

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Formelzeichen und Einheiten	11
1 Einleitung	13
1.1 Allgemeine Betrachtungen zur Energieumwandlung	13
1.2 Energieumwandlung in der Technik	14
2 Theoretische Grundlagen	17
2.1 Allgemeine physikalische Größen	17
2.2 Hydromechanik	19
2.2.1 Hydrostatik	19
2.2.2 Kontinuitätsgleichung	20
2.2.3 Bernoullische Gleichung	21
2.2.3.1 Düse und Diffusor	22
2.2.3.2 Messung von Strömungsgeschwindigkeiten	24
2.2.4 Strömung in Rohrleitungen	25
2.2.5 Druckenergieverlust in Rohrleitungen	27
2.2.6 Hauptgleichung der Strömungsmaschinen	28
2.2.7 Kavitation und Verdichtungsstoß	30
2.3 Wärmetechnik	32
2.3.1 Thermische Zustandsgrößen	32
2.3.2 Erster Hauptsatz	33
2.3.3 Spezifische Wärmekapazität	35
2.3.4 Enthalpie	37
2.3.5 Zustandsgleichungen des idealen Gases	40
2.3.5.1 Thermische Zustandsgleichung	40
2.3.5.2 Kalorische Zustandsgleichung	42
2.3.6 Zweiter Hauptsatz	43
2.3.6.1 Entropie	43
2.3.6.2 Darstellung der Entropie durch thermische Zustandsgrößen	44
2.3.6.3 Formulierungen des zweiten Hauptsatzes	44
2.3.6.4 Exergie	45
2.3.6.5 T, s- oder Wärmediagramm	45
2.3.7 Technisch wichtige Zustandsänderungen	47
2.3.8 Gasgemische	51
2.3.9 Normalatmosphäre (Aerostatik)	51
2.3.10 Feuchte Gase	52
2.3.11 Strömung mit großen Druckänderungen	52
2.3.11.1 Dynamische Temperatur	52
2.3.11.2 Totalzustand (Gesamtzustand, Ruhezustand)	53
2.3.12 Kreisprozesse	53
2.3.13 Laval-Düse	54
2.3.14 Zustandsänderungen des Wasserdampfes	60
2.3.15 Arbeitsvermögen des Wasserdampfes	62
2.3.15.1 Nutzarbeit im T,s-Diagramm	62
2.3.15.2 Nutzarbeit im h,s-Diagramm	63
2.3.15.3 Nutzarbeit im p,v-Diagramm	64

2.3.16	Brennstoffe und Verbrennung	65
2.3.16.1	h,T-Diagramm	69
2.3.17	Wärmedurchgang	70
2.3.17.1	Wärmeübergang durch Berührung	71
2.3.17.2	Wärmeübergang durch Strahlung	73
2.4	Wirkungsgrade der Maschinen	74
2.5	Vergleich der Kolben- und Strömungsmaschinen	76
2.6	Regelung	77
3	Kolbenmaschinen	86
3.1	Ventilsteuerung	86
3.2	Kurbeltrieb	86
3.2.1	Kräfte am Kurbeltrieb	86
3.2.2	Tangentialkraftdiagramm	89
3.2.2.1	Ableitung der Bewegungsverhältnisse beim Kurbeltrieb	89
3.2.2.2	Gesamt tangentialkraft	90
3.2.3	Schwungradberechnung	93
3.2.4	Massenausgleich	95
3.2.5	Kräfteausgleich bei der Mehrzylindermaschine	98
3.2.6	Momentenausgleich bei Mehrzylindermaschinen	99
3.3	Kolbenpumpen (Verdrängerpumpen)	102
3.3.1	Kolbenpumpen mit hin- und hergehendem Kolben	102
3.3.1.1	Wirkungsweise	102
3.3.1.2	Fördervolumen	104
3.3.1.3	Saughub	106
3.3.1.4	Druckhub	109
3.3.1.5	Pumpenventile	109
3.3.1.6	Wirkungsgrade	110
3.3.1.7	Sonderformen	111
3.3.2	Drehkolbenpumpen	112
3.3.3	Flüssigkeitsringpumpen	113
3.4	Verdrängungsverdichter	114
3.4.1	Kolbenverdichter	115
3.4.1.1	Thermodynamik der Kolbenverdichter	115
3.4.1.2	Schädlicher Raum	117
3.4.1.3	Wirkliche Verdichtung	120
3.4.1.4	Volumetrischer Wirkungsgrad	120
3.4.1.5	Indizierter Wirkungsgrad; indizierte Leistung	122
3.4.1.6	Mechanischer Wirkungsgrad; Antriebsleistung	123
3.4.1.7	Mehrstufige Kolbenverdichter	123
3.4.1.8	Regelung	125
3.4.2	Rotationsverdichter	127
3.4.2.1	Roots-Gebläse	127
3.4.2.2	Drehkolbenverdichter	129
3.4.2.3	Flüssigkeitsringpumpen als Verdichter	130
3.5	Kolbenmotoren	131
3.5.1	Arbeitsverfahren	132
3.5.2	Aufbau der Kolbenmotoren	132
3.5.3	Verluste, Leistungen, Wirkungsgrade	133
3.5.4	Ottomotor (Viertakt)	135
3.5.4.1	Gemischbildung	139

