

BOUWFYSICA

gc 45 n BOUWFYSICA

DEEL 1

WARMTE/VOCHT

Vakgroep Bouwfysica

gc 45 N
BOUWFYSICA

deel 1

WARMTE/VOCHT

Technische Hogeschool Delft
Afdeling der Civiele Techniek

uitgave jan. '83	herdruk aug. 1984		gc 45.K deel 1	353011					f 7,--
---------------------	----------------------	--	-------------------	--------	--	--	--	--	--------

L.S.

Bij de samenstelling van elk diktaat wordt er uiteraard naar gestreefd om fouten te voorkomen en de inhoud zo overzichtelijk mogelijk aan te bieden.

Niettegenstaande dat kunnen toch onduidelijkheden voorkomen en kunnen fouten zijn ingeslopen.

Indien U dan ook bij de bestudering van dit diktaat:

- onjuistheden ontdekt
- op onduidelijkheden stuit
- of gedeelten ontmoet, die naar Uw mening nadere uitwerking behoeven, verzoeken de samenstellers U dringend hen daarvan mededeling te doen.

Bij de volgende drukken kunnen dan op- en aanmerkingen worden verwerkt ten gerieve van toekomstige gebruikers.

Zonodig kan ook nog in de lopende cursus voor verduidelijking worden gezorgd.

<u>INHOUDSOPGAVE</u>	<u>Blz.</u>
1. <u>ENERGIEBEWUST ONTWERPEN</u>	1.1
1.1. Energieverliesberekening	1.1
1.1.1. Energieverlies door transmissie	1.2
1.1.2. Energieverlies door ventilatie	1.7
1.1.3. Energiewinst door interne warmtebronnen	1.16
1.1.4. Energiewinst door zoninstraling	1.18
1.1.5. Voorbeelden energieverliesberekening	1.30
2. <u>NORMEN EN RICHTLIJNEN BETREFFENDE THERMISCHE ISOLATIE EN VENTILATIE</u>	2.1
2.1. Thermische isolatie van gebouwen - NEN 1068	2.1
2.1.1. Formuleren van eisen	2.2
2.1.2. Werken met de thermische isolatie-index I_t	2.9
2.1.3. Constructies met koudebruggen	2.14
2.2. Ventilatie van woongebouwen - NEN 1087	2.23
2.2.1. Vereiste volumestromen en ventilatiesystemen	2.25
2.2.2. De praktijkrichtlijn - NPR 1088	2.28
3. <u>ZONWERING</u>	3.1
3.1. Inleiding	3.1
3.2. Zonweringsberekeningen	3.2
3.3. Zontoetredingsfaktor	3.7
3.4. Zonwering door beschaduwing	3.10
3.5. Zonweringsystemen	3.13
4. <u>VOCHTTRANSPORT</u>	4.1
4.1. Dampdiffusieweerstand	4.1
4.2. Dampspanningsverloop	4.11
4.3. Methode van Glaser	4.15
4.4. Vochtabsorptie, hygroscopisch vochtgehalte	4.27

1. ENERGIEBEWUST ONTWERPEN

Door de snelle stijging van de energieprijzen, zal het energieverbruik van een gebouw een steeds belangrijker deel van de totale jaarlijkse kosten gaan uitmaken.

Het is daarom noodzakelijk met behoud van voldoende comfort en tegen redelijke kosten het energieverbruik terug te dringen.

De beperking van de vraag naar energie kan "passief" door ontwerp- en bouwtechnische maatregelen en "aktief" door gebruik van installaties en apparaten worden bereikt (*zie 1.2*). In dit hoofdstuk wordt met behulp van een eenvoudige energieverliesberekening (*zie 1.1.*) onderzocht, welke energiebesparende maatregelen mogelijk zijn en deze worden met voorbeelden kwantificeerbaar gemaakt.

In de ontwerpfase is een dergelijke globale schatting van het energieverbruik bij verschillende besparingsmaatregelen noodzakelijk ter bepaling van de financiële haalbaarheid.

Om het energieverbruik als ontwerpvariabele in het ontwerpproces in te kunnen passen en redelijke eisen te kunnen formuleren worden in 1.1.6. enige vuistregels gegeven.

1.1. Energieverliesberekening

De laatste tijd zijn verschillende berekeningsmethoden uit computersimulaties ontwikkeld (1 tot en met 6). De benaderingswijze, alsmede de gebruiksmogelijkheden zijn bij deze berekeningsmethoden verschillend. In dit hoofdstuk wordt een globale berekeningswijze voor de woningbouw op stookseizoenbasis aangehouden (1, 2).

