

## Warmteoverdracht door convectie

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: ir. E.H. Tumbuan, prof.ir. J.J.M. Cauberg, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, TU-Delft

### 1 Inleiding

Wanneer een constructie door de zon wordt bestraald en/of als er een temperatuurverschil over een constructie aanwezig is, zal er naar en door de constructie warmtetransport optreden.

Om enig inzicht te krijgen in het mechanisme van het warmtetransport door een constructie en van een constructie naar zijn omgeving zullen eerst de verschillende manieren worden behandeld hoe warmtetransport kan plaatshebben, namelijk door:

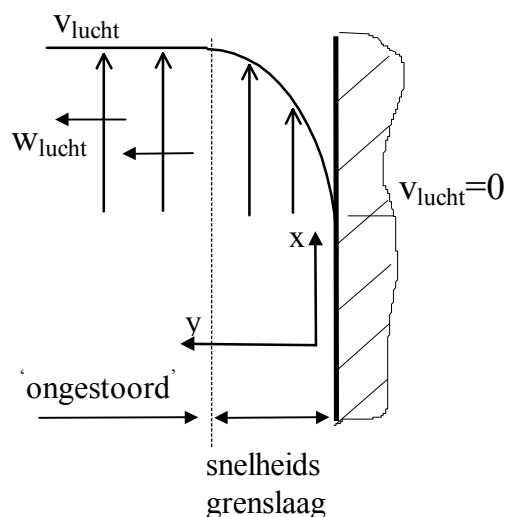
- geleiding;
- convectie;
- straling.

### 2 Warmteoverdracht door convectie

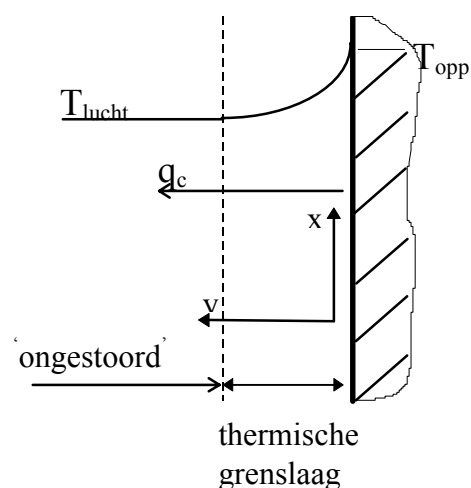
Wanneer een oppervlak aan bij voorbeeld het medium lucht of water grenst, zal - indien er een temperatuurverschil tussen het oppervlak en het medium bestaat - uitwisseling van warmte tussen medium en oppervlak plaatshebben.

In de figuren 1a en 1b is een situatie geschetst, waarbij lucht langs een warmere wand stroomt. Langs de wand vormt zich een grenslaag. Aan de rand van deze grenslaag is de snelheid gelijk aan die van de ongestoorte stroming, terwijl aan de vaste wand de snelheid gelijk aan nul zal worden (figuur 1a).

Het warmtetransport is vergelijkbaar met het impulstransport, zodat er ook een thermische grenslaag ontstaat, waarin de temperatuur in de ongestoorte stroming overgaat in de temperatuur van de vaste wand (figuur 1b).



figuur 1a. snelheidsverloop nabij een wand



figuur 1b. temperatuurverloop nabij een wand

Voor de volledigheid worden zonder afleiding de benaderde energie- en impulsvergelijking voor een stationaire stroming in de grenslaag gegeven, waarbij geldt:  $w/v \ll 1$ .

$$\text{Energievergelijking: } \frac{\partial(vT)}{\partial x} + \frac{\partial(wT)}{\partial y} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (1a)$$

$$\text{Impulsvergelijking: } \frac{\partial v^2}{\partial x} + \frac{\partial(wv)}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \quad (1b)$$

Hierin zijn:

$v$	luchtsnelheid evenwijdig aan de wand
$w$	luchtsnelheid loodrecht op de wand, $w/v \ll 1$
$\nu$	kinematische viscositeit van lucht
$a$	temperatuurvereffeningscoëfficiënt (thermische diffusiteit) van lucht

Het linkerlid van de energievergelijking (1a) geeft het convectief transport door de stroming weer van energie, waar de temperatuur  $T$  een maat voor is, terwijl het rechterlid het moleculair transport (geleiding) voorstelt in de richting loodrecht op de wand.

