

Lernzettel

Konvektion: natürliche und erzwungene
Konvektion, Wärmeübergangskoeffizienten

Universität:	Technische Universität Berlin
Kurs/Modul:	Technische Wärmelehre (9 LP)
Erstellungsdatum:	September 20, 2025



Zielorientierte Lerninhalte, kostenlos!
Entdecke zugeschnittene Materialien für deine Kurse:

<https://study.AllWeCanLearn.com>

Technische Wärmelehre (9 LP)

Lernzettel: Technische Wärmelehre (9 LP) – Konvektion: natürliche und erzwungene Konvektion, Wärmeübergangskoeffizienten

(1) Grundlagen. Konvektion ist die Wärmeübertragung durch die Bewegung eines Fluids. Sie unterscheidet sich in

- natürliche Konvektion: Treiber ist die Dichteunterschiede durch Temperaturunterschiede,
- erzwungene Konvektion: Strömung wird durch äußere Kräfte erzeugt (Ventilator, Pumpe).

Der Wärmetransport erfolgt häufig über eine Grenzschicht, in der Temperaturgradienten vorhanden sind. Der relationale Zusammenhang zur Berechnung der Wärmeübertragung lautet

$$q'' = h \Delta T$$

mit dem Wärmeübergangskoeffizienten h und der Temperaturdifferenz

$$\Delta T = T_s - T_\infty.$$

(2) NATÜRLICHE Konvektion.

- Triebkraft: Dichteunterschiede infolge von Temperaturunterschieden, oft modelliert über die Boussinesq-Approximation.
- Typische Größenordnung von (Veränderung der Dichte mit der Temperatur): $\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p$ (bei idealem Gas annähernd $\beta \approx 1/T$).

Dimensionale Kennzahlen

$$Gr_x = \frac{g \beta \Delta T x^3}{\nu^2}, \quad Pr = \frac{\nu}{\alpha}, \quad Ra_x = Gr_x Pr = \frac{g \beta \Delta T x^3}{\nu \alpha}$$

- Nusselt-Zahl für eine senkrechte Platte (lit. verbreitete Näherung, laminarer Grenzfall, $10^4 \lesssim Ra_x \lesssim 10^9$):

$$Nu_x \approx (0.68 + 0.670 Ra_x^{1/4}) \left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{-4/9}$$

- Zusammenhang zur Wärmeübertragung:

$$h = \frac{Nu_x k}{x}$$

(3) ERZWUNGENE Konvektion.

- Triebkraft: äußere Strömung (Ventilator, Pumpe) – charakterisiert durch die Reibung in der Strömung.

Wichtige Größen

$$Re = \frac{u L}{\nu}$$

- Laminarer Außenauftrieb über eine flache Platte (extern, einheitliche Strömung):

$$Nu_L \approx 0.664 Re_L^{1/2} Pr^{1/3}$$

- Turbulente Grenzschicht über eine flache Platte (extern, hohe Re):

$$Nu_L \approx 0.037 Re_L^{4/5} Pr^{1/3}$$

(4) Wärmeübergangskoeffizienten h .

$$h = \frac{Nu k}{L}$$

Wertebereiche (ungefähr, bei zweiseitig freigelegten Oberflächen):

- Luft (natürliche Konvektion): ca. $5\text{--}25 \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-1}$
- Luft (erzwungene Konvektion, moderate Strömung): ca. $25\text{--}250 \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-1}$
- Wasser oder ölartige Medien (erzwungene Konvektion): deutlich höher, typischerweise $> 100 \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-1}$

(5) Beispielrechnung (Ordnungskonzept). Gegeben: Plattenlänge $L = 0.5 \text{ m}$, Geschwindigkeit der Außenströmung $u = 1 \text{ m s}^{-1}$, Kohärenzparameter: $k = 0.026 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$, Prandtlzahl $Pr \simeq 0.71$, kinematische Viskosität $\nu \simeq 1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, Temperaturunterschied $\Delta T = 20 \text{ K}$.

Schritt 1: Berechne Re

$$Re_L = \frac{uL}{\nu} = \frac{1 \times 0.5}{1.5 \times 10^{-5}} \approx 3.3 \times 10^4$$

Schritt 2: Bestimme Nu (laminare external flow)

$$Nu_L \approx 0.664 Re_L^{1/2} Pr^{1/3}$$

$$Re_L^{1/2} \approx 182.6, \quad Pr^{1/3} \approx 0.89$$

$$Nu_L \approx 0.664 \times 182.6 \times 0.89 \approx 108$$

Schritt 3: Wärmeübergangskoeffizient

$$h \approx \frac{Nu_L k}{L} = \frac{108 \times 0.026}{0.5} \approx 5.6 \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-1}$$

Schritt 4: Wärmeübergangsdichte

$$q'' = h \Delta T \approx 5.6 \times 20 \approx 112 \text{ W m}^{-2}$$

(6) Anwendungen und Hinweise.

- Orientierung des Bauteils (aufrecht/ horizontal) beeinflusst die Strömungs- und Grenzschichtführung.

- Oberflächenrauheit, Textur und Geometrie (Platten, Rohre, Kanäle) wirken stark auf die Kopplung von Konvektion und Wärmeübergang.
- In technischen Produkten ist oft eine Mischung aus natürlicher und erzwungener Konvektion vorhanden.

(7) Kurzzusammenfassung.

- Natürliche Konvektion basiert auf Dichteunterschieden; charakterisiert durch Grashof-, Prandtl- und Rayleighzahlen.
- Erzwungene Konvektion basiert auf einer äußeren Strömung; charakterisiert durch Re und Nu .
- Der Wärmeübergangskoeffizient h ergibt sich aus $h = Nu k / L$ und liefert die Beziehung $q'' = h \Delta T$.