

Karl Strauß

Kraftwerkstechnik

zur Nutzung fossiler, regenerativer
und nuklearer Energiequellen

Vierte Auflage
mit 226 Abbildungen und 53 Tabellen



Springer

Inhaltsverzeichnis

Teil I. Grundlagen

1. Einführung	3
1.1 Erscheinungsformen von Energie	3
1.2 Energieströme auf der Erde	10
1.2.1 Einleitung	10
1.2.2 Das Energiesystem Erde	11
1.3 Energienutzung und Umwelt	16
1.4 Energieumwandlung	18
1.5 Energieverbrauch bei der Energiegewinnung	20
1.6 Das Verbundnetz, Anforderungen an Kraftwerke	21
1.7 Schlußbemerkung	27
Literatur	27
2. Energiequellen	29
2.1 Energiequellen und deren Bewertung	29
2.2 Fossile Brennstoffe	31
2.2.1 Allgemeines	31
2.2.2 Kohlen	33
2.2.3 Erdöl	37
2.2.4 Erdgas	39
2.2.5 Umweltbelastung durch die Nutzung fossiler Brennstoffe	39
2.3 Nukleare Brennstoffe	45
2.3.1 Allgemeines	45
2.3.2 Ressourcen an Kernbrennstoffen	46
2.3.3 Brennstoffkreislauf für Leichtwasserreaktoren	47
2.3.4 Umweltbelastungen durch die Nutzung der Kernenergie	49
2.4 Erdwärme	50
2.4.1 Grundlagen	50
2.4.2 Umweltbelastungen durch die Nutzung der Erdwärme	53
2.5 Sonnenenergie	54
2.5.1 Sonnenenergie und umgewandelte Energieformen	54
2.5.2 Umweltbelastungen durch die Nutzung der Sonnenenergie	55
2.6 Schlußbemerkung	55

Literatur	56
3. Umwandlung von Wärme in Arbeit	59
3.1 Einleitung	59
3.2 Der Dampfkraftprozeß	62
3.2.1 Der ideale Clausius-Rankine-Prozeß	62
3.2.2 Irreversible Zustandsänderungen beim Dampfkraftprozeß	67
3.3 Maßnahmen zur Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades	69
3.3.1 Grundsätzliche Gesichtspunkte	69
3.3.2 Erhöhung des Frischdampfzustandes	70
3.3.3 Zwischenüberhitzung	71
3.3.4 Regenerative Speisewasservorwärmung	74
3.3.5 Einfluß des Kondensatordruckes	78
3.3.6 Kraft-Wärmekopplung	79
3.4 Kreisprozesse mit homogenen Medien – Gasturbinenprozeß	81
3.4.1 Der Joule-Prozeß	81
3.4.2 Verbesserungsmöglichkeiten für den Joule-Prozeß	84
3.4.3 Sonderformen des Gasturbinenprozesses	88
3.5 Schlußbemerkung	90
Literatur	90

Teil II. Nutzung fossiler Brennstoffe

4. Dampfkraftwerke	93
4.1 Bedeutung und Entwicklung der Dampfkraftwerke	93
4.2 Stoff- und Energieströme in einem Dampfkraftwerk	95
4.3 Realisierung und Kosten	97
Literatur	100
5. Grundlagen der Verbrennungstechnik	101
5.1 Begriffe und Definitionen	101
5.2 Energiebilanz der Verbrennung	103
5.3 Stoffbilanz der Verbrennung	103
5.3.1 Elementare Verbrennungsrechnung	103
5.3.2 Statistische Verbrennungsrechnung	108
5.3.3 Rauchgaszusammensetzung	110
5.3.4 Stoffdaten	111
5.4 Anmerkungen zum Verbrennungsablauf	115
Literatur	119