Door het nog globale karakter van de ontwerpfase is deze aanpak nauwkeurig genoeg. Overigens zullen bij de diverse berekeningsmethoden de gevonden absolute energieverliezen vaak verschillen met de werkelijkheid in verband met het moeilijk inschatbare gedrag van de bewoners (ventilatie?) en de bouwwijze (luchtdicht?). Voor het vergelijken van het energieverlies van verschillende varianten zal de te behandelen berekeningsmethode redelijk voldoen.

In 1.1.6. zal in het kort op andere berekeningsmethoden worden ingegaan.

Het uitgangspunt van de energieverliesberekening is de energiebalans van de woning:

$$Q = Q_t + Q_v - Q_{i,eff} - Q_{z,eff} \quad [\text{kWh/stookseizoen}] \quad (1.1)$$

met:

Q = het jaarlijks energiegebruik voor verwarming (= hulpstook)

Q_t = het energieverlies door transmissie

Q_v = het energieverlies door ventilatie

$Q_{i,eff}$ = de effectieve energiewinst door interne warmtebronnen (personen, apparaten, verlichting)

$Q_{z,eff}$ = de effectieve energiewinst door zoninstraling

1.1.1. Energieverlies door transmissie

Het energieverlies door transmissie per konstruktiedeel is over het gehele stookseizoen gelijk aan:

$$Q_{tj} = k_i \cdot A_i \cdot \Sigma \Delta T \cdot \Delta \tau \quad [\text{Wh/stookseizoen}] \quad (1.2)$$

met:

k_i = warmtedoorgangscoefficiënt van het konstruktiedeel i [$\text{W/m}^2\text{K}$]

A_i = oppervlakte van het konstruktiedeel i [m^2]

ΔT = een gedurende een bepaalde tijd $\Delta \tau$ optredend temperatuurverschil tussen binnen en buiten [K]

$\Delta \tau$ = de tijd dat het temperatuurverschil ΔT optreedt [h]

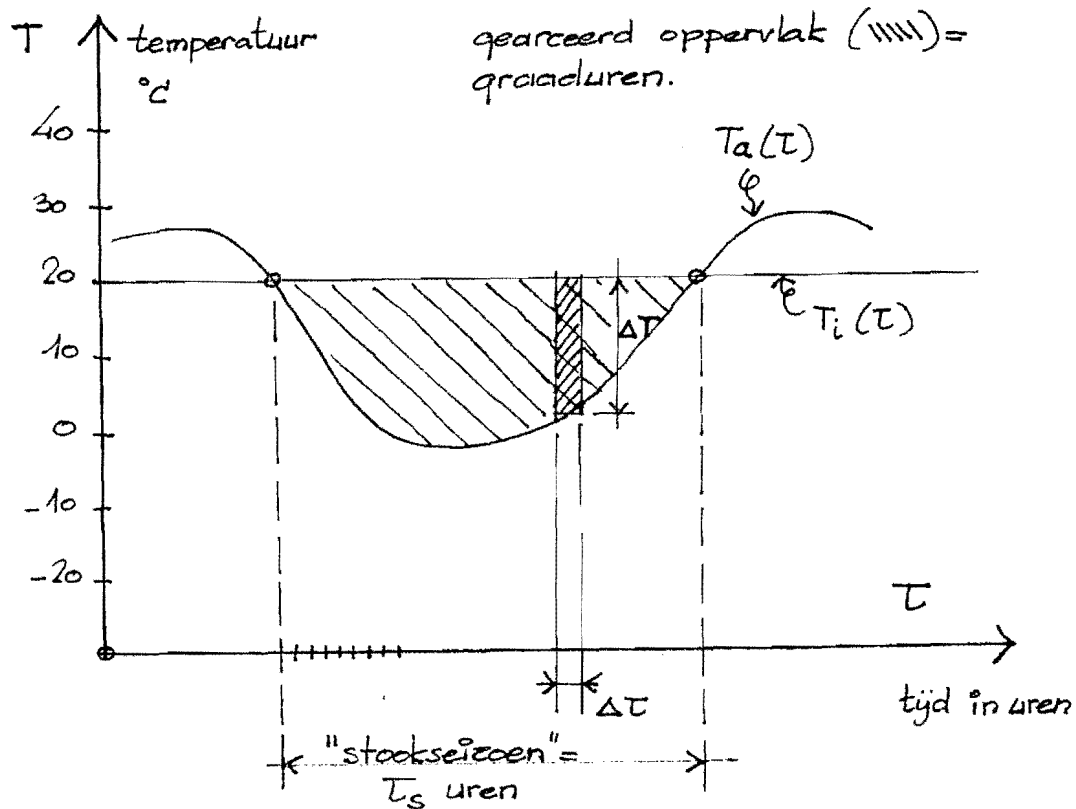
$\Sigma \Delta T \cdot \Delta \tau$ = het aantal graaduren over het stookseizoen [K.h]

