

Nomenklatur

Subskript:

∞	Umgebungsspezifisch
W	Wand
f	Flüssigkeit
V	Volumenspezifisch
H	Hydraulisch
Q	Querschnittsspezifisch
Th	Thermisch
St	Stoffeigenschaftenspezifisch
krit	kritisch

Superskript:

"	Flächenbezogen
'''	Volumenbezogen
•	zeitliche Ableitung (Wärmestrom, Massenstrom, Enthalpiestrom etc.)

Symbole:

α	Wärmeübergangskoeffizient	[W/m ² K]
λ	Wärmeleitfähigkeit	[W/m K]
a	Temperaturleitfähigkeit	[m ² /s]
c_p	Spezifische Wärmekapazität	[J/kg K]
T	Temperatur	[K]
A	Fläche	[m ²]
δ	Grenzschichtdicke	[m]
L_{th}	Thermische Einlauflänge	[m]
\dot{Q}	Wärmestrom	[W]
\dot{q}''	Wärmestromdichte	[W/m ²]
n	Strommenge	[mol]
\dot{h}	Enthalpie Strom	[W]
u	Geschwindigkeit in x-Richtung	[m/s]
v	Geschwindigkeit in y-Richtung	[m/s]
w	Geschwindigkeit in z-Richtung	[m/s]
τ	Scherspannung	[N/m ²]
ρ	Dichte	[kg/m ³]
ν	Dynamische Viskosität	[m ² /s]
P	Druck	[N/m ²]
$\dot{\Phi}$	Wärmequellenstrom	[W]
R	Universelle Gaskonstante	[kg/mol K]
ψ	Stromfunktion	[m ² /K]
β	Ausdehnungskoeffizient	[1/K]
D	Durchmesser	[m]

Dimensionslose Kennzahl:

Institute of Heat and Mass Transfer, RWTH Aachen University
Prof. Dr.-Ing. Reinhold Kneer & Dr. Dr. Wilko Rohlf's

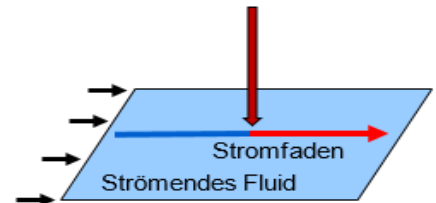
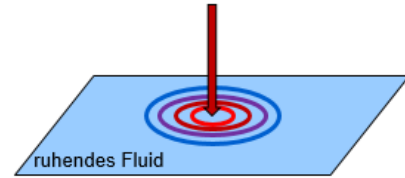
Wärme- und Stoffübertragung: Lernpfad Konvektion

Re	Reynoldszahl	[–]
f	Dimensionslose Stromfunktion	[–]
Pr	Prandtl Zahl	[–]
Nu	Nusselt Zahl	[–]
Gr	Grashof Zahl	[–]
Pe	Péclet Zahl	[–]
Ar	Archimedes Zahl	[–]

V 01: Einführung in das Thema der Konvektion und Herleitung der Erhaltungsgleichung

Lernziele:

- Wesen der Konvektion und Abgrenzung zum Begriff der Advektion verstehen
- Konvektion als Zusammenspiel von Wärmeleitung und Advektion begreifen.
Klassifikation von Konvektionsproblemen
- Herleiten der Erhaltungsgleichungen für Masse, Impuls und Energie
- Verstehen der Ähnlichkeit zwischen Impuls- und Energietransport



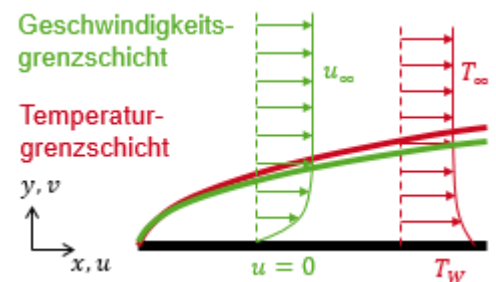
Verständnisfragen:

- ☐ Was ist unter einem Wärmeübergangskoeffizienten zu verstehen und was beschreibt dieser?
- ☐ Warum gilt in unmittelbarer Wandnähe auch auf der Fluidseite das Fourier'sche Wärmeleitungsgesetz?
- ☐ Was besagt die dimensionslose Nusselt-Zahl?
- ☐ Worin besteht der Unterschied zwischen natürlicher und erzwungener Konvektion?

