

Inhaltsverzeichnis

0.	Einführung	11	2.2.	Mehrere Stoffströme schneiden die Systemgrenze	55
0.1.	Gegenstand der Technischen Thermodynamik	11	3.	Mischungen idealer Gase	58
0.2.	Hinweise für das Studium	12	3.1.	Zusammensetzung der Gasgemische	58
1.	Grundlagen	14	3.2.	Zur thermischen Zustandsgleichung der idealen Gasmischung	60
1.1.	Grundbegriffe	14	3.2.1.	Dichte ρ_m einer idealen Gasmischung	62
1.1.1.	Thermodynamisches System ..	14	3.2.2.	Molare Masse M_m einer idealen Gasmischung	62
1.1.2.	Zustandsgrößen	17	3.2.3.	Gaskonstante R_m der idealen Gasmischung	62
1.1.3.	Thermische Zustandsgleichung	21	3.2.4.	Zusammenhang zwischen Massen- und Raumanteilen ...	63
1.1.3.1.	Thermische Zustandsgleichung des idealen Gases	21	3.3.	Kalorische Zustandsgrößen der idealen Gasmischung	65
1.1.3.2.	Normzustand	24	4.	Zustandsänderung idealer Gase	70
1.1.3.3.	Zur thermischen Zustandsgleichung kondensierter Körper	26	4.1.	Grundlagen	70
1.1.4.	Prozeß und Zustandsänderung	27	4.2.	Isochore Zustandsänderung ...	72
1.1.5.	Nichtstatische und quasistatische Zustandsänderung ..	28	4.3.	Isobare Zustandsänderung	75
1.1.6.	Reversible und irreversible Prozesse	28	4.4.	Isotherme Zustandsänderung ..	78
1.2.	Formen der Energieübertragung zwischen System und Umgebung	29	4.5.	Isentrope Zustandsänderung ..	81
1.2.1.	Volumenänderungsarbeit	29	4.6.	Polytrope Zustandsänderung ..	86
1.2.2.	Technische Arbeit	31	4.7.	Verdichterprozeß	92
1.2.3.	Wärme	34	5.	II. Hauptsatz	101
1.3.	Energieerhaltungssatz und Energieinhalt thermodynamischer Systeme	35	5.1.	Erfahrungssatz über die Richtung der natürlichen Prozesse .	101
1.3.1.	Zum Inhalt des I. Hauptsatzes	35	5.2.	Zur mathematischen Formulierung des II. Hauptsatzes ...	104
1.3.2.	Innere Energie und I. Hauptsatz	36	5.3.	Zur Berechnung der Entropieänderung	105
1.3.3.	Enthalpie und I. Hauptsatz ...	40	5.4.	Entropietransport und Entropieerzeugung	106
1.3.3.1.	Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärmekapazität .	42			
1.3.3.2.	Berechnung der Enthalpieänderung für ideales Gas	44			
2.	Anwendung des I. Hauptsatzes auf offene thermodynamische Systeme	50			
2.1.	Ein Stoffstrom schneidet die Systemgrenze	50			