Het aantal graaduren wordt, volgens het bovenstaande, verkregen door ieder uur, waarbij de buitentemperatuur T_a lager is dan de op dat uur gewenste binnentemperatuur T_i , te vermenigvuldigen met het optredend temperatuurverschil tussen binnen en buiten en over het "stookseizoen" op te tellen (*zie figuur 1.1*).

Een uur wordt in dit verband een "stookuur" genoemd, als de buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur en het energieverlies dientengevolge door de hulpstook moet worden gecompenseerd. In werkelijkheid zal bij een klein temperatuurverschil tussen binnen en buiten het energieverlies door de energiewinst tengevolge van interne warmtebronnen en zoninstraling worden gecompenseerd, waardoor het aantal uren dat werkelijk dient te worden gestookt, kleiner zal zijn. De ketel zal pas in bedrijf komen wanneer het energieverlies de energiewinst overtreft.

Dit gebeurt bij een buitentemperatuur, die de stookgrens wordt genoemd.

De stookgrens kan met behulp van een stationaire warmtebalans worden bepaald (*zie dictaat gc40*).



Figuur 1.1.

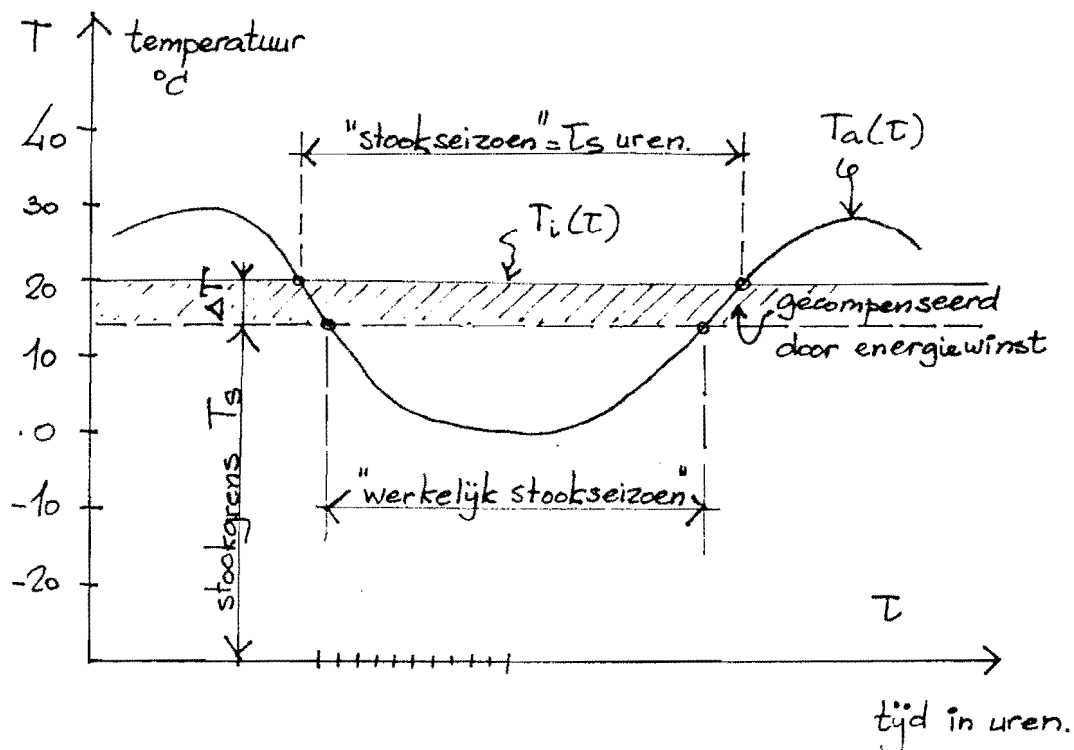
$$W = (\Sigma k \cdot A + n \cdot V \cdot \rho c)(T_i - T_a)$$

De stookgrens $T_s = T_a$ volgt uit deze balans:

$$T_s = T_i = \frac{W}{\Sigma kA + nV\rho c} \quad (1.3)$$

met W = warmtewinst tengevolge van interne warmtebronnen [W].

