
Thermodynamik

Ein Lehrbuch für Ingenieure

von
Herbert Windisch

2., verbesserte Auflage

Oldenbourg Verlag München Wien

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Inhaltsverzeichnis	VII
1 Einführung	1
1.1 Thermodynamik wozu?	1
1.2 Welche Aussagen macht die Thermodynamik?	1
1.3 Methoden der Thermodynamik	2
2 System und Zustand	5
2.1 System, Systemgrenze, Systemeigenschaften	5
2.1.1 Systeme	5
2.1.2 Systemeigenschaften	7
2.2 Zustand und Zustandsgrößen	9
2.2.1 Zustand und Prozess	10
2.2.2 Zustandsgrößen	10
2.3 Thermische Zustandsgleichung	18
2.3.1 Die individuelle Gaskonstante R_i	19
2.3.2 Die allgemeine Gaskonstante R	22
2.4 Zustandsdiagramme	23
3 Prozesse und Prozessgrößen	27
3.1 Prozesse	27
3.1.1 Zustandsänderungen durch Prozesse	28
3.2 Der Energieerhaltungssatz	32
3.3 Wärme, Wärmemenge, Wärmekapazität	33
3.3.1 Spezifische Wärmekapazität c	34
3.3.2 Spezifische Wärmekapazitäten von festen und flüssigen (gasförmigen) Stoffen in der Anwendung	39
3.3.3 Mischungstemperatur	41
3.3.4 Schmelz- und Verdampfungsenthalpie	43

3.4	Arbeit	47
3.4.1	Umwandlung mechanischer oder elektrischer Arbeit in thermische Energie.....	48
4	Der 1. und 2. Hauptsatz der Thermodynamik	55
4.1	Die Innere Energie	55
4.2	Der 1. Hauptsatz für geschlossene Systeme	60
4.2.1	Ruhende Systeme	60
4.2.2	Bewegte Systeme	62
4.3	Der 1. Hauptsatz für offene Systeme	62
4.3.1	Stationäre Prozesse	63
4.4	Kalorische Zustandsgleichung	70
4.4.1	Innere Energie	70
4.4.2	Enthalpie	71
4.5	Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik	75
4.5.1	Die Entropie	77
4.6	Der 3. Hauptsatz der Thermodynamik	87
5	Zustandsänderungen idealer Gase	89
5.1	Die isochore Zustandsänderung ($V = \text{konstant}$)	91
5.2	Die isobare Zustandsänderung ($p = \text{konstant}$).....	94
5.3	Die isotherme Zustandsänderung ($T = \text{konstant}$)	99
5.4	Die isentrope Zustandsänderung ($s = \text{konstant}$)	104
5.5	Die polytrope Zustandsänderung	110
6	Gasmischungen, feuchte Luft und Dampf	123
6.1	Gasmischungen idealer Gase	123
6.1.1	Der Raumanteil und das Partialvolumen.....	124
6.1.2	Der Massenanteil.....	125
6.1.3	Die Dichte einer Gasmischung.....	126
6.1.4	Die Molmasse einer Gasmischung	127
6.1.5	Umrechnung Massenanteil in Raumanteil	127
6.1.6	Der Partialdruck p_i	128
6.1.7	Die spezifischen Wärmekapazitäten c_p und c_v	128
6.2	Dampf	132
6.2.1	Das Verhalten von reinen Stoffen am Beispiel Wasser.....	132
6.2.2	Zustandsgrößen von Nassdampf	137
6.2.3	Das T,s - und h,s -Diagramm für Wasser	139

6.3	Feuchte Luft (Gas-Dampf-Gemisch).....	144
6.3.1	Absolute Feuchte.....	146
6.3.2	Relative Feuchte.....	147
6.3.3	Das spezifische Volumen feuchter Luft.....	148
6.3.4	Die spezifische Enthalpie feuchter Luft.....	149
6.3.5	Das h,x -Diagramm für feuchte Luft.....	152
7	Prozesse von Kraft- und Arbeitsmaschinen	157
7.1	Grundsätzliches zu Kreisprozessen.....	157
7.2	Vergleichsprozesse von Kraftmaschinen.....	163
7.2.1	Der Carnot-Prozess.....	164
7.2.2	Der Gleichraum-Prozess.....	170
7.2.3	Der Gleichdruck-Prozess.....	175
7.2.4	Der Seiliger-Prozess.....	181
7.2.5	Der Joule-Prozess.....	185
7.2.6	Der Stirling-Prozess.....	191
7.3	Kältemaschinen und Wärmepumpe.....	197
7.3.1	Gaskältemaschinen.....	200
7.3.2	Dampfkältemaschinen.....	202
7.4	Der Verdichter.....	204
7.4.1	Der verlustlose Verdichter.....	204
7.4.2	Der reale Verdichter.....	207
7.4.3	Isentroper Turbinen- und Verdichterwirkungsgrad.....	215
8	Ausgewählte adiabate, rigide Strömungsprozesse	223
8.1	Grundlagen.....	223
8.2	Die adiabate Drosselung.....	230
8.3	Die adiabate Düsen- und Diffusorströmung.....	233
8.3.1	Düse.....	233
8.3.2	Diffusor.....	238
8.4	Querschnittsflächen bei isentroper Düsen- und Diffusorströmung.....	242
9	Wärmeübertragung	249
9.1	Wärmeleitung.....	253
9.1.1	Wärmeleitung durch eine ebene Wand.....	254
9.1.2	Wärmeleitung durch mehrschichtige ebene Wände.....	259
9.1.3	Wärmeleitung durch zylindrische Wände.....	262
9.2	Wärmeübergang.....	266
9.2.1	Berechnung der Wärmeübergangszahl über die Nußelt-Zahl.....	269
9.2.2	Nußelt-Beziehungen beim Phasenwechsel.....	285

9.3	Wärmedurchgang	294
9.4	Temperaturstrahlung	300
9.4.1	Wärmeübertragung durch Strahlung	310
9.4.2	Das Strahlungsverhalten von Gasen	315
9.5	Wärmeübertrager	316
9.5.1	Berechnung von Rekuperatoren	319
10	Tabellen	341
11	Formelzeichen, Indizes, Abkürzungen	355
12	Literaturverzeichnis	361
13	Fachwörterlexikon	363
	Deutsch – Englisch	363
	Englisch – Deutsch	372
	Index	381