6.	Kreisprozesse	110	8.4.2.	Isobare	170
6.1.	Allgemeines	110	8.4.3.	Isotherme	173
6.2.	Kraftmaschinenprozeß	110	8.4.4.	Ientropie	173
6.2.1.	Prozeßarbeit und thermischer Wirkungsgrad	110	8.4.5.	Adiabate	174
6.2.2.	Carnotprozeß	115	8.4.6.	Drosselung	175
6.2.3.	Ottoprozeß	118	8.5.	Dampfkreisprozesse	179
6.2.4.	Dieselprozeß	123	8.5.1.	Dampfkraftprozeß nach <i>Clausius-Rankine</i>	179
6.2.5.	Seiligerprozeß	126	8.5.2.	Dampfkraftprozeß mit regene- rativer Speisewasservorwär- mung und Zwischenüberhitzung	182
6.2.6.	Zum Gasturbinenprozeß	128	8.5.3.	Kältemaschinen und Wärme- pumpenprozeß mit Kaltdampf	184
6.3.	Kältemaschinen- und Wärme- pumpenprozeß	131			
7.	Exergie und Anergie	134	9.	Gas-Dampf-Gemische	187
7.1.	Inhalt und Bedeutung des Exergiebegriffs	134	9.1.	Zustandsgrößen der Gas- Dampf-Gemische	187
7.2.	Exergie der Wärme	136	9.1.1.	Relative Feuchte	187
7.3.	Physikalische Exergie eines Stoffstroms	137	9.1.2.	Absolute Feuchte	188
7.4.	Exergiebilanz und Exergie- verlust	139	9.1.3.	Zusammenhang zwischen φ und x	188
7.4.1.	Exergieverlust beim Strömungsprozeß	142	9.1.4.	Gasmasse, Dampfmasse und Dichte	190
7.4.2.	Exergieverlust bei der Wärme- übertragung	143	9.1.5.	Enthalpie	191
7.5.	Energetische und exergetische Beurteilungsquotienten	144	9.1.5.1.	Berechnung der Enthalpie ...	191
8.	Dämpfe	147	9.1.5.2.	h,x -Diagramm für feuchte Luft (nach <i>Mollier</i>)	194
8.1.	Phasen und Komponenten ...	147	9.2.	Zustandsänderungen	195
8.2.	Thermische Zustandsgrößen ..	150	9.2.1.	Erwärmung	195
8.2.1.	Isobarer Verdampfungsvorgang	150	9.2.2.	Mischung	196
8.2.2.	Thermische Zustands- diagramme	151	9.2.3.	Zumischung von Flüssigkeit oder Dampf	197
8.2.2.1.	Dampfdruckkurve	151	9.2.4.	Abkühlung	200
8.2.2.2.	t,v -Diagramm	153	9.2.4.1.	Taupunkt	200
8.2.2.3.	p,v -Diagramm	154	9.2.4.2.	Abkühlung an Kühlflächen ..	201
8.2.3.	Spezifisches Volumen	155	9.2.5.	Verdichtung	203
8.2.4.	Realgasfaktor	156	10.	Wärmeübertragung	205
8.3.	Kalorische Zustandsgrößen ..	161	10.1.	Grundbegriffe	205
8.3.1.	Bezugspunkt der kalorischen Zustandsgrößen	161	10.2.	Stationäre Wärmeleitung	206
8.3.2.	Ungesättigte Flüssigkeit	162	10.2.1.	Grundgesetz	206
8.3.3.	Gesättigte Flüssigkeit	163	10.2.2.	Wärmeleitung durch die ebene Wand	210
8.3.4.	Sattdampf	163	10.2.2.1.	Einschichtige ebene Wand ...	210
8.3.5.	Naßdampf	164	10.2.2.2.	Mehrschichtige ebene Wand ..	212
8.3.6.	Heißdampf	165	10.2.3.	Wärmeleitung durch die einfach gekrümmte Wand (Rohrwand)	214
8.3.7.	Kalorische Dampfdiagramme ..	165	10.2.3.1.	Einschichtige Rohrwand	214
8.4.	Zustandsänderungen	168	10.2.3.2.	Mehrschichtige Rohrwand	215
8.4.1.	Isochore	168	10.3.	Wärmeübergang durch Kon- vektion	217