3.5.4.2	Zündung	145
3.5.4.3	Abgasbehandlung	147
3.5.5	Dieselmotor (Viertakt)	148
3.5.5.1	Vergleich Ottomotor – Dieselmotor	150
3.5.5.2	Einspritzung und Gemischbildung	151
3.5.6	Steuerung des Gaswechsels bei Viertaktmotoren	165
3.5.7	Zweitaktverfahren	166
3.5.7.1	Nachladung beim Zweitaktverfahren	169
3.5.8	Gegenüberstellung von Zweitakt und Viertakt	171
3.5.8.1	Wärmebelastung und Kühlung	171
3.5.8.2	Mechanische Belastung und Schmierung	171
3.5.9	Kreiskolbenmotor (Wankelmotor)	173
3.5.10	Freikolbenmotoren	175
3.5.11	Aufladung	176
3.5.12	Stirlingmotor	181
3.5.13	Kraftstoffe	184
3.5.14	Kühlung	186
3.5.15	Mehrzylinder-Anordnungen	187
3.5.16	Ausführungsbeispiele von Kolbenmotoren	189
3.5.17	Betriebsverhalten der Motoren	197
3.5.18	Alternative Antriebe	200
4	Strömungsmaschinen	201
4.1	Arbeitsverfahren der Strömungsmaschinen	201
4.2	Geschwindigkeitsplan	203
4.2.1	Geschwindigkeiten am radialen Laufrad	206
4.2.2	Geschwindigkeiten am axialen Laufrad	206
4.3	Hauptgleichung der Strömungsmaschinen	206
4.4	Strömungsarbeitsmaschinen	207
4.4.1	Gemeinsame Grundlagen der Strömungsarbeitsmaschinen	207
4.4.1.1	Radial durchströmte Maschinen	207
4.4.1.2	Axial durchströmte Maschinen	231
4.4.2	Festlegung der Schaufelzahl	241
4.4.3	Betriebsverhalten der Strömungsarbeitsmaschinen	242
4.4.3.1	Betriebspunkt	242
4.4.3.2	Kennliniendiagramm	243
4.4.3.3	Drehzahlregelung	244
4.4.3.4	Labiler Zweig der Kennlinie	245
4.4.3.5	Parallelförderung von Kreiselpumpen	245
4.4.3.6	Pumpen bei Kreiselerdichtern	246
4.4.3.7	Betriebsverhalten der Radialverdichter	247
4.4.3.8	Betriebsverhalten der Axialverdichter	248
4.4.4	Vergleich der Kolben- und Strömungsmaschinen	249
4.4.5	Kreiselpumpen	249
4.4.5.1	Leistung und spezifische Förderarbeit	249
4.4.5.2	Saughöhe und Kavitation	250
4.4.5.3	Spezifische Drehzahl und Bauarten	252
4.4.5.4	Ausgleich des Achsschubes	253
4.4.5.5	Sonderformen der Kreiselpumpe	256
4.4.6	Wasserstrahlpumpen (Ejektoren)	259
4.4.7	Turboverdichter	260
4.4.7.1	Thermodynamik der Turboverdichter	260

