

Drukverschillen over scheidingsconstructies

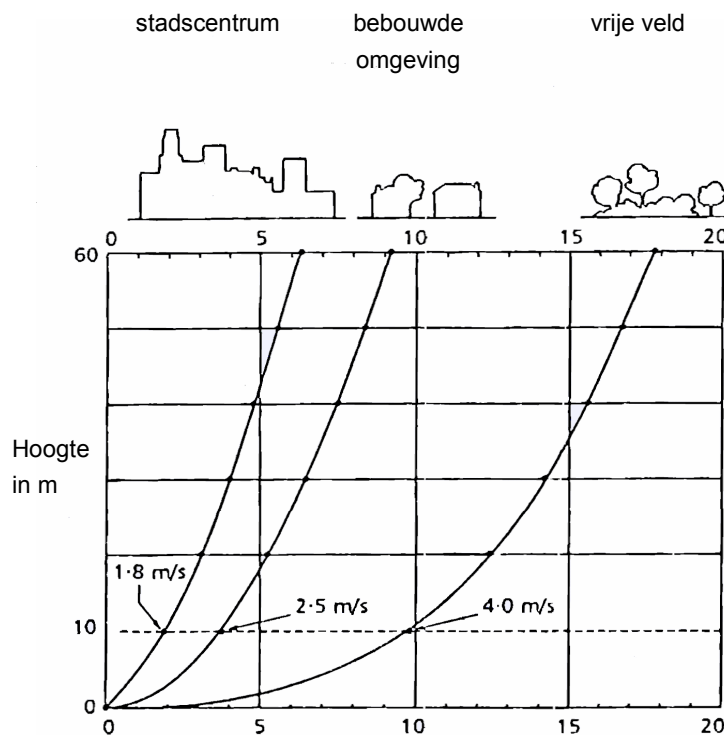
Kennisbank Bouwfysica

Dictaat ct 4220 Bouwfysica II, TU-Delft Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen,
samengesteld door prof.ir. J.J.M. Cauberg

1 Wind

Het ontstaan van winddruk(verschil) op een gevel begint bij het fenomeen wind in de atmosferische grenslaag. Direct boven het aardoppervlak wordt de wind afgeremd door de bodem. Begroeide en bebouwde oppervlakken en verschillen in de hoogte van het maaiveld zijn daar debet aan.

Er ontstaat er een snelheidsprofiel van de wind over de hoogte (zie figuur 1).



figuur 1. windsnelheidsprofiel als functie van omgeving

De windsnelheid is 0 aan het aardoppervlak ($h=0$) en neemt met de hoogte toe tot een hoogte h_g ; h_g is het hoogste punt van de grenslaag. Boven de grenslaag bevindt zich de buitenlaag waar als functie van de hoogte de snelheid constant blijft. De hoogte van de grenslaag is in tabel 1 als functie van het type landschap gegeven.

omgeving	K	a	h_g in m
vrije veld	0,68	0,17	250
landschap met bomen en struiken	0,52	0,20	300
bebouwde omgeving, dorp	0,35	0,25	400
stedelijk centrum	0,21	0,33	500

tabel 1. de hoogte van de grenslaag alsmede coëfficiënten voor het berekenen van de windsnelheid [1]

In de grenslaag geldt voor het windsnelheidsprofiel:

$$v_h = v_{ref} \cdot \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^a \quad (1)$$

Met:

v_h	windsnelheid op hoogte h in m/s
v_{ref}	windsnelheid op referentiehoogte in m/s
h_{ref}	referentiehoogte in m
a	coëfficiënt

Hierbij is de coëfficiënt a een functie van het type landschap (zie tabel 1). De toepassing van (1) vereist dat voor ieder type landschap een V_{ref} bekend is.

Door meteorologische instituten wordt de referentiesnelheid veelal als de windsnelheid op 10 m hoogte in het vrije veld gedefinieerd.

