

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	XIII
1 Einleitung	1
2 Einheiten physikalischer Größen	3
3 Systeme	6
3.1 Definition von Systemen	6
3.2 Systemarten	7
3.2.1 Geschlossenes System	7
3.2.2 Offenes System	8
3.2.3 Adiabates System	9
3.2.4 Abgeschlossenes System	10
3.2.5 Einphasensystem	10
3.2.6 Mehrphasensystem	11
4 Zustandsgrößen	12
4.1 Materiemenge als Zustandsgröße	12
4.2 Thermische Zustandsgrößen	14
4.2.1 Volumen	14
4.2.2 Druck	14
4.2.3 Temperatur	19
4.3 Klassifizierung	23
4.3.1 Extensive Zustandsgrößen	23
4.3.2 Intensive Zustandsgrößen	23
4.3.3 Spezifische Zustandsgrößen	23
4.3.4 Molare Zustandsgrößen	24
5 Gleichgewichtszustände	25
5.1 Mechanisches Gleichgewicht	25
5.2 Thermisches Gleichgewicht	26
5.3 Chemisches Gleichgewicht	27
5.4 Thermodynamisches Gleichgewicht	27
5.5 Lokales thermodynamisches Gleichgewicht	27
6. Zustandsänderung und Prozeß	28
6.1 Definitionen	28

6.1.1 Isochore Zustandsänderung	28
6.1.2 Isobare Zustandsänderung	28
6.1.3 Isotherme Zustandsänderung	29
6.2 Nichtstatische Zustandsänderung	29
6.3 Quasistatische Zustandsänderung	29
6.4 Ausgleichsprozesse	31
6.5 Reversible und irreversible Prozesse	31
7 Zustandsgleichungen	33
7.1 Festkörper	37
7.2 Flüssigkeiten	40
7.3 Ideale Gase	41
7.3.1 Gesetz von Gay-Lussac	42
7.3.2 Gesetz von Boyle-Mariotte	43
7.3.3 Thermische Zustandsgleichung idealer Gase	44
7.3.4 Gesetz von Avogadro	48
7.3.5 Die universelle Gaskonstante	48
7.3.6 Normzustand	50
7.3.7 Mischungen idealer Gase	51
7.4 Reale Gase	57
7.5 Dämpfe	59
7.5.1 Dampfarten	59
7.5.2 Dampfdruckkurven	61
7.5.3 Grenzkurven	61
7.5.4 Thermische Zustandsgleichung des Dampfes	63
8 Kinetische Gastheorie	66
8.1 Druck als Summe von Stoßvorgängen	66
8.2 Die absolute Temperatur und die kinetische Energie	70
9 Arbeit	72
9.1 Definition der Arbeit	72
9.2 Arbeit und Energieübertragung	73
9.3 Arbeit an fluiden Systemen	77
9.3.1 Volumenänderungsarbeit	77
9.3.2 Wellenarbeit	81
9.4 Arbeit und Dissipationsenergie	83
10 Innere Energie und Enthalpie	85
10.1 Innere Energie	85
10.2 Enthalpie	86
10.3 Kalorische Zustandsgleichungen der inneren Energie und der Enthalpie	87
10.3.1 Innere Energie und Enthalpie fester und flüssiger Phasen	88
10.3.2 Innere Energie und Enthalpie idealer Gase	91

10.3.3 Innere Energie und Enthalpie der Dämpfe	93
10.4 Spezifische Wärmekapazitäten	95
10.4.1 Wahre spezifische Wärmekapazitäten.....	95
10.4.2 Mittlere spezifische Wärmekapazitäten	97
11 Äquivalenz von Wärme und Arbeit	100
12 Der erste Hauptsatz der Thermodynamik für geschlossene Systeme ...	103
12.1 Der erste Hauptsatz für geschlossene ruhende Systeme	103
12.2 Der erste Hauptsatz für geschlossene bewegte Systeme.....	106
13 Wärme	108
13.1 Einheit der Wärme.....	108
13.2 Wärmemengenberechnung	109
13.2.1 Wärmemenge bei isochorer Zustandsänderung.....	109
13.2.2 Wärmemenge bei isothermer Zustandsänderung	110
13.2.3 Wärmemenge bei isobarer Zustandsänderung.....	110
13.3 Wärmebilanzen	111
13.3.1 Mischungstemperatur	111
13.3.2 Messung der spezifischen Wärmekapazität.....	112
13.4 Wärmeübertragung	113
14 Wärme und Arbeit bei reversiblen Zustandsänderungen idealer Gase	119
14.1 Isochore Zustandsänderung	119
14.2 Isobare Zustandsänderung	121
14.3 Isotherme Zustandsänderung	122
14.4 Adiabate Zustandsänderung.....	124
15 Wärme und Arbeit bei polytroper Zustandsänderung	128
16 Die Entropie	134
16.1 Entropie als Zustandsgröße.....	134
16.1.1 Entropie fester und flüssiger Phasen	137
16.1.2 Entropie idealer Gase	137
16.1.3 Entropie der Dämpfe	139
16.1.4 Die absolute Temperatur als integrierender Faktor	139
16.2 Entropiebilanz geschlossener Systeme	140
17 Der erste Hauptsatz für offene Systeme	143
17.1 Strömungsmechanische Grundlagen.....	143
17.1.1 Volumenstrom.....	143
17.1.2 Massenstrom.....	145
17.1.3 Energiestrom	146
17.1.4 Zeitverhalten von Strömungen	146
17.1.5 Massenstrombilanz.....	147

