
Inhaltsverzeichnis

Teil I Grundlagen

1	Einführung	3
1.1	Energieströme der Erde	12
1.1.1	Das Energiesystem Erde	13
1.1.2	Kohlendioxidemission, Auswirkungen auf das Klima	17
1.2	Kraftwerke und Umwelt	22
1.3	Energieumwandlung	24
1.4	Energieverbrauch bei der Energiegewinnung	25
1.5	Verbundnetz, Anforderungen an Kraftwerke	27
1.6	Fazit	33
	Literatur	34
2	Energiequellen	35
2.1	Fossile Brennstoffe	38
2.1.1	Kohlen	39
2.1.2	Erdöl	44
2.1.3	Erdgas	46
2.1.4	Umweltbelastung durch die Nutzung fossiler Brennstoffe	47
2.2	Nukleare Brennstoffe	51
2.2.1	Ressourcen an Kernbrennstoffen	52
2.2.2	Brennstoffkreislauf für Leichtwasserreaktoren	53
2.2.3	Umweltbelastungen durch die Nutzung der Kernenergie	55
2.3	Geothermie	56
2.3.1	Umweltbelastungen durch die Nutzung der Erdwärme	59
2.4	Sonnenenergie	60
2.4.1	Umweltbelastungen durch die Nutzung von Wind und Sonne	64
2.5	Fazit	64
	Literatur	65

3	Umwandlung von Wärme in Arbeit	67
3.1	Der Dampfkraftprozess	71
3.1.1	Der ideale Clausius-Rankine-Prozess	71
3.1.2	Irreversible Zustandsänderungen	76
3.2	Maßnahmen zur Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades	78
3.2.1	Grundsätzliche Gesichtspunkte	78
3.2.2	Erhöhung des Frischdampfzustandes	79
3.2.3	Zwischenüberhitzung	80
3.2.4	Regenerative Speisewasservorwärmung	83
3.2.5	Einfluss des Kondensatordruckes	87
3.2.6	Kraft-Wärme-Kopplung	88
3.3	Kreisprozesse mit homogenen Medien – Gasturbinenprozess	89
3.3.1	Der Joule-Prozess	89
3.3.2	Verbesserungsmöglichkeiten für den Joule-Prozess	92
3.3.3	Sonderformen des Gasturbinenprozesses	96
3.4	Fazit	97
	Literatur	98

Teil II Nutzung fossiler Brennstoffe

4	Dampfkraftwerke	101
4.1	Stoff- und Energieströme in einem Dampfkraftwerk	105
4.2	Aufbau eines Kraftwerksblocks	107
4.2.1	Aufgabenstellung	107
4.2.2	Gesamtanordnung	107
4.2.3	Ausführungsbeispiel eines Dampfkraftprozesses	109
4.3	Realisierung und Kosten	112
4.4	Fazit	114
	Literatur	114
5	Grundlagen der Verbrennungstechnik	115
5.1	Energiebilanz der Verbrennung	117
5.2	Stoffbilanz der Verbrennung	117
5.2.1	Elementare Verbrennungsrechnung	117
5.2.2	Statistische Verbrennungsrechnung	123
5.2.3	Stoffdaten für Rauchgas	124
5.3	Anmerkungen zum Verbrennungsablauf	128
5.4	Fazit	132
	Literatur	132
6	Feuerungssysteme und -anlagen	133
6.1	Feuerungssysteme für feste Brennstoffe	135
6.1.1	Rostfeuerungen	135
6.1.2	Staubfeuerungen	140