Analoog aan het energietransport is het linkerlid van de impulsvergelijking (1b) het convectief transport van de impuls in de hoofdstromingsrichting  $x$ , waarvoor de snelheid  $v$  een maat is. Het rechterlid stelt weer het moleculair transport voor (diffusie) van impuls loodrecht op de wand. Als de verhouding  $\nu/a$  (het zogenaamde kental van Prandtl:  $Pr = \nu/a$ ) tussen de kinematische viscositeit en de temperatuurvereffeningscoëfficiënt van het stromende medium groot is, zal de moleculaire diffusie van impuls dieper de stroming indringen dan het warmtetransport. Het kental van Prandtl is dus een maat voor de verhouding tussen de dikten van de snelheids- of impuls grenslaag en die van de thermische grenslaag. Voor lucht is  $Pr \approx 0,72 (\approx 1)$  en zijn beide grenslaagdikten van dezelfde grootte orde.

Voor  $Pr = 1$  ( $\nu = a$ ) zijn de energie- en impulsvergelijking 1a en 1b identiek in  $T$  en  $v$ , en is de impuls grenslaag gelijk aan de thermische grenslaag.

Het warmtetransport van de wand naar de ongestoorde stroming wordt behalve door de fysische eigenschappen van het stromend medium door de snelheid van de stroming en de temperatuurgradiënt in de grenslaag bepaald.

Om dit warmtetransport op eenvoudige wijze te kunnen karakteriseren, wordt een convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt  $\alpha_c$  ingevoerd en is het warmtetransport van wand naar stromend medium als volgt gedefinieerd:

$$q_c = \alpha_c (T_{\text{opp}} - T_{\text{med}})$$

Waarin:

$\alpha_c$	convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt in $W/m^2K$
$T_{\text{opp}}$	oppervlaktetemperatuur in K
$T_{\text{med}}$	temperatuur van het stromende medium in K

Er is onderscheid te maken tussen twee vormen van convectie:

- gedwongen convectie;
- vrije convectie.

Bij gedwongen convectie is er sprake van een opgelegde stroming langs een oppervlak.

Voorbeelden hiervan zijn de warmteoverdracht van de buitenoppervlaktetemperatuur van gevels

naar de buitenlucht bij enige wind en de warmteoverdracht van lucht in ventilatiekanalen naar de pijpwand.

Vrije convectie treedt op als de luchtbeweging alleen wordt veroorzaakt door het temperatuurverschil tussen oppervlak en medium en er geen opgelegde stroming is. Heel vaak heeft men te maken met een combinatie van vrije en gedwongen convectie. Wanneer de door een groot temperatuurverschil opgewekte stroming groot is ten opzichte van de opgelegde stroming overheerst de vrije convectie. Denk hierbij aan de convectieve warmteoverdracht van een radiator. De luchtsnelheid in de kamer is klein, zodat de luchtsnelheid langs de radiator wordt bepaald door de opstijgende warme lucht ten gevolge van het grote temperatuurverschil tussen radiatoroppervlak en omringende lucht.

Weliswaar wordt er over convectief transport gesproken, maar in het proces speelt ook de warmtegeleiding een rol. In de hierboven gedefinieerde  $\alpha_c$  zijn dus beide mechanismen samengenomen. Meestal is de luchtsnelheid zo groot, dat het convectief warmtetransport het transport door geleiding overheerst ( $\lambda_{\text{lucht}} = 0,023 \text{ W/mK}$ ).

Alleen bij zeer lage luchtsnelheden (bij vrije convectie ten gevolge van kleine temperatuurverschillen) wordt het warmtetransport in lucht bepaald door de geleiding.

Grootte-orden:

- |   |                              |    |
|---|------------------------------|----|
| • “geen” of weinig wind (binnencondities) | $\alpha_c \approx 0,5$ tot 3 | SI |
| • gemiddelde wind buiten                  | $\alpha_c \approx 20$        | SI |
| • storm                                   | $\alpha_c \approx 200$       | SI |