

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	30
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 Polytrope 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 Sättigungsdampf tabel für Wasser (Drucktabel)	369
Tabelle B3 Sättigungsdampf tabel für Wasser (Temperaturtabel)	372
Tabelle B4 Sättigungsdampf tabel 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