Voor een ander type landschap kan (1) geschreven worden als:

$$v_h = v_o K h^a \quad (2)$$

Met:

v_o	snelheid op hoogte van 10 m in het vrije veld in m/s
K	constante

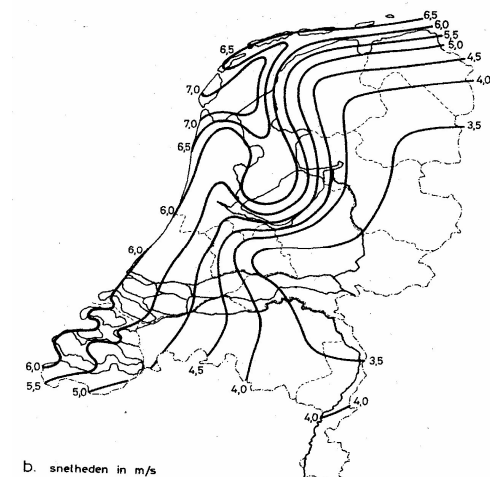
De waarde van K is eveneens in tabel 1 gegeven.

Van belang voor natuurlijke ventilatie is vooral de frequentieverdeling van windsnelheid en windrichting; deze is in figuur 3 in de vorm van een windroos gegeven.

De jaargemiddelde windsnelheid in Nederland is af te lezen in figuur 2. De frequentieverdeling van de gemiddelde windsnelheid op jaarbasis op 10 m hoogte in het vrije veld voor de Bilt geeft tabel 2:

windsnelheid V_o m/s	frequentie %
1	4,4
3	23,4
5	28,0
7	21,8
9	12,9
11	6,1
14,5	3,4

tabel 2. frequentieverdeling van de windsnelheid op 10 m hoogte (De Bilt).



figuur 2. gemiddelde jaarlijkse windsnelheid in m/s

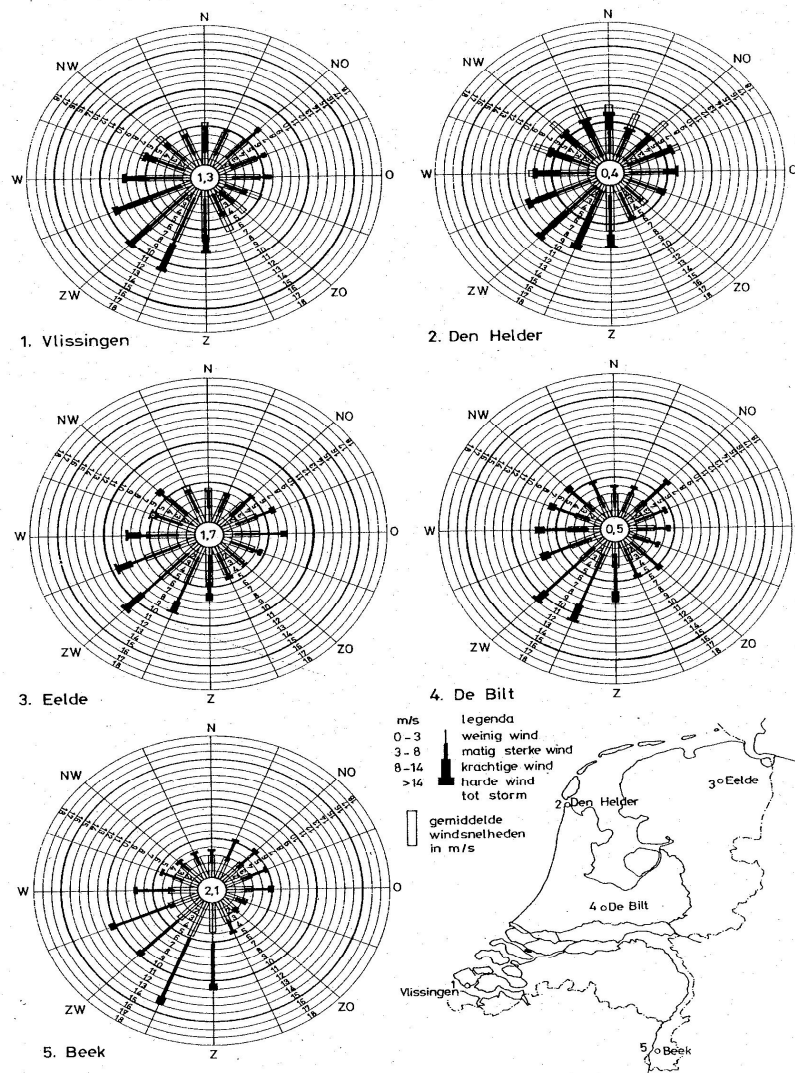
Wanneer de wind een gebouw treft, zal een deel van de snelheidsenergie worden omgezet in druk. Op het naar de wind toegekeerde vlak (loefzijde) zal een overdruk ontstaan terwijl op het van de wind afgekeerde vlak (lijzijde) een onderdruk wordt uitgeoefend. De zijwanden en dak kunnen veelal eveneens als lijzijde beschouwd worden.