Door de stookgrens te bepalen kan globaal een indruk worden verkregen wanneer de verwarmingsinstallatie in werking dient te worden gesteld (zie figuur 1.2).



Figuur 1.2.

In de hier te behandelen berekeningsopzet worden de energiewinsten apart in rekening gebracht, waardoor alleen het jaarlijks energieverbruik wordt bepaald, maar niet de lengte van het stookseizoen.

Uit de temperatuurgegevens van het KNMI over de jaren 1961-1970 zijn de graaduren per vast stookseizoen (15 september tot 15 mei) voor verschillende gewenste binnentemperaturen berekend.

positieve graaduren/1000 per stookseizoen van de jaren 1961/1970									
↓	gewenste luchttemperatuur								
tijd	15°C	16°C	17°C	18°C	19°C	20°C	21°C	22°C	23°C
0-8 h	20,8	22,7	24,6	26,6	28,5	30,5	32,4	34,3	36,3
8-18 h	19,6	21,8	24,0	26,3	28,7	31,0	33,4	35,8	38,3
18-24h	13,7	15,1	16,5	17,9	19,4	20,8	22,3	23,8	25,2
Totaal	54,1	59,6	65,1	70,8	76,6	82,3	88,1	93,9	99,8

Tabel 1.1.

Deze zijn in de hiervoor gaande *tabel 1.1.* per tijdsperiode aangegeven.

Het voordeel van deze graadurenmethode is dat nachtverlaging, een verschillend ventilatievoud en een andere k-waarde in de nacht, eenvoudig kunnen worden ingevoerd door de dag in verschillende periodes te verdelen.

Door het aantal graaduren door 1.000 te delen, wordt de eenheid van het energieverlies door transmissie kWh per stookseizoen:

$$Q_{ti} = k_i \cdot A_i \cdot GR_i \quad [\text{kWh/stookseizoen}] \quad (1.4)$$

met GR_i = aantal graaduren/1000 bij konstruktiedeel i .

Het totale transmissieverlies van de woning kan nu als volgt worden geschreven:

$$Q_t = \sum_{i=1}^n Q_{ti} = \sum_{i=1}^n k_i \cdot A_i \cdot GR_i \quad (1.5)$$

$i = 1 \dots n$ = aantal ruimte-omsluitende konstrukties.

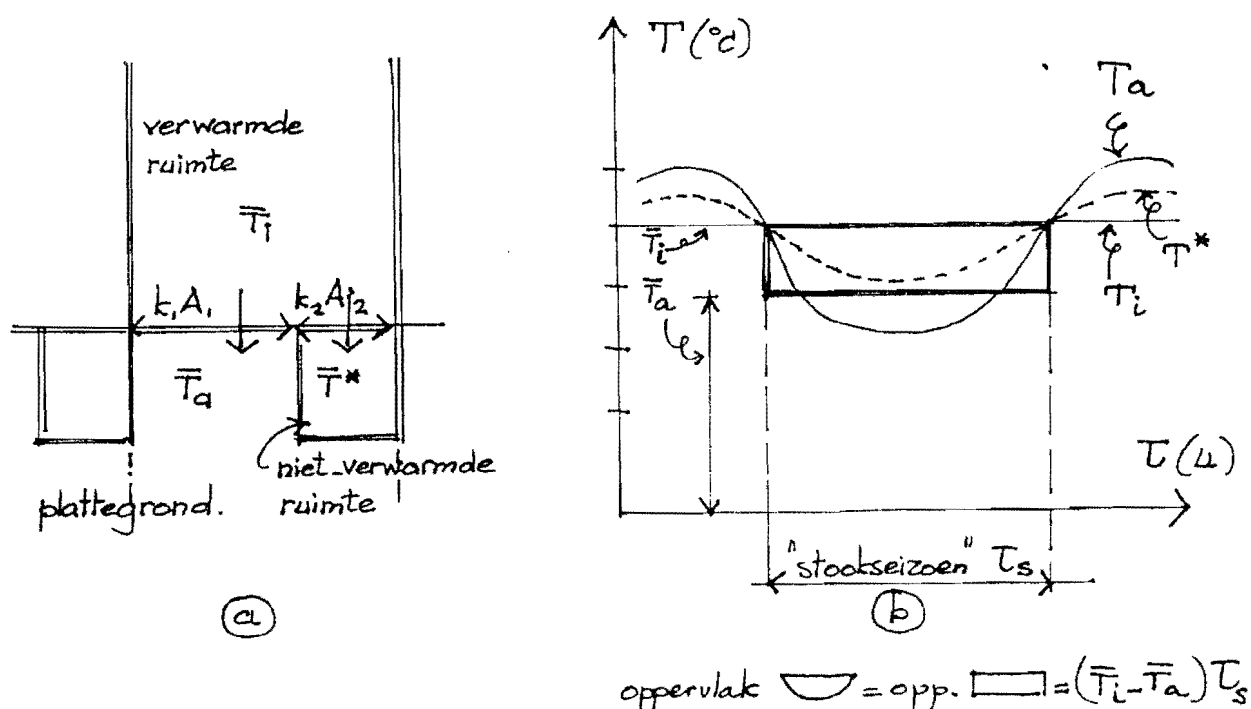
Voor konstrukties, die het gebouw afscheiden van niet verwarmde ruimten, zoals aangebouwde, van binnenuit toegankelijke bijkeukens of bergruimten, kruipruimten maar ook voor direct op de grond gestorte vloeren, wordt analoog aan NEN 1068 (*zie 2.1*) een weegfactor a ingevoerd, om het kleinere temperatuurverschil over deze konstrukties in de berekening op te nemen. Deze weegfactor wordt als volgt gedefinieerd:

