

Wärmeübertragung

Grundbegriffe, Einheiten, Kenngrößen

DIN
1341

Heat transfer; definitions, units, characteristic parameters

1. Grundbegriffe**1.1. Wärmeleitung**

1.1.1. Die Wärmeleitfähigkeit λ eines Stoffes ist definiert durch die Gleichung

$$d\Phi = -\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial s} dA, \quad (1)$$

in der ϑ die Temperatur und Φ den Wärmestrom durch die Fläche A in Richtung der Flächennormale s bedeuten.

Der Wärmestrom Φ ist gleich dem Quotienten

$\frac{\text{Wärmemenge}}{\text{Zeit}}$ (siehe DIN 1345).

Der Quotient $\frac{\text{Wärmestrom}}{\text{Fläche}}$ heißt Wärmestromdichte q .

1.1.2. Die Temperaturleitfähigkeit a eines Stoffes ist unter der Annahme, daß λ nicht von der Temperatur abhängt, definiert durch die Gleichung

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = a \Delta \vartheta, \quad (2)$$

in der t die Zeit und Δ den Laplaceschen Differential-

operator bedeuten ($\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ in rechtwink-

ligen kartesischen Koordinaten). Die Temperaturleitfähigkeit a kann aus der Wärmeleitfähigkeit λ , der Dichte ρ und der spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Druck c_p nach der Beziehung

$$a = \frac{\lambda}{\rho c_p}$$

berechnet werden.

1.2. Wärmeübergang

Der zwischen einem festen Körper und einem strömenden Medium (Flüssigkeit oder Gas) übertragene Wärmestrom wird üblicherweise mit Hilfe des Wärmeübergangskoeffizienten (der Wärmeübergangszahl) α beschrieben. Er ist definiert durch die Gleichung

$$d\Phi = \alpha (\vartheta_K - \vartheta_a) dA. \quad (3)$$

Darin stellt Φ den durch die Fläche A tretenden Wärmestrom dar, und es ist ϑ_K die Temperatur der Körperoberfläche und ϑ_a eine zweckmäßig definierte Temperatur des strömenden Mediums. Hierfür wählt man bei Strömungen durch Rohrleitungen meist die Mischungstemperatur. Diese kann in einer dem betrachteten Rohrleitungsquerschnitt nachgeschalteten, wärmedicht abgeschlossenen Mischvorrichtung gemessen werden. Bei frei angeströmten Körpern wählt

man die Temperatur des Mediums in genügender Entfernung vom Körper, d.h. außerhalb der Temperaturgrenzschicht, die Freistromtemperatur.

Ist die Strömungsgeschwindigkeit nicht mehr klein gegen die Schallgeschwindigkeit in dem Medium, so muß man die durch Druckänderungen oder Reibung erzeugten Temperaturänderungen berücksichtigen, indem man ϑ_a als diejenige Temperatur versteht, welche die unbeheizte, gegen Wärmeableitung geschützte Körperoberfläche unter der alleinigen Wirkung der Strömung annehmen würde. Diese Temperatur wird Eigentemperatur genannt.

Da demnach die Temperatur des strömenden Mediums in verschiedener Weise definiert werden kann, muß diese Definition bei der Angabe von Wärmeübergangskoeffizienten hinzugefügt werden.

1.3. Wärmedurchgang

1.3.1. Die Wärmeübertragung zwischen zwei strömenden Medien, die durch eine feste Wand voneinander getrennt sind, wird üblicherweise mit Hilfe des Wärmedurchgangskoeffizienten (der Wärmedurchgangszahl) k beschrieben, der durch folgende Gleichung definiert ist:

$$d\Phi = k (\vartheta_a - \vartheta_b) dA. \quad (4)$$

Statt des Formelzeichens k wird auch K verwendet. Der Wärmestrom Φ hat die gleiche Bedeutung wie in Gl. (3). ϑ_a und ϑ_b sind die zweckmäßig definierten Temperaturen der beiden strömenden Medien. Für ihre Definitionen gilt sinngemäß das zu Gl. (3) Gesagte. Die im Einzelfall gewählten Definitionen der Temperaturen ϑ_a und ϑ_b müssen bei der Angabe von Wärmedurchgangskoeffizienten hinzugefügt werden (siehe Abschnitt 1.2).