10.3.1.	Wesen des Wärmeübergangs durch Konvektion	217	10.5.1.	Grundgleichung	266
10.3.2.	Einflüsse, die die Konvektion bestimmen	218	10.5.2.	Ebene Wand	267
10.3.2.1.	Freie und erzwungene Strömung	218	10.5.3.	Einfach gekrümmte Wand	268
10.3.2.2.	Laminare und turbulente Strömung	218	10.5.4.	Ermittlung der Wandtemperaturen	271
10.3.3.	Grundgleichung und Wärmeübergangskoeffizient	219	10.5.5.	Berippte Wand	272
10.3.4.	Stoffeigenschaften und Kennzahlen	222	10.6.	Berechnung der Wärmeübertrager	276
10.3.4.1.	Kennzeichnende Stoffeigenschaften für den Wärmeübergang durch Konvektion	222	10.6.1.	Allgemeines	276
10.3.4.2.	Kennzahlen der Ähnlichkeitstheorie	225	10.6.2.	Schaltarten der Wärmeübertrager	277
10.3.5.	Wärmeübergang bei freier Strömung	227	10.6.3.	Mittleres Temperaturgefälle ..	280
10.3.5.1.	Körper im unbegrenzten Raum	227	10.6.4.	Ablauftemperaturen. Temperaturverlauf längs der Heizfläche	284
10.3.5.2.	Begrenzte Räume	229	10.6.4.1.	Allgemeines	284
10.3.6.	Wärmeübergang bei erzwungener Strömung	231	10.6.4.2.	Ermittlung der Ablauftemperaturen durch „Probieren“ ..	284
10.3.6.1.	Strömung entlang einer ebenen Wand	231	10.6.4.3.	Analytische Berechnung des Temperaturverlaufes längs der Heizfläche	288
10.3.6.2.	Strömung in Rohren und Kanälen	232	10.6.4.4.	Betriebscharakteristik Φ der Wärmeübertrager	291
10.3.6.3.	Strömung quer zu Rohren	235	10.7.	Nichtstationäre Wärmeleitung	294
10.3.7.	Wärmeübergang bei Verdampfung und Kondensation ..	240	10.7.1.	Kennzeichen der nichtstationären Wärmeleitung	294
10.3.7.1.	Verdampfung	240	10.7.2.	Grundgleichung	295
10.3.7.2.	Kondensation	244	10.7.3.	Differenzverfahren nach Schmidt	295
10.4.	Wärmeübergang durch Strahlung	247	10.7.4.	Analytische Verfahren	302
10.4.1.	Wesen der Wärmestrahlung	247	10.7.4.1.	Allgemeines	302
10.4.2.	Absorption, Reflexion und Durchlässigkeit	247	10.7.4.2.	Mittentemperatur verschiedener Körper nach plötzlicher Änderung der Oberflächentemperatur	302
10.4.3.	Strahlung des schwarzen Körpers	249	10.7.4.3.	Temperaturverlauf in Körpern nach plötzlicher Änderung der Umgebungstemperatur	304
10.4.4.	Strahlung technischer Oberflächen	251	11.	Verbrennung	310
10.4.5.	Wärmeübertragung durch Strahlung zwischen Körperoberflächen	254	11.1.	Einleitung	310
10.4.5.1.	Parallele gleich große Flächen mit geringem Abstand	254	11.2.	Brennstoffe	310
10.4.5.2.	Umhüllte Flächen	257	11.2.1.	Arten	310
10.4.5.3.	Beliebig zueinander liegende, sich nicht umhüllende Flächen	259	11.2.2.	Zusammensetzung	311
10.4.5.4.	Strahlungsschutz	260	11.2.2.1.	Feste Brennstoffe	311
10.4.6.	Gasstrahlung	261	11.2.2.2.	Flüssige Brennstoffe	311
10.4.7.	Flammenstrahlung	264	11.2.2.3.	Gasförmige Brennstoffe	312
10.4.8.	Wärmeübergang durch Konvektion und Strahlung	265	11.3.	Verbrennungswärme und Heizwert	312
10.5.	Wärmedurchgang	266	11.3.1.	Definition	312
			11.3.2.	Ermittlung der Verbrennungswärme und des Heizwertes ..	314
			11.4.	Stöchiometrische Verbrennungsrechnung	317

11.4.1.	Ziel der Verbrennungsrechnung	317	Tafelanhang	349
11.4.2.	Luftbedarf und Rauchgasmenge	317	Literatur- und Quellenverzeichnis	371
11.4.2.1.	Feste und flüssige Brennstoffe	317	Sachwortverzeichnis	372
11.4.2.2.	Brenngase	322		
11.4.3.	Verbrennungsrechnung mit Brennstoffkenngrößen	325		
11.4.4.	Berücksichtigung der Luft- feuchte	327	Bellagen:	
11.5.	Statistische Verbrennungs- rechnung	329	Diagramm 8.1	Mollier- h,s -Diagramm für Wasserdampf
11.6.	Zusammensetzung des Rauch- gases	329	Diagramm 8.2	Mollier- $lg p,h$ -Diagramm für Kühlmittel R 12
11.7.	Verbrennungskontrolle	332	Diagramm 9.1	Mollier- h,x -Diagramm für feuchte Luft für 0,10 MPa Gesamtdruck (0,1 MPa = 1 bar)
11.7.1.	Vollkommene Verbrennung	332	Diagramm 10.1	Betriebscharakteristik eines Wärmeübertragers bei Gleichstrom [1]
11.7.2.	Unvollkommene Verbrennung	335	Diagramm 10.2	Betriebscharakteristik eines Wärmeübertragers bei Gegenstrom [1]
11.8.	Stoffwerte von Rauchgasen	339	Diagramm 10.3	Betriebscharakteristik eines Wärmeübertragers bei Kreuzstrom [1]
11.9.	h,t -Diagramm für Rauchgas	340		
11.10.	Verbrennungstemperatur	341		
11.11.	Taupunkt des Rauchgases	344		
11.11.1.	Wasserdampftaupunkt	344		
11.11.2.	Wirklicher Taupunkt	344		
11.12.	Zündung	345		
11.12.1.	Zündtemperatur und Zünd- energie	345		
11.12.2.	Zündgeschwindigkeit und Zünd- grenzen	346		