

Kamprath Reihe

Dipl.-Ing. Walter Wagner

Wärmeübertragung

Grundlagen

5., überarbeitete Auflage

Vogel Buchverlag

t

Inhaltsverzeichnis

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Vorwort | 5 |
| Formelzeichen und Einheiten | 11 |
| 1 Einleitung | 17 |
| 2 Wärmeleitung | 19 |
| 2.1 Stationäre Wärmeleitung | 19 |
| 2.1.1 Wärmeleitfähigkeit | 20 |
| 2.1.2 Wärmeleitung durch eine ebene Wand | 20 |
| 2.1.3 Wärmeleitung durch einen Hohlzylinder | 22 |
| 2.1.4 Wärmeleitung durch eine Hohlkugel | 24 |
| 2.1.5 Berücksichtigung von Wärme-Übergangswiderständen bei der Wärmeleitung | 25 |
| 2.2 Wärmeleitung mit gleichzeitigem Wärmeübergang an der Oberfläche | 26 |
| 2.2.1 Langer Stab | 27 |
| 2.2.2 Kurzer Stab | 28 |
| 2.2.3 Wärmestrom am Stabanfang | 30 |
| 2.2.4 Rippenwirkungsgrad | 31 |
| 2.3 Instationäre Wärmeleitung | 31 |
| 2.3.1 Ableitung der Grundgleichung | 31 |
| 2.3.2 Differentialgleichung des Temperaturfeldes | 33 |
| 2.3.3 Mathematische Lösung des Temperaturfeldes | 33 |
| 2.3.3.1 Grenzbedingungen für die größtmöglichen Temperaturunterschiede | 38 |
| 2.3.3.2 Asymptotische Näherungsgleichungen für die praktische Berechnung | 41 |
| 2.3.4 Zeichnerische Lösung des Temperaturfeldes | 41 |
| 2.4' Gekoppelte Systeme | 44 |
| 2.5 Wärmeausgleichsprobleme | 45 |
| 2.5.1 Ein Körper mit kleiner Abmessung taucht in ein großes Fluidbecken | 45 |
| 2.5.2 Ein Körper mit kleinen Abmessungen taucht in ein kleines, gedämmtes Fluidbecken | 46 |
| 2.5.3 Energiezufuhr unter Abkühlung des Wärmeträgers | 48 |
| 3 Konvektion | 61 |
| 3.1 Wärmeübergang | 61 |
| 3.2 Nußelt-Kennzahl | 62 |
| 3.3 Grenzschicht | 62 |
| 3.3.1 Wärmestromgleichung der Temperaturgrenzschicht | 62 |
| 3.3.2 Stömungsgrenzschicht | 64 |
| 3.3.3 Temperaturgrenzschicht | 65 |
| 3.3.4 Bestimmung der Grenzschichtdicken aus dem Druckverlust | 66 |
| 3.3.5 Turbulente Grenzschicht | 68 |
| 3.4 Randbedingungen | 74 |
| 3.4.1 Reynoldszahl | 74 |
| 3.4.2 Prandtlzahl | 74 |
| 3.4.3 Bezugstemperatur für Stoffwerte | 75 |
| 3.4.4 Richtung des Wärmestromes | 75 |
| 3.4.5 Anlaufbedingungeri | 76 |
| 3.4.6 Rauigkeit | 81 |
| 3.4.7 Gekrümmte Rohre | 81 |
| 3.4.8 Nichtkreisförmige Querschnitte | 82 |
| 3.4.8.1 Strömung durch Ringspalte | 83 |
| 3.4.8.2 Ebener Spalt | 85 |
| 3.5 Medien mit sehr kleinen Pr-Zahlen (flüssige Metalle) | 85 |
| 3.6 Überströmter Einzelkörper | 85 |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----|
| 3.6.1 | Wärmeübergang im Staupunkt | 89 |
| 3.7 | Quer angeströmte Rohrreihen und Rohrbündel | 89 |
| 3.7.1 | Rohrbündel mit Umlenkblechen | 93 |
| 3.8 | Berippte Oberflächen | 93 |