$$a = \frac{\bar{T}_i - \bar{T}^*}{\bar{T}_i - \bar{T}_a} \quad (1.6)$$

met \bar{T}_i = de over het stookseizoen gemiddelde binnentemperatuur in de verwarmde ruimte

\bar{T}^* = de over het stookseizoen gemiddelde binnentemperatuur van de aangrenzende niet verwarmde ruimte

\bar{T}_a = de over het stookseizoen gemiddelde buitentemperatuur



Figuur 1.3.

Het transmissieverlies van de gevel uit bovenstaande *figuur 1.3.* wordt:

$$Q_t = k_1 A_1 (\bar{T}_i - \bar{T}_a) \tau_s + k_2 A_2 \cdot (\bar{T}_i - \bar{T}^*) \tau_s \quad (1.7)$$

hierin is $(\bar{T}_i - \bar{T}_a) \cdot \tau_s = GR_1$

wanneer er geen interne warmtebelasting of zinstraling aanwezig is.

Met *formule (1.6)* wordt (1.7):

$$Q_t = k_1 A_1 GR_1 + a_2 \cdot k_2 A_2 \cdot GR_1 \quad (1.8)$$

Voor de constructie, die het gebouw afgescheiden houdt van de niet verwarmde ruimte, wordt volgens *formule (1.8)*, het aantal graaduren (GR_1) betrokken op de binnentemperatuur van de verwarmde ruimte. De k-waarde van deze constructie, wordt vervolgens gereduceerd door middel van een weegfactor.

In 1.2. zal worden aangegeven hoe de weegfactoren kunnen worden bepaald.

Wanneer wordt aangenomen, dat in alle ruimten van een gebouw, die worden verwarmd, dezelfde gemiddelde temperatuur (\bar{T}_i) heerst, waardoor het aantal graaduren per verwarmde ruimte gelijk zal zijn, gaat *formule (1.8)* over in:

$$Q_t = \sum_{i=1}^n a_i \cdot k_i \cdot A_i \cdot GR \quad [\text{kWh/stookseizoen}] \quad (1.9)$$

GR = aantal graaduren bij de gemiddelde overal aanwezige binnentemperatuur \bar{T}_i .
Het transmissieverlies kan ook in het kort worden geschreven als:

$$Q_t = \bar{k} \cdot A_o \cdot GR$$

met A_o = totaal buitenoppervlak van het gebouw. Deze formule geeft hetzelfde transmissieverlies als \bar{k} gedefinieerd wordt volgens:

$$\bar{k} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot k_i \cdot A_i}{A_o} \quad (\text{formule 6 - NEN 1068})$$

Grote afwijkingen ten opzichte van de gemiddelde temperatuur zijn in de \bar{k} via de weegfactor verwerkt (*zie 1.1.2*).

