübergang in den Verdampferrohren	176
4.4.3.2	Durchfluß und Massenstromdichte im Verdampfer	181
4.4.3.3	Wasser-Dampf-Trennung	182
4.4.4	Konvektivheizflächen	186
4.4.4.1	Allgemeines	186
4.4.4.2	Wärmeübergang	188
4.4.4.3	Rohrwandtemperaturen	189
4.4.4.4	Überhitzer	190
4.4.4.5	Zwischenüberhitzer	194
4.4.5	Überhitzeranordnung und Kesselbauart	196
4.4.6	Energiebilanz, wärmetechnische Auslegung	200
4.4.7	Regelung von Dampferzeugeranlagen	205
4.4.7.1	Einleitung	205
4.4.7.2	Das Mehrgrößensystem Zwangdurchlaufdampferzeuger	206
4.4.7.3	Regelung der Dampftemperatur	210
4.4.7.3.1	Aufgabenstellung	210
4.4.7.3.2	Regelkonzept	211
4.4.7.4	Vergleich mit Trommelkessel	212
4.4.7.5	Andere Dampferzeuger-Regelkreise	213
4.4.8	Festigkeitsberechnung von Druckteilen	214
4.4.8.1	Werkstoffe	214
4.4.8.2	Festigkeitsnachweis	216
4.4.8.3	Wärmespannungen	218
4.4.9	Speisewasser	224
4.4.10	Schlußbemerkung	226

4.5	Turbinen	227
4.5.1	Grundlagen	227
4.5.2	Elementare Theorie axialer Strömungsmaschinen	229
4.5.3	Optimale Geschwindigkeitsverhältnisse, Stufenzahl	235
4.5.4	Verluste und Wirkungsgrad	237
4.5.5	Betriebsweise und Regelung von Dampfturbinen	239
4.5.6	Aufbau einer Dampfturbine	241
4.5.7	Sicherheitseinrichtungen, Umleitstation, Anfahren	245
4.5.8	Schlußbemerkung	247
4.6	Kühlsystem	248
4.6.1	Allgemeines	248
4.6.2	Systemaufbau einer Kondensatoranlage	249
4.6.3	Bauarten	250
4.5.3.1	Mischkondensatoren	250
4.6.3.2	Oberflächenkondensatoren	252
4.6.3.2.1	Allgemeines	252
4.6.3.2.2	Wärmetauschverhältnisse	252
4.6.3.2.3	Wassergekühlte Oberflächenkondensatoren	254
4.6.3.2.4	Luftgekühlte Kondensatoren	255
4.6.3.3	Rückkühlanlagen	256
4.6.3.3.1	Ablaufkühlung	256
4.6.3.3.2	Kreislaufkühlung	259
4.7	Speisewasservorwärmung	260
4.7.1	Allgemeines	260
4.7.2	Mischvorwärmer	260
4.7.3	Kombination des Mischvorwärmers mit dem Entgaser	261
4.7.4	Oberflächenvorwärmer	261
4.8	Der Aufbau eines Kraftwerksblocks	263
4.8.1	Allgemeines	263
4.8.2	Gesamtanordnung	264
4.8.3	Ausführungsbeispiel eines Dampfkraftprozesses	265
4.9	Dynamik der MW-Erzeugung in Dampfkraftwerken	269
4.9.1	Einleitung	269
4.9.2	Modellbildung	271

4.9.2.1	Allgemeines	271
4.9.2.2	Inkompressible Strömung durch ein wärmespeicherndes Rohr, κ_D -Theorie	272
4.9.2.3	Kesselmodelle	278
4.9.2.3.1	Externe Kesseldynamik und Modellarten	278
4.9.2.3.2	Das Lineare Dampfstrommodell	279
4.9.2.3.3	Das lineare Dampfdruckmodell	283
4.9.2.4	Modell des Dampferzeugers mit Turbogruppe	285
4.9.3	Schlußbemerkung	288
4.10	Zukunftsperspektiven	289
4.11	Literatur	290
5	Nutzung fossiler Brennstoffe in Gasturbinen- und Kombikraftwerken	295
5.1	Einleitung	295
5.2	Kombi-Kraftwerke mit Kohlevergasung	297
5.2.1	Kohlevergasung	297
5.2.2	Aufbau einer Gasturbine	302
5.2.3	Kombinierte Kraftwerksprozesse	305
5.2.3.1	Kombiprozeß mit nichtbefeuertem Abhitzeessel	305
5.2.3.2	Kombiprozeß mit Zusatzfeuerung	310
5.3	Kombikraftwerke mit druckaufgeladener Feuerung und Heißgasreinigung	312
5.3.1	Allgemeines	312
5.3.2	Anlagen mit einer druckaufgeladenen Wirbelschicht	313
5.3.3	Anlagen mit aufgeladenen Staubfeuerungen	314
5.4	Andere Vorschaltprozesse	315
5.4.1	Allgemeines	315
5.4.2	Zweistoff-Kraftwerksprozesse mit Kalium und Wasser	316
5.5	Energiespeicherung mit Luftspeicher-Gasturbinen-Kraftwerken	317
5.6	Schlußbemerkung	319
5.7	Literatur	320