4.4.7.2	Radialverdichter	270
4.4.7.3	Axialverdichter	273
4.4.8	Propeller	274
4.4.8.1	Luftschrauben	275
4.4.8.2	Schiffsschrauben	277
4.5	Strömungskraftmaschinen	277
4.5.1	Energieumwandlung im Leitapparat	279
4.5.2	Energieumwandlung im Laufrad	280
4.5.2.1	Energieumwandlung im radialen Laufrad	280
4.5.2.2	Energieumwandlung im axialen Laufrad	282
4.5.3	Verluste, Wirkungsgrade, Leistungsbegriffe	283
4.5.4	Kenngrößen von Strömungskraftmaschinen	287
4.5.5	Wasserturbinen	291
4.5.5.1	Francis-Turbine	291
4.5.5.2	Kaplan-Turbine	293
4.5.5.3	Laufradformen	296
4.5.5.4	Saugrohr	298
4.5.5.5	Freistrah-(Pelton-)Turbine	300
4.5.5.6	Wirkungsgrade von Wasserturbinen	303
4.5.5.7	Durchströmturbine	304
4.5.6	Dampfturbinen	304
4.5.6.1	Leitapparate	306
4.5.6.2	Gleichdruckstufe	309
4.5.6.3	Überdruckstufe	309
4.5.6.4	Geschwindigkeitsstufung	312
4.5.6.5	Druckstufung	315
4.5.6.6	Regelung der Dampfturbinen	317
4.5.6.7	Mehrstufige Großturbinen	320
4.5.6.8	Gegendruck- und Entnahmeturbinen	323
4.5.7	Gasturbinen	324
4.5.7.1	Offene Gasturbinenanlagen	324
4.5.7.2	Geschlossene Gasturbinenanlagen	329
4.5.7.3	Kombianlagen	330
5	Grundlagen der Energiewirtschaft	331
5.1	Energiespeicherung	335
5.2	Bedarfsdeckung	338
5.3	Energieverteilung	339
5.4	Deckung von Bedarfsabweichungen	340
5.5	Energieentstehungskosten	341
5.5.1	Feste Kosten	341
5.5.2	Veränderliche Kosten	343
5.6	Einteilung der Kraftwerke (Energieanlagen)	344
6	Wasserkraftwerke	345
6.1	Pumpspeicherkraftwerke	347
6.2	Gezeitenkraftwerke	348
6.2.1	Doppelt wirkende Einbeckenanlage	349
6.2.2	Zweibeckenanlage	350
7	Dampfkraftwerke	352
7.1	Kondensationskraftwerke	352
7.2	Kraft-Wärme-Kopplung	358

7.3	Regelung in Dampfkraftwerken	361
7.3.1	Festdruck- oder Gleitdruckbetrieb	364
7.3.1.1	Festdruckbetrieb	364
7.3.1.2	Gleitdruckbetrieb	365
7.3.1.3	Modifizierter Gleitdruckbetrieb	366
7.4	Dampferzeugung	366
7.4.1	Wärmeumsatz	367
7.4.2	Prinzip der technischen Dampferzeugung	368
7.4.3	Dampferzeuger	370
7.4.3.1	Wasserrohrkessel mit Naturumlauf	372
7.4.3.2	Wasserrohrkessel mit Zwangsumlauf	372
7.4.3.3	Wasserrohrkessel mit Zwangsdurchlauf	372
7.4.3.4	Schiffskessel	375
7.4.3.5	Kessel mit Druckfeuerung	375
7.4.4	Feuerungen	375
7.4.4.1	Schmelzfeuerungen	379
7.4.5	Luftvorwärmer	381
7.4.6	Zugerzeugung	382
7.4.6.1	Schornsteinzug	383
7.4.6.2	Saugzug	384
7.4.7	Speisewasseraufbereitung	385
8	Gasturbinen-Kraftanlagen	386
8.1	Einsatz von Gasturbinen-Kraftanlagen	386
8.2	Gasturbinen-Anlagen als Speicherkraftwerke	388
9	Nutzung der Windenergie	390
9.1	Vorbemerkungen	390
9.2	Windangebot	391
9.3	Aerodynamische Grundlagen	392
9.3.1	Einführung	392
9.3.2	Windenergie und Windleistung	393
9.3.3	Windturbinenleistung	393
9.3.4	Axialkraft	395
9.3.5	Kennwerte	396
9.3.6	Ausführungshinweise	396
9.3.7	Vereinfachte Propellertheorie	397
9.3.8	Kennzahlen	400
9.3.9	Zusammenfassung der Einflüsse bei Windturbinen	400
10	Geothermische Kraftanlagen und Meereswellenkraftwerke	402
10.1	Geothermische Kraftanlagen	402
10.2	Meereswellenkraftwerke	404
11	Verwertung von Abfallenergie	405
11.1	Abhitzeessel	405
11.2	Wärmepumpen	406
11.3	Müllverbrennung	406
	Weiterführendes Schrifttum (Auswahl)	409
	Stichwortverzeichnis	410