6.1.3	Wirbelschichtfeuerungen	170
6.2	Feuerungssysteme für Öl und Gas	180
6.3	Verluste bei der Verbrennung	183
6.4	Fazit	183
	Literatur	184
7	Dampferzeuger	185
7.1	Dampferzeugersysteme	186
7.1.1	Einleitung	186
7.1.2	Naturumlauf	186
7.1.3	Zwangumlauf	193
7.1.4	Zwangdurchlauf	194
7.1.5	Zwangdurchlauf mit Vollastumwälzung	198
7.2	Der Verdampfungsprozess	200
7.2.1	Strömungsformen und Wärmeübergang in den Verdampferrohren	200
7.2.2	Durchfluss und Massenstromdichte im Verdampfer	205
7.2.3	Wasser/Dampftrennung	206
7.3	Konvektivheizflächen	211
7.3.1	Allgemeines	211
7.3.2	Wärmeübergang	212
7.3.3	Rohrwandtemperaturen	214
7.3.4	Überhitzer	215
7.3.5	Zwischenüberhitzer	217
7.4	Überhitzeranordnung und Kesselbauart	219
7.5	Energiebilanz und Wirkungsgrad	222
7.5.1	Begriffsbestimmungen	223
7.5.2	Wärmetechnische Auslegung	227
7.6	Regelung von Dampferzeugeranlagen	228
7.6.1	Einleitung	228
7.6.2	Das Mehrgrößensystem Zwangdurchlaufdampferzeuger	229
7.6.3	Dampftemperaturregelung	233
7.6.4	Besonderheiten beim Trommelkessel	235
7.6.5	Andere Dampferzeuger-Regelkreise	236
7.7	Festigkeitsberechnung von Druckteilen	236
7.7.1	Werkstoffe	236
7.7.2	Festigkeitsnachweis	239
7.7.3	Wärmespannungen	241
7.8	Fazit	246
	Literatur	247

8	Dampfturbinen	249
8.1	Elementare Theorie axialer Strömungsmaschinen	251
8.2	Optimale Geschwindigkeitsverhältnisse, Stufenzahl	258
8.3	Verluste und Wirkungsgrad	260
8.4	Betriebsweise und Regelung von Dampfturbinen	261
8.4.1	Festdruckbetrieb	262
8.4.2	Gleitdruckbetrieb	263
8.4.3	Modifizierter Gleitdruck	264
8.5	Aufbau einer Dampfturbine	265
8.6	Sicherheitseinrichtungen, Umleitstation, Anfahren	268
8.7	Fazit	269
	Literatur	270
9	Kühlsystem	271
9.1	Systemaufbau einer Kondensatoranlage	272
9.2	Kondensatorbauarten	273
9.2.1	Mischkondensatoren	273
9.2.2	Oberflächenkondensatoren	275
9.3	Rückkühlanlagen	278
9.3.1	Ablaufkühlung	278
9.3.2	Kreislaufkühlung	282
	Literatur	282
10	Speisewasserversorgung	283
10.1	Speisewasser	283
10.2	Schutzschichtbildung	286
10.3	Vorwärmer	287
10.4	Speisepumpen	291
	Literatur	292
11	Rauchgasreinigung	293
11.1	Entstaubung	293
11.1.1	Kennzeichnung des Flugstaubes	293
11.1.2	Entstaubungssysteme	294
11.2	Entschwefelung	298
11.3	Stickoxidreduktion	302
11.4	Entsorgung der Rückstände	303
11.5	Fazit	304
	Literatur	304
12	Dynamik der MW-Erzeugung in Dampfkraftwerken	305
12.1	Modellbildung	306
12.1.1	Allgemeines	306
12.1.2	κ_D -Theorie	307
12.1.3	Kesselmodelle	312

12.1.4 Modell des Dampferzeugers mit Turbogruppe	319
12.2 Fazit	321
Literatur	322
13 Die letzte Herausforderung für kohlegefeuerte Kraftwerke: CO₂-Sequestrierung	323
13.1 CO ₂ -Abtrennung	324
13.1.1 Abscheideanlagen	324
13.1.2 Verbrennung mit Sauerstoff	326
13.1.3 Brennstoffumwandlung	327
13.2 Transport, Speicherung, Risiken	328
13.3 Fazit	331
Literatur	332
14 Nutzung fossiler Brennstoffe in Gas- und Dampfturbinenkraftwerken	333
14.1 Kohlevergasung	335
14.1.1 Aufbau einer Gasturbine	339
14.2 Kombinierte Kraftwerksprozesse mit Gas- und Dampfturbinen	343
14.2.1 Gas- und Dampfturbinenprozess mit nichtbefeuertem Abhitzeessel	343
14.3 Kombikraftwerke mit aufgeladener Feuerung und Heißgasreinigung	352
14.3.1 Allgemeines	352
14.3.2 Anlagen mit aufgeladener Wirbelschicht	353
14.3.3 Anlagen mit aufgeladenen Staubfeuerungen	354
14.4 Andere Vorschaltprozesse	354
14.4.1 Allgemeines	354
14.4.2 Zweistoff-Kraftwerksprozesse mit Kalium und Wasser	356
14.5 Energiespeicherung mit Luftspeicher-Gasturbinenkraftwerken	357
14.6 Fazit	359
Literatur	359
15 Alternative Prozesse zur Nutzung fossiler Brennstoffe	361
15.1 Brennstoffzellen	361
15.1.1 Grundlagen	361
15.1.2 Thermodynamik der Brennstoffzelle	363
15.1.3 Typenvielfalt	367
15.1.4 Aufbau eines Brennstoffzellenkraftwerks	372
15.1.5 Fazit	373
15.2 Magnetohydrodynamische Energiewandler	374
15.2.1 Grundlagen	374
15.2.2 MHD-Kraftwerke	381
15.2.3 Fazit	383
Literatur	383