17.2 Energie und Arbeit bei Fließprozessen offener Systeme	149
17.2.1 Energiebilanz instationärer Fließprozesse	149
17.2.2 Energiebilanz stationärer Fließprozesse	154
17.2.3 Technische Arbeit und Dissipation bei stationären Fließprozessen	156
17.3 Entropiebilanz offener Systeme	161
18 Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	164
19 Der zweite Hauptsatz und die Entropie	167
19.1 Dissipation in adiabaten Systemen	167
19.2 Wärmeübertragung bei endlicher Temperaturdifferenz	169
20 Darstellung von Wärme und Arbeit in Entropiediagrammen	171
20.1 T,s -Diagramme	171
20.1.1 T,s -Diagramme für spezielle Zustandsänderungen idealer Gase	175
20.1.2 Adiabate Systeme	182
20.1.3 T,s -Diagramme realer Gase	185
20.2 h,s -Diagramme	185
21 Kalorische Zustandsgleichungen idealer Gasgemische	188
21.1 Kalorische Zustandsgleichung idealer Gasgemische	188
21.1.1 Innere Energie	188
21.1.2 Enthalpie	189
21.1.3 Entropie	189
21.2 Ideale Gas-Dampf-Gemische	190
21.3 Kalorische Zustandsgleichungen der feuchten Luft	191
21.3.1 Kennzahlen der feuchten Luft	191
21.3.2 Thermische Variable der feuchten Luft	194
21.3.3 Spezielle Zustandsänderungen ungesättigter feuchter Luft	195
21.3.4 Enthalpie der feuchten Luft	197
21.3.5 Entropie der feuchten Luft	201
21.3.6 Mollier-Diagramm der feuchten Luft	204
22 Reversible Kreisprozesse	208
22.1 Kreisprozesse geschlossener Systeme	209
22.2 Kreisprozesse in offenen Systemen	211
22.3 Bewertungskennzahlen für Kreisprozesse	213
22.3.1 Thermischer Wirkungsgrad	213
22.3.2 Leistungsziffer	214
23 Reversible Kreisprozesse thermischer Maschinen	216
23.1 Vergleichsprozesse für Kolbenkraftmaschinen	216
23.1.1 Otto-Prozeß	216
23.1.2 Diesel-Prozeß	221

23.1.3 Seiliger-Prozeß	225
23.2 Vergleichsprozesse für Turbomaschinen	227
23.2.1 Joule-Prozeß der einfachen Gasturbinenanlage	227
23.2.3 Ericson-Prozeß	230
23.2.3 Dampfturbinen-Prozeß	232
23.3 Carnot-Prozeß	236
24 Irreversible Fließprozesse	241
24.1 Das Polytropenverhältnis	241
24.2 Wirkungsgrade	246
24.2.1 Innerer Wirkungsgrad	246
24.2.2 Statischer Wirkungsgrad	248
24.2.3 Polytroper Wirkungsgrad	249
24.2.4 Polytrape und isentrope Wirkungsgrade adiabater Maschinen	250
24.2.5 Mechanischer Wirkungsgrad	253
25 Irreversible Prozesse in thermischen Maschinen	255
25.1 Die einfache Gasturbine	255
25.2 Die Fahrzeuggasturbine	260
25.3 Prozeß der Zweiwellengasturbine mit Wärmetauscher	266
26 Strömungsprozesse in Düsen und Diffusoren	269
26.1 Funktion von Düsen und Diffusoren	270
26.2 Schallgeschwindigkeit und Machzahl	270
26.3 Ausströmgeschwindigkeit und Stromdichte	271
26.4 Druckverlauf und Querschnittsverlauf	275
26.5 Die Lavaldüse	277
26.6 Wirkungsgrade von Düse und Diffusor	279
27 Exergie und Anergie	281
27.1 Exergie und Anergie der Wärme	282
27.2 Exergie und Anergie der Enthalpie	284
27.3 Exergie und Anergie der inneren Energie	286
27.4 Exergieverlust	287
27.5 Exergetischer Wirkungsgrad	289
28 Wärmeerzeugung durch Verbrennung	294
28.1 Brennstoffe	294
28.1.1 Feste Brennstoffe	295
28.1.2 Flüssige Brennstoffe	296
28.1.3 Gasförmige Brennstoffe	297
28.2 Verbrennungsprozeß	297
28.3 Reaktionsgleichungen	298
28.3.1 Sauerstoffbedarf	299
28.3.2 Luftbedarf	302

28.3.3 Verbrennungsgas.....	303
28.4 Heizwert und Brennwert.....	310
28.5 Enthalpie-Temperatur-Diagramm der Verbrennungsgase.....	316
Repetitorium	320
Fragen und Aufgaben	320
Antworten und Lösungen	334
Anhang A Einheiten	365
Tabelle A1 Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems	365
Tabelle A2 Einheitenvorsätze (Präfixe).....	366
Tabelle A3 Angelsächsische Einheiten und Einheitengleichungen.....	367
Anhang B Stoffdaten	368
Tabelle B1 Stoffdaten idealer Gase bei 0 °C	368
Tabelle B2 Sättigungsdampf­tafel für Wasser (Drucktafel)	369
Tabelle B3 Sättigungsdampf­tafel für Wasser (Temperaturtafel)	372
Tabelle B4 Sättigungsdampf­tafel für Ammoniak	375
Tabelle B5 Mittlere spezifische isobare Wärmekapazität idealer Gase	377
Tabelle B6 Logarithmisch gemittelte spezifische isobare Wärmekapazitäten von Luft und Verbrennungsgas	379
Tabelle B7 Thermophysikalische Stoffgrößen verschiedener Materialien.....	380
Literatur	382
Sachverzeichnis	384