Opmerking:

In de norm NEN 1068 is een gemiddelde doorgangscoefficiënt (\bar{k}) van een gebouw gedefinieerd, die ook uit *formule (1.9)* kan worden bepaald.

1.1.2. Energieverlies door ventilatie

Om een behaaglijk binnenklimaat te scheppen is luchtverversing een voorwaarde. Een minimale ventilatie van het gebouw is noodzakelijk en kan of op een natuurlijke wijze plaatsvinden of met mechanische ventilatie worden verkregen (*zie dictaat gc40*).

In 2.2. van dit dictaat zal worden aangegeven welke volumestromen volgens NEN 1087 minimaal vereist zijn.

Het energieverlies door ventilatie vormt een steeds belangrijker deel van het totale energieverlies, maar kan moeilijk worden bepaald wanneer dit op natuur-

lijke wijze plaatsvindt (zie dictaat ge40 en ook (8)).

Bij het energieverlies door ventilatie spelen namelijk vele factoren een belangrijke rol, zoals:

- . luchtdoorlatendheid van konstruktiedetails en afsluitende konstrukties
- . ventilatie via verticale luchtkanalen met als drijvende kracht de druk- en temperatuurverschillen
- . drukverdeling rond het gebouw (ligging en windrichting)
- . bewonersgedrag
- . uitvoering van het gebouw

Er zal in dit college niet verder worden ingegaan op hoe voornoemde factoren in een energieverliesberekening bepaald moeten worden. In (1) wordt deze problematiek nader behandeld.

Voor de bepaling van het energieverlies door ventilatie zal worden uitgegaan van het ventilatievoud n ; dit energieverlies kan over het gehele stookseizoen worden bepaald met:

$$Q_v = nV\rho c \sum \Delta T \cdot \Delta \tau$$

met n = het ventilatievoud per seconde

V = het volume van de ruimte in m^3

ρ = de dichtheid van de lucht in kg/m^3

c = soortelijke warmte van de lucht [J/kgK]

nV = volumestroom in m^3/s

Analoog aan *formule 1.4.* kan dit in het kort geschreven worden als:

$$Q_v = n \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot GR \quad [kWh/stookseizoen] \quad (1.10)$$

Als richtwaarden kunnen de volgende ventilatievouden worden aangehouden:

$n = 1,2$ wanneer meer dan gebruikelijk wordt geventileerd en geen extra aandacht wordt besteed aan tochtwering

$n = 1,0$ wanneer op gebruikelijke wijze wordt geventileerd en geen extra aandacht wordt besteed aan tochtwering

$n = 0,8$ wanneer extra aandacht wordt besteed aan tochtwering

Als ventilatie via een niet verwarmde ruimte mogelijk is, wordt *formule 1.10:*

$$Q_v = a \cdot n \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot GR \quad [kWh/stookseizoen] \quad (1.11)$$

met a = de weegfactor, volgens de hieronder beschreven berekeningsmethode.

Bepaling van de weegfactor

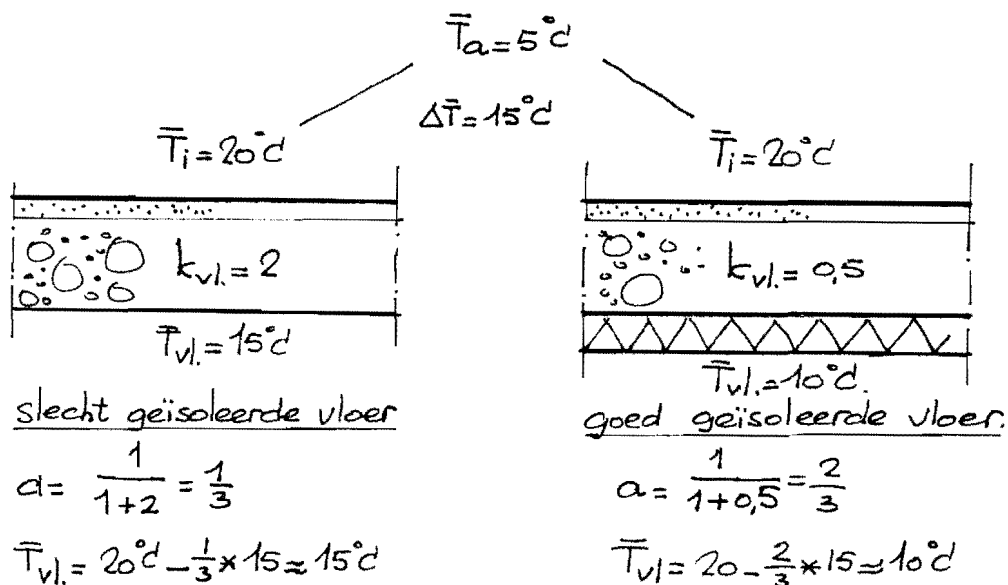
Voor konstrukties, die verwarmde ruimten afscheiden van de buitenlucht wordt de weegfactor 1 ingevoerd. Het aantal graaduren wordt bepaald bij de optredende binnentemperatuur met behulp van *tabel 1.1*.