6. Feuerungssysteme und -anlagen	121
6.1 Allgemeines	121
6.2 Feuerungssysteme für feste Brennstoffe	123
6.2.1 Rostfeuerungen	123
6.2.2 Staubfeuerungen	129
6.2.3 Wirbelschichtfeuerungen	159
6.3 Feuerungssysteme für Öl und Gas	170
6.3.1 Allgemeines	170
6.3.2 Zerstäubung	171
6.3.3 Brenner für Öl- und Gasfeuerungen	173
6.4 Verluste bei der Verbrennung	174
6.5 Schlußbemerkung	174
Literatur	175
7. Dampferzeuger	177
7.1 Allgemeines	177
7.2 Dampferzeugersysteme	178
7.2.1 Einleitung	178
7.2.2 Naturumlauf	178
7.2.3 Zwangumlauf	185
7.2.4 Zwangdurchlauf	186
7.2.5 Zwangdurchlauf mit Vollastumwälzung	191
7.3 Der Verdampfungsprozeß	192
7.3.1 Strömungsformen und Wärmeübergang in den Verdampferrohren	192
7.3.2 Durchfluß und Massenstromdichte im Verdampfer	197
7.3.3 Wasser/Dampftrennung	199
7.4 Konvektivheizflächen	204
7.4.1 Allgemeines	204
7.4.2 Wärmeübergang	205
7.4.3 Rohrwandtemperaturen	207
7.4.4 Überhitzer	208
7.4.5 Zwischenüberhitzer	210
7.5 Überhitzeranordnung und Kesselbauart	213
7.6 Wirkungsgrad	216
7.6.1 Begriffsbestimmungen	217
7.6.2 Wärmetechnische Auslegung	220
7.7 Regelung von Dampferzeugeranlagen	222
7.7.1 Einleitung	222
7.7.2 Das Mehrgrößensystem Zwangdurchlaufdampferzeuger	223
7.7.3 Dampftemperaturregelung	226
7.7.4 Besonderheiten beim Trommelkessel	228
7.7.5 Andere Dampferzeuger-Regelkreise	229
7.8 Festigkeitsberechnung von Druckteilen	229
7.8.1 Werkstoffe	229

7.8.2	Festigkeitsnachweis	232
7.8.3	Wärmespannungen	234
7.9	Speisewasser	240
7.10	Schlußbemerkung	242
	Literatur	243
8.	Dampfturbinen	245
8.1	Grundlagen	245
8.2	Elementare Theorie axialer Strömungsmaschinen	247
8.3	Optimale Geschwindigkeitsverhältnisse, Stufenzahl	254
8.4	Verluste und Wirkungsgrad	256
8.5	Betriebsweise und Regelung von Dampfturbinen	257
8.5.1	Festdruckbetrieb	258
8.5.2	Gleitdruckbetrieb	260
8.5.3	Modifizierter Gleitdruck	260
8.6	Aufbau einer Dampfturbine	260
8.7	Sicherheitseinrichtungen, Umleitstation, Anfahren	263
8.8	Schlußbemerkung	266
	Literatur	266
9.	Kühlsystem	267
9.1	Allgemeines	267
9.2	Systemaufbau einer Kondensatoranlage	268
9.3	Kondensatorbauarten	269
9.3.1	Mischkondensatoren	269
9.3.2	Oberflächenkondensatoren	271
9.4	Rückkühlanlagen	274
9.4.1	Ablaufkühlung	274
9.4.2	Kreislaufkühlung	278
	Literatur	278
10.	Speisewasserversorgung	279
10.1	Allgemeines	279
10.2	Mischvorwärmer	281
10.2.1	Speisewasserbehälter und Entgaser	281
10.3	Oberflächenvorwärmer	282
10.4	Speisepumpen	284
	Literatur	285
11.	Rauchgasreinigung	287
11.1	Einleitung	287
11.2	Entstaubung	287
11.2.1	Kennzeichnung des Flugstaubes	287
11.2.2	Entstaubungssysteme	288
11.3	Entschwefelung	292

11.4 Stickoxidreduktion	296
11.5 Entsorgung der Rückstände	297
Literatur	298
12. Der Aufbau eines Kraftwerksblocks	299
12.1 Allgemeines	299
12.2 Gesamtanordnung	300
12.3 Ausführungsbeispiel eines Dampfkraftprozesses	301
13. Dynamik der MW-Erzeugung in Dampfkraftwerken	305
13.1 Einleitung	305
13.2 Modellbildung	306
13.2.1 Allgemeines	306
13.2.2 κ_D -Theorie	307
13.2.3 Kesselmodelle	312
13.2.4 Modell des Dampferzeugers mit Turbogruppe	320
13.3 Schlußbemerkung	323
Literatur	324
14. Zukunftsperspektiven für Dampfkraftwerke	325
Literatur	326
15. Nutzung fossiler Brennstoffe in Gasturbinen- und Kombi- kraftwerken	327
15.1 Einleitung	327
15.2 Kombikraftwerke mit Kohlevergasung	328
15.2.1 Kohlevergasung	328
15.2.2 Aufbau einer Gasturbine	332
15.2.3 Kombinierte Kraftwerksprozesse	336
15.3 Kombikraftwerke mit aufgeladener Feuerung und Heißgasrei- nigung	344
15.3.1 Allgemeines	344
15.3.2 Anlagen mit aufgeladener Wirbelschicht	345
15.3.3 Anlagen mit aufgeladenen Staubfeuerungen	346
15.4 Andere Vorschaltprozesse	347
15.4.1 Allgemeines	347
15.4.2 Zweistoff-Kraftwerksprozesse mit Kalium und Wasser ..	348
15.5 Energiespeicherung mit Luftspeicher-Gasturbinenkraftwerken	349
15.6 Schlußbemerkung	351
Literatur	352
16. Alternative Prozesse zur Nutzung fossiler Brennstoffe	353
16.1 Einleitung	353
16.2 Brennstoffzellen	353
16.2.1 Allgemeines	353