V 02: Grenzschicht bei der erzwungenen Konvektion

Lernziele:

- Verständnis des Grenzschichtkonzepts an einer ebenen Platte in einer kontanten laminaren Strömung
- Ähnlichkeit der Geschwindigkeits- und Temperaturprofile und die Abhängigkeit des Wärmeübergangskoeffizienten von der Scherspannung



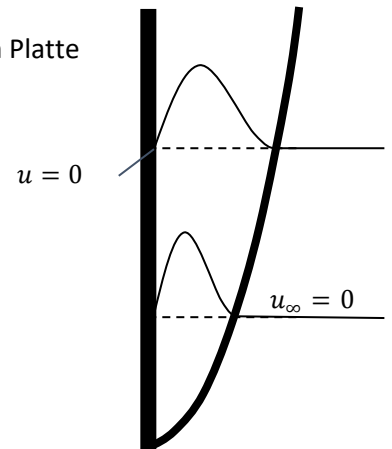
Verständnisfragen:

- ☐ Worin unterscheiden sich Nusselt- und Biot-Zahl?
- ☐ Welche Relevanz hat die Prandtl-Zahl für die Grenzschichttheorie?
- ☐ Falls Identität zwischen der Dicke der Strömungs- und der Temperaturgrenzschicht besteht ($\delta_u = \delta_T$), gilt welche Beziehung für die Nusselt-Zahl? (nicht klausurrelevant)

V 03: Grenzschichtgleichungen– Natürliche Konvektion

Lernziele:

- Grenzschichtprofil (Temperatur und Geschwindigkeit) an einer ebenen Platte mit freier Konvektion verstehen und erklären können
- Herleitung und Bedeutung der Grashof-Zahl
- Kenntnis der Unterschiede zwischen den Grenzschichtprofilen bei erzwungener und freier Konvektion



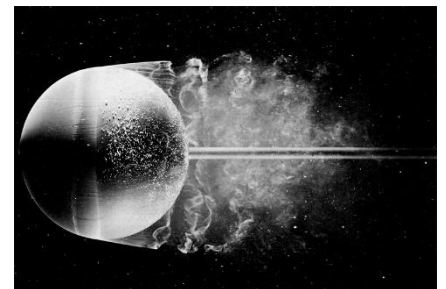
Verständnisfragen:

- ☐ Welches ist das treibende Potential der natürlichen Konvektion?
- ☐ Warum sind Auftriebskräfte bei erzwungener Konvektion vernachlässigbar?

V 04: Turbulente Strömungen

Lernziele:

- Konzept turbulenter Strömungen
- Makroskopische Auswirkung turbulenter Fluktuationen auf den Masse- und Wärmetransport verstehen



Verständnisfragen:

- ☐ Wie wirkt sich die Turbulenz auf den Wärmeübergang aus?

V 05: Anwendung der Ähnlichkeitstheorie

Lernziele:

- Grundverständnis der Ähnlichkeitstheorie erarbeiten
- Physikalische Bedeutung relevanter dimensionsloser Kennzahlen, die ein Konvektionsproblem beschreiben können, erfassen und in eigenen Worten wiedergeben können
- Unterschiedliche konvektive Wärmeübergangsprobleme in Hinblick auf die Strömungs- und Randbedingungen unterscheiden können.

$$Nu = Nu(Re, Gr, Pr)$$

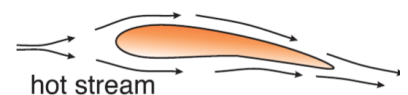
Verständnisfragen:

- ☐ Was besagt die Ähnlichkeitstheorie und auf was muss geachtet werden, damit die Lösung zweier unterschiedlicher Probleme identisch ist?
- ☐ Welche Kennzahlen sind für die empirisch begründeten Wärmeübergangsgesetze von essentieller Bedeutung?