Het transmissieverlies door de begane grondvloer naar de kruipruimte c.q. onderliggende grond is vrij gecompliceerd. Ter wille van de eenvoud wordt, analoog aan de norm NEN 1068, voor die gedeelten van begane-grondvloeren, die gelegen zijn binnen een strook van 6 m vanaf het buitenoppervlak van de gevel de volgende weegfactor ingevoerd:

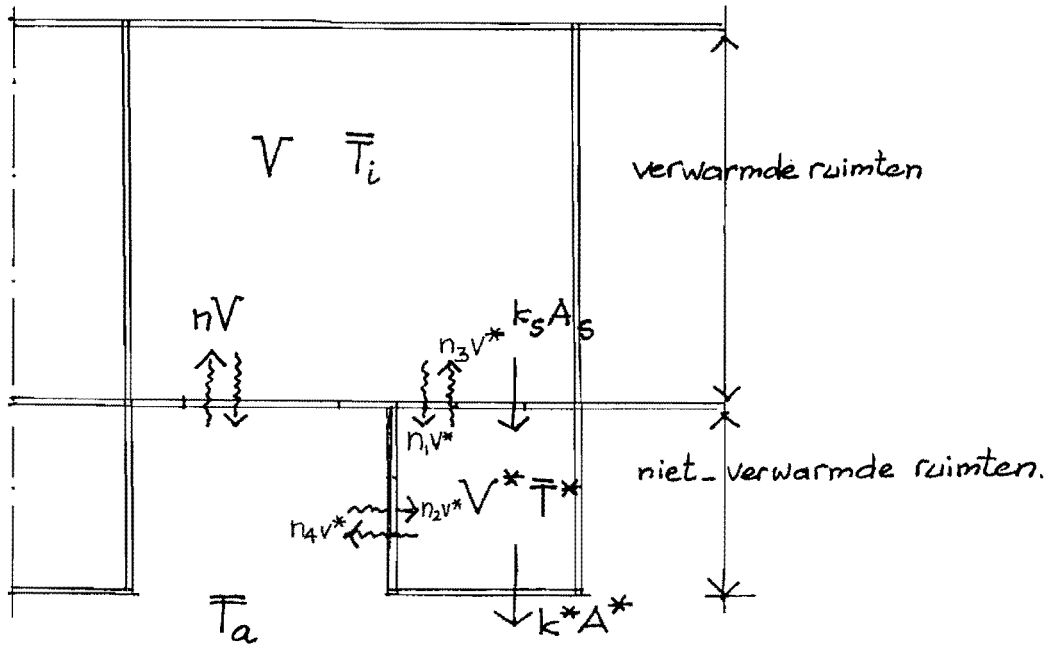
$$a = \frac{1}{1 + k_{vl}} \quad (1.12)$$

k_{vl} = warmtedoorgangscoefficiënt van de desbetreffende vloer.

Voor de middenstroken, waarbij het zijdelingse transmissieverlies via de funderingsstrook naar de buitenlucht geen rol van betekenis meer speelt, wordt de weegfactor $a = 0,2$ (zie NEN1068 - 7.1.).



