

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	9
2	Energie und Energiewandlungsprozesse	11
2.1	Energiequellen und deren Nutzung	13
2.2	Energie, Exergie, Anergie	18
2.2.1	Exergie der Wärme	18
2.2.2	Exergie eines strömenden Fluids	19
2.3	Analyse energietechnischer Prozesse	20
2.3.1	Die Energiebilanz	20
2.3.2	Die Exergiebilanz	25
2.3.3	Betriebliche und energiewirtschaftliche Kennzahlen	28
3	Chemisch gebundene Energie (Energie der Brennstoffe)	31
3.1	Reaktions- und Bildungsenthalpien	32
4	Brennstoffzellen (kalte Verbrennung)	36
4.1	Thermodynamik der Brennstoffzellen	37
4.2	Brennstoffzellentypen und Anwendungen	40
4.3	Ökologische Aspekte	44
5	Verbrennungsprozesse und Feuerungen	46
5.1	Brennwert und Heizwert	46
5.2	Stoffbilanzen der Verbrennung	49
5.3	Verbrennungskontrolle	54
5.4	Verbrennungstemperatur	56
5.5	Energetischer Wirkungsgrad einer Feuerung	59
5.6	Exergetischer Wirkungsgrad einer Feuerung	61
5.7	Umweltbelastung, Emissionen aus Feuerungen	65
5.7.1	CO_2 -Emission	66
5.7.2	Rauchgasentstaubung	67
5.7.3	Rauchgasentschwefelung	70
5.7.4	Stickoxydbildung und Entstickung	72
5.7.4.1	Primärmaßnahmen zur NO_x -Minderung	73

6 Inhaltsverzeichnis

5.7.4.2	Sekundärmaßnahmen	74
5.7.5	Wirbelschichtfeuerung	75
6	Wärmeübertragung	78
6.1	Wärmeleitung	78
6.1.1	Eindimensionale stationäre Wärmeleitung in der ebenen Wand und in gekrümmten Wänden	81
6.2	Konvektion (Wärmeübergang)	86
6.2.1	Wärmeübergang bei einphasiger Strömung	89
6.2.2	Wärmeübertragung beim Kondensieren und Verdampfen	96
6.3	Wärmeübertragung durch Strahlung	98
6.3.1	Berechnung der Strahlungswärmeströme	103
6.4	Wärmedurchgang	106
6.5	Wärmeübertrager	110
6.5.1	Rekuperative Wärmeübertrager	110
6.5.1.1	Gleichstrom- und Gegenstromwärmeübertrager	111
6.5.1.2	Kreuzstromwärmeübertrager	115
6.5.1.3	Dreistromwärmeübertrager	117
6.5.1.4	NTU-Design-Methode und Effektivität von Wärmeübertragern	120
6.5.2	Regenerative Wärmeübertrager	123
6.6	Numerische Berechnungsverfahren	125
6.6.1	Numerische Behandlung von Wärmeleitproblemen	126
6.6.2	Numerische Berechnung von Wärmeübertragern	130
6.6.2.1	Stationäres Verhalten von Wärmeübertragern	130
6.6.2.2	Instationäres Verhalten von Wärmeübertragern	133
7	Wärmekraftprozesse und Wärmekraftanlagen	139
7.1	Wärmekraftprozesse mit Gasen	143
7.1.1	Gasturbinen	143
7.1.2	Verbrennungsmotoren	147
7.2	Dampfkraftprozeß und Dampfkraftwerke	152
7.2.1	Thermodynamische Analyse	158
7.2.1.1	Energetischer und exergetischer Wirkungsgrad	162
7.2.2	Instationäres Verhalten - Thermohydraulische Systeme	165
7.2.3	Dampferzeuger	169
7.3	Kombianlagen, GuD - Prozesse	172
7.4	Kraft - Wärme - Kopplung	178
7.5	Ökologische Aspekte	182
7.5.1	CO_2 -Emissionsminderung, CO_2 -Entsorgung	183

8	Kernenergie	186
8.1	Physikalische Grundlagen	186
8.1.1	Bindungsenergie	187
8.1.2	Kernreaktionen, Zerfälle	188
8.2	Reaktortypen für Kernspaltungsprozesse	190
8.2.1	Thermische Reaktoren	192
8.3	Reaktorsicherheit und Umwelt	197
9	Solarenergie und Wasserstofftechnologie	201
9.1	Die Sonnenstrahlung	201
9.2	Wärmetechnische Nutzung der Sonnenenergie	206
9.2.1	Sonnenkollektoren	207
9.2.2	Warmwasserbereitung und Heizung mit Sonnenenergie	217
9.2.3	Solarthermische Kraftwerke	220
9.3	Photoelektrische Nutzung der Sonnenenergie	222
9.3.1	Solarzellen	222
9.3.2	Solargeneratoren	229
9.3.3	Solargenerator und Verbraucher	230
9.4	Solar - Wasserstofftechnologie	233
9.4.1	Herstellung von Wasserstoff mit Hilfe von Sonnenenergie	234
9.4.2	Verwendung von Wasserstoff	239
9.4.3	Anwendung von Metallhydridspeichern	240
10	Rationelle Energienutzung	243
10.1	Wärmerückgewinnung und Abwärmennutzung	243
10.1.1	Passive Abwärmennutzung	245
10.1.2	Aktive Abwärmennutzung	249
10.1.2.1	Kompressionswärmepumpen	249
10.1.2.2	Absorptionswärmepumpen	251
10.1.2.3	Wärmetransformatoren	253
10.2	Integrierte Energiesysteme	260
10.2.1	Wärmeintegration und Prozeßoptimierung	261
Anhang 1	Thermodynamische Formelsammlung	270
Anhang 2	Übungsaufgaben mit Lösungen	276
Literaturverzeichnis		317
Sachwortverzeichnis		321