

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1 Grundbegriffe | 1 |
| 1.1 Thermodynamisches System | 1 |
| 1.2 Zustand und Zustandsgrößen; Prozeß | 2 |
| 1.3 Natürliche Vorgänge und Gleichgewicht; Temperatur | 4 |
| 1.4 Nullter Hauptsatz | 5 |
| 1.5 Temperaturfixpunkte und empirische Temperaturskala | 5 |
| 1.6 Thermische Zustandsgleichung idealer Gase | 6 |
| 1.6.1 Versuch von Gay-Lussac | 6 |
| 1.6.2 Boyle-Mariottesches Gesetz | 6 |
| 1.6.3 Zustandsgleichung idealer Gase | 7 |
| 1.6.4 Vollständiges Differential | 8 |
| 2 Erster Hauptsatz der Thermodynamik | 11 |
| 2.1 Volumenänderungsarbeit | 11 |
| 2.2 Innere Energie | 13 |
| 2.3 Erster Hauptsatz für geschlossene Systeme | 14 |
| 2.4 Innere Energie idealer Gase | 15 |
| 2.5 Spezifische Wärmekapazität | 18 |
| 3 Zustandsänderungen | 23 |
| 3.1 Quasistatische und nichtstatische Zustandsänderungen | 23 |
| 3.2 Quasistatische Zustandsänderungen | 24 |
| 3.2.1 Zustandsänderung bei konstantem Volumen (Isochore) | 24 |
| 3.2.2 Zustandsänderung bei konstantem Druck (Isobare) | 25 |
| 3.2.3 Zustandsänderung bei $pV = \text{konst.}$ | 26 |
| 3.2.4 Isentrope Zustandsänderung | 26 |
| 3.2.5 Polytrope Zustandsänderungen | 29 |
| 4 Kreisprozesse | 33 |
| 4.1 Otto-Prozeß | 33 |
| 4.2 Rechtslaufender Carnot-Prozeß | 35 |
| 4.3 Linkslaufender Carnot-Prozeß | 36 |
| 4.4 Rechtslaufende und linkslaufende Kreisprozesse | 38 |
| 5 Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik | 39 |
| 5.1 Umkehrbare und nichtumkehrbare Prozesse | 40 |
| 5.2 Umkehrbare Kreisprozesse | 41 |
| 5.3 Absolute Temperatur | 43 |
| 5.4 Nichtumkehrbare Kreisprozesse | 43 |
| 5.5 Clausiussche Ungleichung | 44 |

| | |
|---|-----------|
| 5.6 Entropie | 46 |
| 5.7 Arbeitsleistung und Nichtumkehrbarkeit | 47 |
| 5.8 Entropieänderung idealer Gase | 48 |
| 5.9 T,s-Diagramm für einfache Stoffe | 50 |
| 6 Offene Systeme | 53 |
| 6.1 Drucklufterzeugung (Gleichdruckprozeß) | 53 |
| 6.2 Stationärer Fließprozeß | 54 |
| 6.2.1 Quasistatische Zustandsänderungen bei stationären Fließprozessen | 55 |
| 6.2.2 Reibungsbehaftete adiabate Expansion und Kompression | 57 |
| 6.3 Erster und Zweiter Hauptsatz für offene Systeme | 59 |
| 7 Das Wesen der Entropie | 61 |
| 7.1 Statistische Deutung des adiabaten Druckausgleichs | 61 |
| 7.2 Statistische Energieverteilung | 65 |
| 7.3 Wahrscheinlichkeit und Entropie | 69 |
| 8 Reale Gase und Dämpfe | 71 |
| 8.1 Der Verdampfungsvorgang | 71 |
| 8.2 Zustandsänderungen des Naßdampfes | 74 |
| 8.3 Clapeyron-Clausius-Gleichung | 76 |
| 8.4 Zustandsgleichung nach van der Waals | 76 |
| 8.5 Weitere Zustandsgleichungen | 80 |
| 8.5.1 Redlich-Kwong-Gleichung | 80 |
| 8.5.2 Virialgleichung | 80 |
| 8.5.3 Wasserdampfformeln | 80 |
| 8.6 Kalorische Zustandsgrößen | 81 |
| 8.7 Zweiphasengebiete | 84 |
| 9 Wärmekraftprozesse | 87 |
| 9.1 Mittlere Temperatur des Wärmeumsatzes | 87 |
| 9.2 Dampfkraftprozeß | 89 |
| 9.2.1 Einfache Dampfkraftanlage | 89 |
| 9.3 Dampfkraftprozeß im Mollier h,s-Diagramm | 91 |
| 9.3.1 h,s-Diagramm von R. Mollier | 91 |
| 9.3.2 Zwischenüberhitzung | 92 |
| 9.3.3 Speisewasservorwärmung | 93 |
| 9.3.4 Kraft-Wärme-Kopplung | 95 |
| 9.4 Gasturbinenprozesse | 97 |
| 9.4.1 Der einfache offene Gasturbinenprozeß | 97 |
| 9.4.2 Gasturbinenprozeß mit interner Wärmerückgewinnung (Rekuperator) | 100 |