De druk ter plaatse van een punt P op het gebouwmhullend vlak wordt berekend conform:

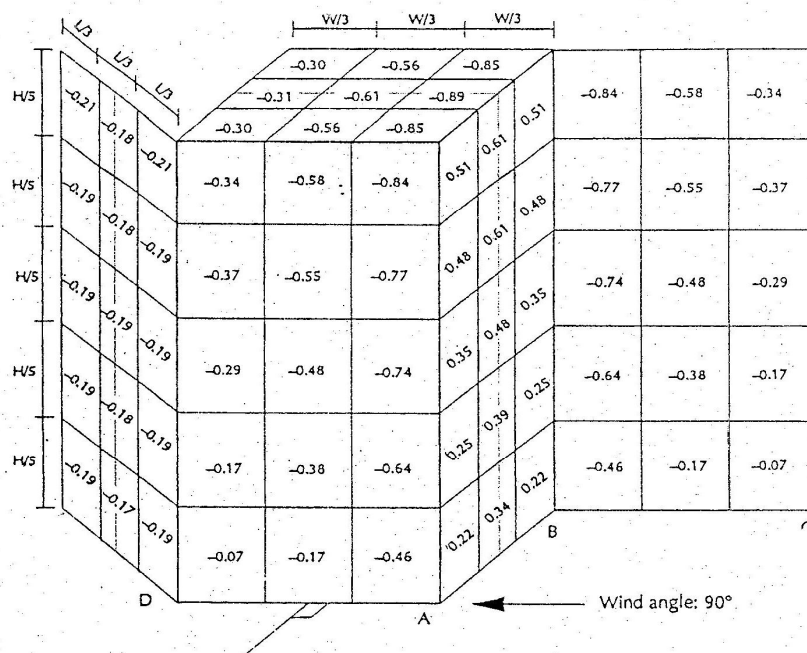
$$P_{WP} = P_o + C_P \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (3)$$

Met:

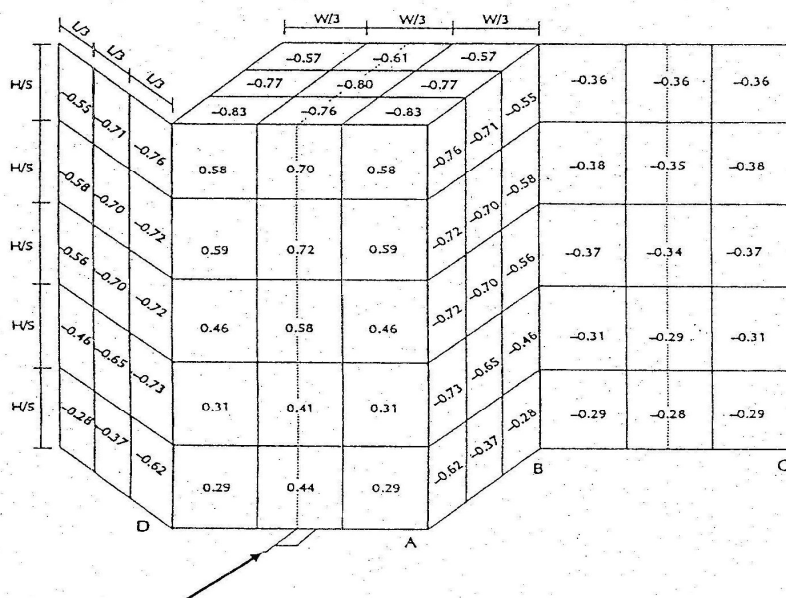
P_{WP}	winddruk ter plaatse punt P in Pa
P_o	atmosferische druk in Pa
C_P	drukcoëfficiënt
ρ	soortelijke massa van lucht in kg/m ³
v	luchtsnelheid ter plaatse van het hoogste punt van het gebouw in m/s.