Teil III Nutzung nuklearer und regenerativer Energien

16 Kernspaltung	387
16.1 Grundlagen	387
16.1.1 Kernaufbau, Kernreaktionen	387
16.1.2 Induzierte Kernspaltung	393
16.1.3 Kettenreaktion	396
16.1.4 Spaltreaktionen	397
16.1.5 Nachwärme	407
16.1.6 Konversion und Brüten	407
16.2 Aufbau von Kernreaktoren	408
16.2.1 Allgemeines	408
16.2.2 Reaktoren für Kraftwerke	410
16.3 Grundzüge der Reaktorwärmetechnik	412
16.3.1 Leistungsdichte	412
16.3.2 Druckwasserreaktor	415
16.3.3 Siedewasserreaktor	417
16.3.4 Brutreaktoren	420
16.3.5 Hochtemperaturreaktoren	421
16.4 Entsorgung	423
16.5 Sicherheit und Risiken	425
16.5.1 Vorbemerkung	425
16.5.2 Reaktorsicherheit	425
16.6 Fazit	429
Literatur	430
17 Kernfusion	431
17.1 Fusionsreaktoren	434
17.1.1 Magnetischer Einschluss	434
17.1.2 Trägheitseinschluss	441
17.2 Fazit	442
Literatur	442
18 Nutzung erneuerbarer Energiequellen	443
18.1 Wasserkraft	444
18.1.1 Laufwasserkraftwerke und Speicherkraftwerke	445
18.1.2 Gezeitenkraftwerke	449
18.1.3 Wellenenergie	452
18.1.4 Fazit	456
18.2 Sonnenenergie	456
18.2.1 Wärmetransport durch Strahlung	461
18.2.2 Technische Nutzung der Sonnenenergie	465
18.2.3 Thermische Solarkraftwerke	470
18.2.4 Photovoltaische Energieumwandlung	474

18.2.5 Fazit	482
18.3 Windenergie	482
18.3.1 Grundlagen	484
18.3.2 Windenergienutzung	486
18.3.3 Betrieb von Windanlagen	491
18.3.4 Aufwindkraftwerk	492
18.3.5 Fazit	494
18.4 Folgerungen für die Nutzung regenerativer Energiequellen	495
Literatur	495

Teil IV Zukunftsperspektiven

19 Status unserer Energieversorgung	499
19.1 Gegenwärtiger Stand	499
19.1.1 Bevölkerungsexplosion	501
19.1.2 Warum verbrauchen moderne Gesellschaften soviel Energie?	501
19.1.3 Die fossilen Energiequellen gehen ihrer Erschöpfung entgegen	503
19.1.4 Gibt es Ersatz für die fossilen Energiequellen?	504
19.1.5 Die Emission der Treibhausgase muss vermindert werden.	507
19.2 Mögliche Entwicklungen	508
Literatur	511
A Anhang	513
A.1 h,s -Diagramm für Wasser	514
A.2 h,p -Diagramm für Wasser	515
A.3 T,s -Diagramm für Wasser	516
A.4 Dezimalfaktoren	517
A.5 Physikalische Konstanten	517
A.6 Einheiten	518
A.6.1 Basiseinheiten	518
A.6.2 Abgeleitete Einheiten	518

Sachverzeichnis	519
------------------------------	------------