| | |
|---|------------|
| 10 Exergie | 103 |
| 10.1 Energie eines Fremdstoffs mit der Umgebung | 103 |
| 10.2 Mollier-h,s-Diagramm und Exergie | 104 |
| 11 Strömungsvorgänge | 107 |
| 11.1 Kontinuitätsgleichung | 108 |
| 11.2 Energiumsatz; Erster Hauptsatz | 108 |
| 11.3 Polytrope Zustandsänderungen | 109 |
| 11.4 Adiabate Strömungsprozesse | 114 |
| 11.4.1 Strömungsquerschnitte | 117 |
| 11.4.2 Der senkrechte Verdichtungsstoß | 121 |
| 11.4.3 Schwacher Stoß; Schallgeschwindigkeit | 123 |
| 11.5 Prinzip des Strahltriebwerkes | 124 |
| 12 Grundlagen der Kältetechnik | 127 |
| 12.1 Kältemaschinen und Kältetechnik | 127 |
| 12.2 Grundlagen der Gasverflüssigung | 130 |
| 12.2.1 Joule-Thomson-Effekt | 130 |
| 12.2.2 Gasverflüssigungsverfahren nach Linde | 131 |
| 13 Gemische und Mischungsprozesse | 133 |
| 13.1 Gemische | 133 |
| 13.1.1 Gemische idealer Gase | 134 |
| 13.2 Adiabate Mischung idealer Gase | 135 |
| 13.2.1 Mischung im geschlossenen System | 135 |
| 13.2.2 Stationärer und adiabater Mischungsprozeß | 138 |
| 13.3 Feuchte Luft | 139 |
| 13.3.1 Zustandsgrößen feuchter Luft | 139 |
| 13.3.2 Mollier-h,x-Diagramm für feuchte Luft | 143 |
| 13.3.3 Adiabate Mischung feuchter Luft | 144 |
| 13.3.4 Mischung mit Wärmezufuhr | 146 |
| 13.3.5 Zumischung von Wasser bzw. Wasserdampf | 146 |
| 14 Verbrennungsvorgänge und andere chemische Umsetzungen | 149 |
| 14.1 Stoffumsatz | 149 |
| 14.1.1 Oxidationsverhältnis λ und Verbrennungsverhältnis χ | 151 |
| 14.2 Feste und flüssige Brennstoffe | 152 |
| 14.3 Energiebilanz | 153 |
| 14.3.1 Adiabate Verbrennungstemperatur | 156 |
| 14.4 Entropiebilanz und Irreversibilitäten der Verbrennung | 157 |
| 14.4.1 Exergieverlust bei adiabater Verbrennung | 157 |