V 06: Wärmeübergangsgesetze bei der erzwungenen Konvektion umströmter Körper

Lernziele:

- Kenntnis und Verständnis der relevanten Kennzahlen
- Überblick verschiedener Anwendungsfälle und dazugehöriger Korrelationen



cooled turbine blade

Verständnisfragen:

- ☐ Welche dimensionslosen Kennzahlen müssen bei der erzwungenen Konvektion berücksichtigt werden? Wie wird die Anwendbarkeit einer Korrelation überprüft?
- ☐ Bei welcher Temperatur sind die in den Kennzahlen auftretenden Stoffeigenschaften zu ermitteln?
- ☐ Worin unterscheiden sich örtlicher und gemittelter Wärmeübergang bei einer ebenen Platte mit Beheizung oder Kühlung?

V 07: Erzwungene Konvektion durchströmter Körper

Lernziele:

- Wesentliche Unterschiede zwischen umströmten und durchströmten Körpern formulieren können
- Hydrodynamisches und thermisches Einlaufverhalten verstehen
- Kenntnis über den Verlauf des lokalen und gemittelten Wärmeübergangskoeffizienten
- Kenntnis über die Anwendung der logarithmischen Mitteltemperatur zur Berechnung des Gesamtwärmestroms



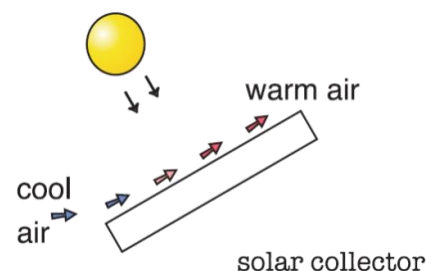
Verständnisfragen:

- ☐ Welche Kennzahl kann zur Charakterisierung des Umschlagpunkts von einer laminaren zu einer turbulenten Rohrströmung herangezogen werden?
- ☐ Ist der lokale Wärmeübergangskoeffizient immer niedriger als der gemittelte Wärmeübergangskoeffizient?
- ☐ Welchen Einfluss hat die Einlauflänge auf das Temperaturprofil?
- ☐ Wann nähern sich die unterschiedlichen Grenzschichten einer Rohrströmung an?

V 08: Natürliche Konvektion umströmter Körper

Lernziele:

- Kenntnis der im Skript und in der Formelsammlung genannten Korrelationen für Fälle natürlicher Konvektion



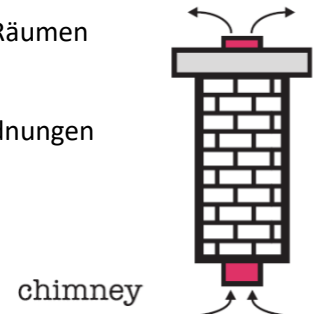
Verständnisfragen:

- ☐ Welche Kennzahlen müssen bei der Anwendung der Wärmeübergangsgesetze berücksichtigt werden?
- ☐ Was ist das treibende Potential bei der natürlichen Konvektion?
- ☐ Welche Anwendungsfälle sind bei horizontalen Platten zu unterscheiden und inwiefern weichen diese von senkrechten Platten ab?

V 09: Natürliche Konvektion in geschlossenen Räumen

Lernziele:

- Einflusses beheizter und gekühlter Oberflächen in geschlossenen Räumen verstehen
- Entscheidungskompetenz bei senkrechten und horizontalen Anordnungen
- Überblick über verschiedene Anwendungsfälle gewinnen



Verständnisfragen:

- ☐ Warum wird die Wärme im allgemeinen bei einer Fluidschicht zwischen zwei horizontalen Flächen nur durch Wärmeleitung übertragen wenn die obere Platte beheizt wird?
 - ☐ Welche Ausnahme existiert von dem in der obigen Frage genannten Regelfall?
-