1.3.2. Bei senkrecht zum Wärmestrom geschichteten ebenen Wänden ergibt sich der Wärmedurchgangskoeffizient k aus der Gleichung

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{s_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}. \quad (5)$$

Hierin bedeuten α_1 und α_2 die Wärmeübergangskoeffizienten zu beiden Seiten einer Wand, die aus n Teilschichten der Dicken s_n und der Wärmeleitfähigkeiten λ_n besteht.

2. Einheiten**2.1. Energie-Einheit**

Im Internationalen Einheitensystem ist das Joule die kohärente Energie-Einheit:

$$1 \text{ J} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ Nm}.$$

Fortsetzung Seite 2

Der Wärmestrom wird dementsprechend in Watt ($1\text{W} = 1\text{J/s}$) gemessen.

Für die bisher gebräuchlichen Einheiten Kalorie und Kilokalorie gelten die Beziehungen:

$$1\text{ cal} = 4,1868\text{ Joule}$$

$$1\text{ kcal} = 4186,8\text{ Joule}$$

(siehe DIN 1301).

2.2 Wärmeleitfähigkeit λ

	$\frac{\text{W}}{\text{K m}}$	$\frac{\text{W}}{\text{K cm}}$
$1 \frac{\text{W}}{\text{K m}} =$	1	0,01
$1 \frac{\text{W}}{\text{K cm}} =$	100	1
$1 \frac{\text{kcal}}{\text{m h K}} =$	1,168	0,01168
$1 \frac{\text{cal}}{\text{cm s K}} =$	418,68	4,1868

2.3 Wärmeübergangskoeffizient α und Wärmedurchgangskoeffizient k

	$\frac{\text{W}}{\text{K m}^2}$	$\frac{\text{W}}{\text{K cm}^2}$
$1 \frac{\text{W}}{\text{K m}^2} =$	1	10^{-4}
$1 \frac{\text{W}}{\text{K cm}^2} =$	10^4	1
$1 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h K}} =$	1,168	$1,168 \cdot 10^{-4}$
$1 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{ s K}} =$	41868	4,1868

Die **halbfett** gesetzten Ziffern bedeuten, daß diese letzten Stellen genau sind.

3. Kenngrößen

Die Anzahl der Einflußgrößen bei Problemen der Wärmeübertragung läßt sich beträchtlich vermindern, wenn man gewisse Einflußgrößen zu Kenngrößen von der Dimension einer Zahl (sogenannte Verhältnisgrößen oder dimensionslose Größen) zusammenfaßt und diese als Veränderliche einer durch Rechnung oder durch Versuch ermittelten Gleichung auffaßt. Folgende Kenngrößen, auch Kennzahlen genannt, sind üblich:

Kenngröße	Symbol	Definition
Fourier-Zahl	$ Fo $	$ \frac{\alpha t}{l^2} $
Grashof-Zahl	$ Gr $	$ \frac{l^3 g \beta \Delta \theta}{\nu^2} $
Nußelt-Zahl	$ Nu $	$ \frac{\alpha l}{\lambda} $
Prandtl-Zahl	$ Pr $	$ \frac{\nu}{a} $
Rayleigh-Zahl	$ Ra $	$ Gr \cdot Pr = \frac{l^3 g \beta \Delta \theta}{\nu a} $
Reynolds-Zahl	$ Re $	$ \frac{wl}{\nu} $
Péclet-Zahl	$ Pe $	$ Re \cdot Pr = \frac{wl}{a} $
Stanton-Zahl	$ St $	$ \frac{Nu}{Re \cdot Pr} = \frac{\alpha}{w \rho c_p} $

Außer den bereits definierten Größen bedeuten hierin g die örtliche Fallbeschleunigung, l eine kennzeichnende Länge, t eine kennzeichnende Zeit, w eine kennzeichnende Geschwindigkeit, β den Raumausdehnungskoeffizienten, $\Delta\theta$ eine kennzeichnende Temperaturdifferenz und ν die kinematische Viskosität.

Zur eindeutigen Bezeichnung einer Kenngröße gehören genaue Angaben darüber, wie die verwendeten kennzeichnenden Größen (l , t , w , α , $\Delta\theta$) definiert und auf welche Temperatur die Stoffwerte (a , c_p , β , ν , ρ) bezogen worden sind.