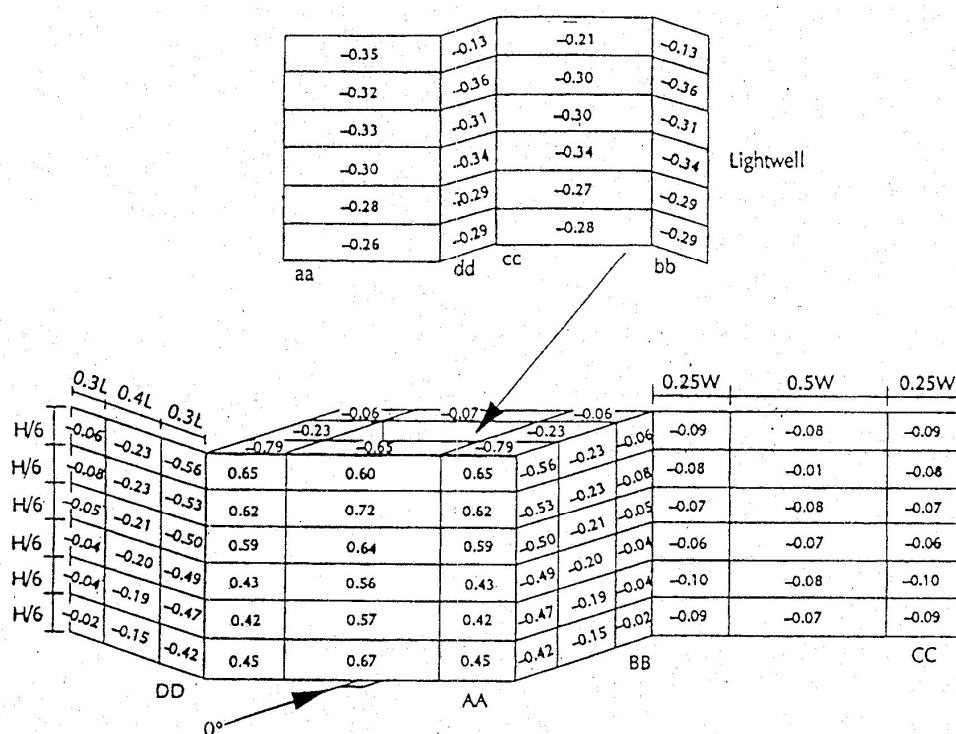
figuur 3. windrozen voor de vijf hoofdwaarnemingsstations van het KNMI (tijdvak 1931-1960)
Voor vier snelheidsintervallen is het percentage van de tijd weergegeven dat de wind uit een bepaalde richting waait; elke windsector van $22,5^\circ$ is hierbij samengevat tot een richting. Het getal in het midden van elke roos geeft het percentage windstil weer aan. Alle cijfers hebben betrekking op gemiddelde snelheden per uur op 10 meter hoogte. De schaal voor de gemiddelde windsnelheid is in m/s.



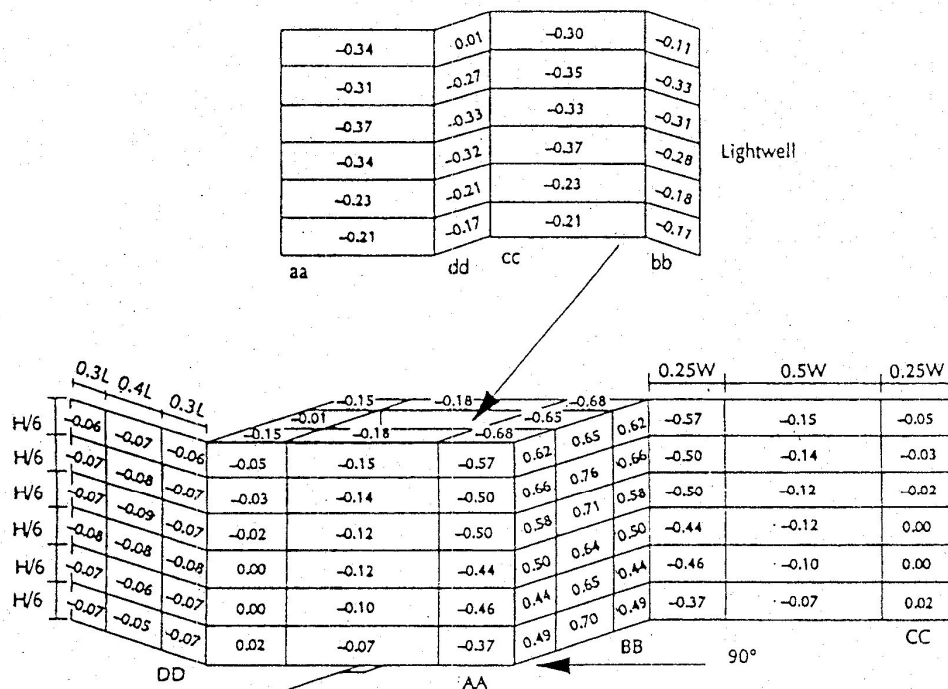
figuur 4a. winddrukcoëfficiënt C_p voor een hoog gebouw met wind evenwijdig aan de gevel