6	Alternative Prozesse zur Nutzung fossiler Brennstoffe	321
6.1	Einleitung	321
6.2	Brennstoffzellen	321
6.2.1	Allgemeines	321
6.2.2	Thermodynamik der Brennstoffzelle	323
6.2.3	Technische Grundlagen	327
6.2.4	Aufbau eines Brennstoffzellen-Kraftwerks	331
6.2.5	Schlußbemerkung	332
6.3	Magnetohydrodynamische- Energiewandler (MHD-Generatoren)	333
6.3.1	Grundlagen	333
6.3.2	MHD-Kraftwerke	338
6.3.3	Schlußbemerkung	341
6.4	Literatur	341
7	Nutzung der Kernenergie	343
7.1	Einleitung	343
7.2	Physikalische Grundlagen	343
7.3	Grundzüge der Reaktorwärmetechnik	361
7.3.1	Leistungsdichte	361
7.3.2	Temperaturverteilung in einem Brennstab	361
7.4	Aufbau von Kernreaktoren	364
7.4.1	Allgemeines	364
7.4.2	Klassifizierung und Aufbau von Reaktoren	365
7.4.3	Druckwasser-Reaktor	367
7.4.4	Siedewasser-Reaktor	368
7.4.5	Brutreaktoren	371
7.4.6	Hochtemperaturreaktoren	372
7.5	Bereitstellung von Prozeßwärme mit Kernreaktoren	374
7.6	Sicherheit und Risiken: Einige Anmerkungen	376
7.6.1	Vorbemerkung	376
7.6.2	Reaktorsicherheit	376
7.6.2.1	Inhärente Sicherheit	377
7.6.2.2	Emission radioaktiver Elemente	377
7.6.2.3	Risikobeurteilung, Schutzmaßnahmen	378
7.6.3	Schlußbemerkung	380

7.7	Kernfusion	381
7.7.1	Vorbemerkung	381
7.7.2	Grundlagen	381
7.7.3	Fusionsreaktoren	383
7.7.3.1	Magnetischer Einschluß	384
7.7.3.1.1	Das Tokamak Konzept	387
7.7.3.2	Trägheitseinschluß	389
7.7.4	Schlußbemerkung	390
7.8	Literatur	391
8	Nutzung erneuerbarer Energiequellen	393
8.1	Einleitung	393
8.2	Wasserkraft	394
8.2.1	Allgemeines	394
8.2.2	Laufwasserkraftwerke und Speicherkraftwerke	395
8.2.2.1	Allgemeines, Systemaufbau	395
8.2.2.2	Wasserturbinen	397
8.2.2.3	Umweltbelastungen	399
8.2.3	Gezeitenkraftwerke	399
8.2.3.1	Allgemeines	399
8.2.3.2	Nutzung der Gezeiten	401
8.2.4	Schlußbemerkung	402
8.3	Sonnenenergie	403
8.3.1	Allgemeines	403
8.3.2	Nutzung der Sonnenenergie	408
8.3.3	Thermische Solarkraftwerke	409
8.3.3.1	Aufbau einer Anlage	409
8.3.3.2	Kollektor und Absorber	411
8.3.4	Photovoltaische Energieumwandlung	416
8.3.4.1	Einleitung	416
8.3.4.2	Prinzip und Technologie	416
8.3.5	Schlußbemerkung	423
8.4	Windenergie	425
8.4.1	Allgemeines	425
8.4.2	Grundlagen	426
8.4.3	Windenergienutzung	428

8.4.4	Betrieb von Windanlagen	432
8.4.5	Sonderformen der Windenergienutzung: Das Aufwindkraftwerk	433
8.4.5	Schlußbemerkung	434
8.5	Folgerungen für die Nutzung regenerativer Energiequellen	435
8.6	Literatur	436
9	Die weitere Entwicklung	437
9.1	Einleitung	437
9.2	Deckung des künftigen Energiebedarfs	441
9.2.1	Allgemeines	441
9.2.2	Fossile Brennstoffe	444
9.2.3	Kernenergie	446
9.2.4	Regenerative Energiequellen	447
9.2.5	Energieversorgung in der nahen Zukunft	448
9.3	Schlußbemerkung	450
9.4	Literatur	451
Anhang		
	Größenordnung natürlicher und Technischer Energieströme	453
	Wirkungsgrade von Energiewandlern	454
	Physikalische Konstanten	455
	Basiseinheiten	456
	Vorsilben zur Kennzeichnung dezimaler Vielfacher	457
	Stichwortverzeichnis	459