| 3.8.1 | Wärmeübergang bezogen auf den Rohraußendurchmesser d_a | 94 |
| 3.8.2 | Wärmeübertragung bezogen auf die äußere Gesamtoberfläche A | 98 |
| 3.9 | Freie Konvektion | 102 |
| 3.9.1 | Freie Konvektion in Fluidschichten | 104 |
| 3.9.2 | Überlagerung von erzwungener und freier Strömung | 106 |
| Kondensation | | 117 |
| 4.1 | Filmkondensation bei ruhendem Sattdampf | 117 |
| 4.1.1 | Filmdicke | 117 |
| 4.2 | Dimensionslose Darstellung | 119 |
| 4.3 | Turbulente Kondensatströmung | 120 |
| 4.4 | Geneigte Wand und waagerechte Rohre | 120 |
| 4.5 | Kondensation von strömendem Sattdampf | 121 |
| 4.6 | Kondensation von überhitztem Dampf (Heißdampf) | 122 |
| 4.7 | Kondensation vom Dämpfen mit inerten Gasen | 122 |
| Verdampfung | | 131 |
| 5.1 | Sieden bei freier Konvektion | 133 |
| 5.2 | Blasensieden | 133 |
| 5.3 | Kritische Wärmestromdichte | 136 |
| 5.4 | Filmsieden | 136 |
| 5.5 | Verdampfung mit erzwungener Strömung in Rohren | 137 |
| 5.5.1 | Einphasige Flüssigkeitsströmung | 138 |
| 5.5.2 | Unterkühltes Sieden | 138 |
| 5.5.3 | Blasensieden (Sättigungssieden) | 138 |
| 5.5.4 | Stilles Sieden | 140 |
| 5.5.5 | Filmsieden | 141 |
| 5.5.6 | Kritische Wärmestromdichte | 141 |
| Strahlung | | 147 |
| 6.1 | Grundgesetz der Temperaturstrahlung | 147 |
| 6.2 | Das Stefan-Boltzmannsche Gesetz | 148 |
| 6.3 | Die Lambertschen Gesetze | 151 |
| 6.4 | Strahlungsaustausch | 152 |
| 6.4.1 | Einstrahlzahl p_{12} zwischen Fläche und Flächenelement | 156 |
| 6.4.2 | Strahlenaustausch zwischen mehreren Oberflächen | 157 |
| 6.5 | Strahlung von Gasen | 161 |
| 6.5.1 | Strahlungsaustausch zwischen Gas und Wand | 165 |
| 6.6 | Staubstrahlung | 166 |
| 6.6.1 | Gas- und Staubstrahlung | 166 |
| 6.7 | Wärmeübergangskoeffizient durch Strahlung | 169 |
| Spezialformen der Wärmeübertragung | | 175 |
| 7.1 | Wirbelschicht | 175 |
| 7.1.1 | Druckverlust der wirbelnden Partikelmasse | 175 |
| 7.1.2 | Grenzgeschwindigkeiten | 176 |
| 7.1.3 | Wärmeübergang | 176 |
| 7.2 | Wärmerohr | 177 |
| 7.2.1 | Kapillardruck | 177 |
| 7.3 | Rührkessel | 179 |
| 7.4 | Rieselfilme | 180 |
| 7.5 | Durchströmte ruhende Schüttungen | 182 |
| Wärmeübertragung durch Stofftransport | | 185 |
| 8.1 | Diffusion | 185 |

| | | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 8.2 | Stoffübergang | .188 |
| 8.3 | Verdunstung von Wasserdampf in Luft | .190 |
| 9 | Wärmedurchgang | .193 |
| 9.1 | Beeinflussung des Wärmedurchgangs durch Schutzschichten und Verschmutzung | .193 |
| 9.1.1 | Foulingwiderstand | .194 |
| 10 | Zusammenfassung der wichtigsten Gleichungen | .197 |
| 11 | Stoffwerte | .217 |
| | Literaturverzeichnis | .233 |
| | Stichwortverzeichnis | .236 |