figuur 4b. winddrukcoëfficiënt C_p voor een hoog gebouw met wind loodrecht op de gevel



figuur 5a. winddrukcoëfficiënt voor een laag gebouw met binnentuin bij een windrichting loodrecht op de gevel



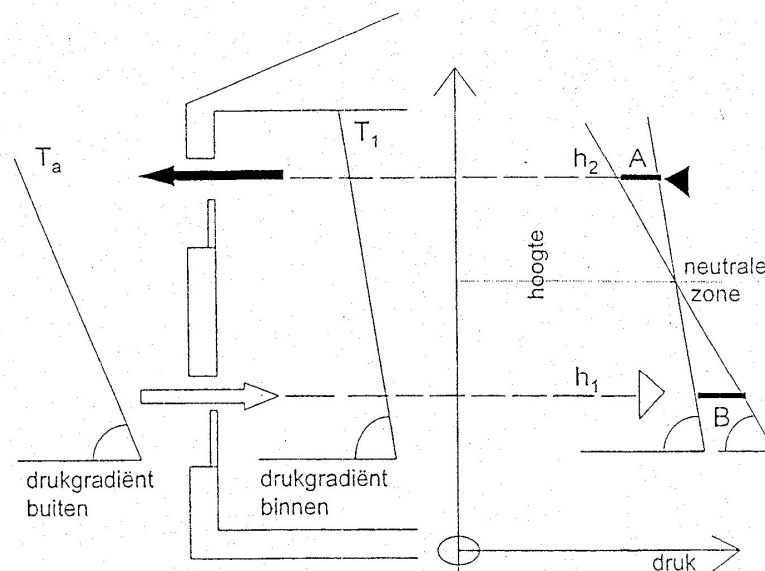
figuur 5b. winddrukcoëfficiënt voor een laag gebouw met binnentuin bij een windrichting evenwijdig aan de gevel

figuren 4 en 5, afkomstig uit [1] geven gemiddelde waarden van C_p voor een hoog gebouw (hoogte 91 m), figuur 4; en voor een lager vierkant gebouw met binnentuin met een hoogte van 33 m, figuur 5.

Deze turbulentie levert een belangrijke bijdrage aan een volumestroom voor de situatie dat er geen drukverschil over een opening (bij voorbeeld een kamer met alleen op een zijde een ventilatieopening) aanwezig is. Het gemiddelde drukverschil over de ventilatieopening is dan wel 0 maar fluctuerend zijn er positieve of negatieve drukverschillen aanwezig.

2 Thermiek

Is het temperatuurverschil andersom dan keert ook de luchtstroom om. Op een zekere hoogte bevindt zich de neutrale zone; daar is de druk binnen en buiten gelijk. Aan een zijde van de neutrale lijn is binnen de luchtdruk hoger (meestal boven) en aan de andere zijde de luchtdruk lager (meestal beneden) dan buiten (zie figuur 6).



figuur 6. schematische weergave van het principe van thermische trek

De drijvende kracht tussen binnen en buiten is het verschil in gewicht tussen twee denkbeeldige luchtkolommen buiten respectievelijk binnen het gebouw. In een isotherme luchtzuil is de druk een functie van de hoogte h , namelijk:

$$P_h = P_o e^{-\frac{\rho_o g}{P_o} h} \quad (4)$$

Met:

P_h	luchtdruk op hoogte h in Pa
P_o	barometrische druk voor h = 0 in Pa
ρ_o	soortelijke massa voor h = 0 in kg/m ³
g	zwaartekracht in m/s ²

Voor de geringe hoogtes van gebouwen kan (4) via een reeksontwikkeling geschreven worden als:

$$P_h = P_o \left[1 - \frac{\rho_o g}{P_o} h + \frac{1}{2} \frac{\rho_o^2 g^2}{P_o^2} h^2 - \frac{1}{6} \frac{\rho_o^3 g^3}{P_o^3} h^3 + \dots \right] \approx P_o \left[1 - \frac{\rho_o g}{P_o} h \right] \quad (5)$$

$$P_h = P_o - \rho_o g h$$

Bij een temperatuurverschil tussen binnen en buiten ontstaat er voor de beide (warme respectievelijk koude) luchtzuilen een afwijkende afname van de druk P_h . Dit komt doordat ρ_o in feite temperatuurafhankelijk is:

Voor	0°C	$\rho_o = 1,27 \text{ kg/m}^3$
Voor	10°C	$\rho_o = 1,22 \text{ kg/m}^3$
Voor	20°C	$\rho_o = 1,18 \text{ kg/m}^3$

(luchtdruk: 1000 hPa, 100% RV)

Zo ontstaat voor de afname van de druk in een luchtzuil een verschil tussen binnen respectievelijk buiten, namelijk:

$$\begin{aligned} \Delta P_i &= \rho_i g h \\ \Delta P_a &= \rho_a g h \end{aligned} \quad (6)$$

Met:

$\Delta P_i, \Delta P_a$	afname druk in luchtkolom ten opzichte van de druk op h = 0 in Pa
ρ_i, ρ_a	soortelijke massa binnenlucht, resp. buitenlucht voor h = 0 in kg/m ³

In de formule is de invloed van de temperatuur tot nu toe impliciet verdisconteerd in $\rho_{i,0}$ en $\rho_{a,0}$. Middels de "wet van Boyle Gay Lussac" geldt, dat ρ_i respectievelijk ρ_a berekend kan worden op basis van een referentietoestand:

$$\begin{aligned} \rho_i &= \rho_N T_N \frac{1}{T_i} \\ \rho_a &= \rho_N T_N \frac{1}{T_a} \end{aligned} \quad (7)$$

met ρ_N en T_N de temperatuur en dichtheid van lucht die via een referentiedruk P_N gekoppeld zijn via:

$$\begin{aligned} P_N &= 288 \rho_N T_N \\ \text{Voor } T_N = 273^\circ\text{K is } \rho_N &= 1,276 \text{ kg/m}^3. \end{aligned}$$

Voor het drukverschil ΔP_T tussen binnen en buiten op de hoogte h geldt:

$$\Delta P_T(h) = \Delta P_a - \Delta P_i = \rho_N T_N g h \left[\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_i} \right] \quad (8)$$

Met:

T_i binnenluchttemperatuur in K
 T_a buitenluchttemperatuur in K

Hierbij moet h beschouwd worden vanaf de neutrale lijn waarvoor immers geldt:

$P_i = P_o$, zie figuur 6. Indien als referentietemperatuur de binnenluchttemperatuur T_i wordt gekozen gaat (8) over in:

$$\Delta P_T(h) = \rho_i g h \frac{(T_i - T_a)}{T_a} \quad (9)$$

Winddruk en thermische trek zijn vaak beide aanwezig. De luchtstroom die door de combinatie van beide ontstaat, moet gebaseerd worden op het totale drukverschil en kan niet behandeld worden als het gevolg van afzonderlijke processen waarvan vervolgens de resultaten worden opgeteld.

Experimenten hebben aangetoond, dat bij een gescheiden behandeling van een volumestroom door een opening ten gevolge van winddruk respectievelijk thermische trek, de totale volumestroom berekend kan worden door middel van:

$$\dot{V} = (\dot{V}_w^2 + \dot{V}_T^2)^{1/2} \quad (10)$$

Met:

$\dot{V}_{tot}$ totale luchtstroom ten gevolge van winddruk en thermische trek in m^3/s
 $\dot{V}_w$ luchtstroom ten gevolge van winddruk in m^3/s
 $\dot{V}_T$ luchtstroom ten gevolge van thermische trek in m^3/s