16.2.2	Thermodynamik der Brennstoffzelle	355
16.2.3	Technische Grundlagen	358
16.2.4	Aufbau eines Brennstoffzellenkraftwerks	361
16.2.5	Schlußbemerkung	362
16.3	Magnetohydrodynamische Energiewandler	363
16.3.1	Grundlagen	363
16.3.2	MHD-Kraftwerke	369
16.3.3	Schlußbemerkung	371
	Literatur	371

Teil III. Nutzung nuklearer und regenerativer Energien

17.	Kernspaltung	375
17.1	Einleitung	375
17.2	Physikalische Grundlagen	375
17.2.1	Kettenreaktion	380
17.2.2	Spaltreaktionen	382
17.2.3	Nachwärme	391
17.2.4	Konversion und Brüten	391
17.3	Grundzüge der Reaktorwärmetechnik	392
17.3.1	Leistungsdichte	392
17.3.2	Temperaturverteilung im Brennstab	393
17.4	Aufbau von Kernreaktoren	395
17.4.1	Allgemeines	395
17.4.2	Klassifizierung und Aufbau von Reaktoren	396
17.4.3	Druckwasserreaktor	398
17.4.4	Siedewasserreaktor	400
17.4.5	Brutreaktoren	402
17.4.6	Hochtemperaturreaktoren	403
17.5	Bereitstellung von Prozeßwärme mit Kernreaktoren	405
17.6	Sicherheit und Risiken	407
17.6.1	Vorbemerkung	407
17.6.2	Reaktorsicherheit	407
17.6.3	Schlußbemerkung	411
	Literatur	411
18.	Kernfusion	413
18.1	Vorbemerkung	413
18.2	Grundlagen	413
18.3	Fusionsreaktoren	416
18.3.1	Magnetischer Einschluß	416
18.3.2	Trägheitseinschluß	422
18.4	Schlußbemerkung	423
	Literatur	423

19. Nutzung erneuerbarer Energiequellen	425
19.1 Einleitung	425
19.2 Wasserkraft	426
19.2.1 Allgemeines	426
19.2.2 Laufwasserkraftwerke und Speicherkraftwerke	426
19.2.3 Gezeitenkraftwerke	430
19.2.4 Schlußbemerkung	433
19.3 Sonnenenergie	433
19.3.1 Allgemeines	433
19.3.2 Nutzung der Sonnenenergie	438
19.3.3 Thermische Solarkraftwerke	439
19.3.4 Photovoltaische Energieumwandlung	447
19.3.5 Schlußbemerkung	454
19.4 Windenergie	455
19.4.1 Allgemeines	455
19.4.2 Grundlagen	456
19.4.3 Windenergienutzung	458
19.4.4 Betrieb von Windanlagen	462
19.4.5 Aufwindkraftwerk	463
19.4.6 Schlußbemerkung	465
19.5 Folgerungen für die Nutzung regenerativer Energiequellen ...	465
Literatur	466

Teil IV. Zukunftsperspektiven

20. Die weitere Entwicklung	469
20.1 Einleitung	469
20.2 Deckung des künftigen Energiebedarfs	472
20.2.1 Allgemeines	472
20.2.2 Fossile Brennstoffe	473
20.2.3 Kernenergie	477
20.2.4 Regenerative Energiequellen	478
20.2.5 Energieversorgung in naher Zukunft	479
20.3 Schlußbemerkung	481
Literatur	483
Anhang	484
<i>h,s</i> -Diagramm für Wasser	486
<i>h,p</i> -Diagramm für Wasser	487
Physikalische Konstanten	488
Einheiten	489
Sachverzeichnis	491