

Betrachtung der Stoffwerte und ihrer Bezugstemperatur

Von
Franz Adamczewski

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	3
Bezugstemperatur	4
Eintrittstemperatur des Kühlmediums	4
Austrittstemperatur des Kühlmediums	4
Wandtemperatur des Kühlkörpers	5
Temperaturdifferenz für den Wärmeübergang	5
Berechnung der Stoffwerte	6
Luftdichte	6
Dynamische Viskosität	6
Kinematische Viskosität	6
Wärmeleitfähigkeit der Luft	7
Wärmekapazität der Luft	7
Prandtlzahl	7

Einleitung

In meiner „Einführung zur Physik der Entwärmung“ habe ich festgestellt, daß die Qualität des Wärmeübergangs bei Konvektion von der Grenzschichtdicke und der Wärmeleitfähigkeit des kühlenden Mediums abhängt. Bei den üblichen Medien wie Luft oder Wasser sind diese Werte jedoch stark temperaturabhängig. Für die Genauigkeit einer Berechnung ist daher die richtige Festlegung der mittleren Grenzschichttemperatur als Bezugstemperatur wichtig.

Die mittlere Grenzschichttemperatur läßt sich nur durch ein kompliziertes, iteratives Rechenverfahren ermitteln. Man behilft sich daher mit Werten, die durch einfache Messungen zu ermitteln sind. Mit der so berechneten Grenzschichttemperatur können dann die Stoffwerte für die Berechnung aus entsprechenden Tabellen festgelegt werden. Im folgenden gebe ich Näherungsformeln an, die in mathematischen Rechenprogrammen eingesetzt werden können, um das lästige Nachschlagen zu vermeiden.

Da zu Beginn einer Berechnung weder die Wandtemperatur noch die Luftaustrittstemperatur bekannt sind, müssen diese zuerst geschätzt werden. Nach Vorliegen des ersten Rechenergebnisses ist darauf zu achten, daß die ursprünglich angenommenen Luftaustritts- und Wandtemperaturen kontrolliert und wenn nötig am Anfang der Berechnung korrigiert werden müssen.

Bezugstemperatur

Zur Ermittlung der mittleren Grenzschichttemperatur ist die Messung bzw. Berechnung von drei Temperaturen erforderlich.

- | | | |
|----|---|---------------|
| 1. | Die Eintrittstemperatur des Kühlmediums | ϑ_E |
| 2. | Die Austrittstemperatur des Kühlmediums | ϑ_A |
| 3. | Die Wandtemperatur des Kühlkörpers | ϑ_W |

Die Richtung des Wärmestromes spielt bei Gasen als Medium keine Rolle. Bei Flüssigkeiten als Transportmedium müssen beim Kühlen oder Heizen entsprechende Korrekturfaktoren berücksichtigt werden.

Eintrittstemperatur des Kühlmediums

Die Eintrittstemperatur ist normalerweise die Umgebungstemperatur der Luft bzw. Einströmtemperatur des Wassers.

Austrittstemperatur des Kühlmediums

Die Austrittstemperatur ist die durch die Aufnahme der Verlustleistung erhöhte Eintrittstemperatur des Mediums. Sie ist abhängig von der Wärmekapazität des Mediums und seinem Volumen bzw. der Stömungsgeschwindigkeit.

$$\theta_m = \frac{\theta_E + \theta_A}{2} \quad (S1)$$

mittlere Lufttemperatur in °C

$$\theta_{m, Gr} = \frac{\theta_m + \theta_w}{2} \quad (S2)$$

mittlere Grenzschichttemperatur in °C

Wandtemperatur des Kühlkörpers

Gemäß den Ableitungen des Formelwerkes wird immer von einer konstanten Wandtemperatur ausgegangen; d.h. daß die Kühlkörperoberfläche überall die gleiche Temperatur haben soll, damit die Berechnung korrekt ist. Dies würde einen Kühlkörper mit unendlich guter Wärmeleitung bedingen. Da das in der Praxis nicht vorkommt, behilft man sich mit der mittleren Kühlkörper- bzw. Plattentemperatur.

Temperaturdifferenz für den Wärmeübergang $\Delta\vartheta$

Bisher haben wir von der mittleren Stofftemperatur des Mediums gesprochen. Sie ist der arithmetische Mittelwert aus mittlerer Lufttemperatur und der Wandtemperatur (Formel S1+S2). Die für den Wärmeübergang maßgebende Temperaturdifferenz ist kein Stoffwert und sie wird zum Unterschied dazu mit dem logarithmischen Mittelwert berechnet:

$$\Delta\theta = \frac{\theta_A - \theta_E}{\ln\left(\frac{\theta_w - \theta_E}{\theta_w - \theta_A}\right)} \quad (S3)$$

Berechnung der Stoffwerte

Für die Berechnung des Wärmeübergangs bei Konvektion sind zwei Stoffwerte maßgebend, der Wärmeleitwert und die kinematische Viskosität. Diese sind jedoch stark temperatur- und druckabhängig. Beim Luftdruck geht man von dem in unseren Breiten üblichen Normaldruck von 1,013 bar aus. Außerdem wird vorausgesetzt, daß die Luft trocken ist, also keine stark überhöhte Luftfeuchte vorhanden ist.

Luftdichte

Die Luftdichte als Funktion der Temperatur ϑ und des Luftdrucks p in mbar:

$$\rho = 1.293 \cdot \frac{273}{\vartheta_{m, Gr} + 273} \cdot \frac{p}{1013} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (\text{S4})$$

Dynamische Viskosität

Temperaturabhängigkeit der dynamischen Viskosität oder Zähigkeit von trockener Luft bei 1013 mbar:
(Die Druckabhängigkeit kann vernachlässigt werden)

$$\eta = 10^{-5} \cdot (1.723 + .0047 \cdot \vartheta_{m, Gr}) \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad (\text{S5})$$

Kinematische Viskosität

Die kinematische Viskosität oder Zähigkeit ergibt sich aus dem Verhältnis der dynamischen Zähigkeit zur Dichte:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (\text{S6})$$

Wärmeleitfähigkeit der Luft

Temperaturabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit der trockenen Luft bei 1013 mbar:
(Die Abhängigkeit vom Luftdruck ist vernachlässigbar)

$$\lambda = \left(.02427 + 7.130 \cdot 10^{-5} \cdot \theta_{m, Gr} \right) \cdot \frac{W}{m \cdot K} \quad (S7)$$

Wärmekapazität der Luft

Isobare spezifische Wärmekapazität der Luft in Abhängigkeit der mittleren Grenzschichttemperatur:

$$c_p = \left(1.003 + .0001 \cdot \theta_{m, Gr} \right) \cdot \frac{kJ}{kg \cdot K} \quad (S8)$$

Prandtlzahl

Die Prandtlzahl ist das Dickenverhältnis zwischen Strömungsgrenzschicht und thermischer Grenzschicht. Sie kann berechnet werden aus der spezifischen Wärmekapazität durch die Wärmeleitfähigkeit multipliziert mit der dynamischen Viskosität:

$$\text{Prandtl} = \frac{c_p}{\lambda} \cdot \eta \quad (S9)$$