Figuur 1.4.



~~~~~> = energieverlies/winst door ventilatie

—> = energieverlies/winst door transmissie

$V$  = volume verwarmde ruimte [ $m^3$ ]

$V^*$  = volume niet-verwarmde ruimte [ $m^3$ ]

$n_1 V^*$  = ventilatiestroom met temperatuur  $T_i$  naar onverwarmde ruimte [ $m^3/h$ ]

$n_2 V^*$  = ventilatiestroom met temperatuur  $T_a$  naar onverwarmde ruimte [ $m^3/h$ ]

$n_3 V^*$  = ventilatiestroom van onverwarmde ruimte naar verwarmde ruimte

$n_4 V^*$  = ventilatiestroom van onverwarmde ruimte naar buiten

$k_s A_s$  =  $k_1 A_1 + k_2 A_2 + k_3 A_3 + \dots$  van de scheidingsconstructie [W/K]

$k^* A^*$  =  $k_1^* A_1^* + k_2^* A_2^* + k_3^* A_3^* + \dots$  van alle ruimte-omsluitende constructies van de niet-verwarmde ruimte, die aan de buitenlucht grenzen [W/K]

Figuur 1.5.

Uit voorgaande *figuur 1.4.* blijkt, dat bij een toenemende isolatiedikte ( $k_{v1}$  wordt kleiner) van de begane grondvloer de weegfactor en dus ook het temperatuurverschil over de vloer toeneemt. Het laatste is duidelijk, omdat bij een toenemende isolatiedikte steeds minder warmte naar de grond zal stromen en de grond c.q. kruipruimte onder de vloer een lagere temperatuur krijgt. (Let op bevriezing van de leidingen onder de vloer!).

Voor het transmissieverlies naar een niet-verwarmde ruimte, kan de weegfactor met behulp van een energiebalans worden bepaald. Met behulp van de woningplattegrond uit *figuur 1.5.* en de hierbij gedefinieerde symbolen wordt de energiebalans van de niet verwarmde ruimte:

$$k_s A_s (\bar{T}_i - \bar{T}^*) + n_1 V^* \rho c \bar{T}_i + n_2 V^* \rho c \bar{T}_a = k^* A^* (\bar{T}^* - \bar{T}_a) + n_3 V^* \rho c \bar{T}^* + n_4 V^* \rho c \bar{T}^*$$

met  $n_1 V^* + n_2 V^* = n_3 V^* + n_4 V^*$  wordt dit

$$k_s A_s (\bar{T}_i - \bar{T}^*) + n_1 V^* \rho c \bar{T}_i + n_2 V^* \rho c \bar{T}_a = k^* A^* (\bar{T}^* - \bar{T}_a) + n_1 V^* \rho c \bar{T}^* + n_2 V^* \rho c \bar{T}^*$$

of

$$(k_s A_s + n_1 V^* \rho c) (\bar{T}_i - \bar{T}^*) = (k^* A^* + n_2 V^* \rho c) (\bar{T}^* - \bar{T}_a)$$

of

$$(k_s A_s + n_1 V^* \rho c + k^* A^* + n_2 V^* \rho c) (\bar{T}_i - \bar{T}^*) = (k^* A^* + n_2 V^* \rho c) (\bar{T}_i - \bar{T}_a)$$

De weegfactor  $a$  wordt

$$a = \frac{\bar{T}_i - \bar{T}^*}{\bar{T}_i - \bar{T}_a} = \frac{k^* A^* + n_2 V^* \rho c}{k_s A_s + n_1 V^* \rho c + k^* A^* + n_2 V^* \rho c} \quad (1.13)$$

N.B. Bij *formule (1.13)* moet worden bedacht dat  $n_1 V^*$  en  $n_2 V^*$  de volumestromen zijn die de onverwarmde ruimte binnenkomen met temperaturen  $\bar{T}_i$  respectievelijk  $\bar{T}_a$ .

Hoewel  $n_1 V^* + n_2 V^* = n_3 V^* + n_4 V^*$  kunnen  $n_1 V^* \neq n_3 V^*$  en  $n_2 V^* \neq n_4 V^*$  zijn.

Wanneer er géén ventilatiestroom door de scheidingsconstructie ( $n_1 V^*$ ) plaatsvindt en voor  $n_2$  een waarde van 1,5 per uur wordt ingevoerd ontstaat *formule 18* uit de norm NEN 1068.

Het energieverlies door de scheidingskonstruktie naar de niet verwarmde ruimte wordt nu:

$$Q_{t+v} = k_s A_s (\bar{T}_i - \bar{T}^*) \tau_s + n_1 V^* \rho c (\bar{T}_i - \bar{T}^*) \tau_s$$

of

$$Q_{t+v} = k_s A_s \cdot a \cdot (\bar{T}_i - \bar{T}_a) \tau_s + n_1 V^* \rho c \cdot a \cdot (\bar{T}_i - \bar{T}_a) \cdot \tau_s$$

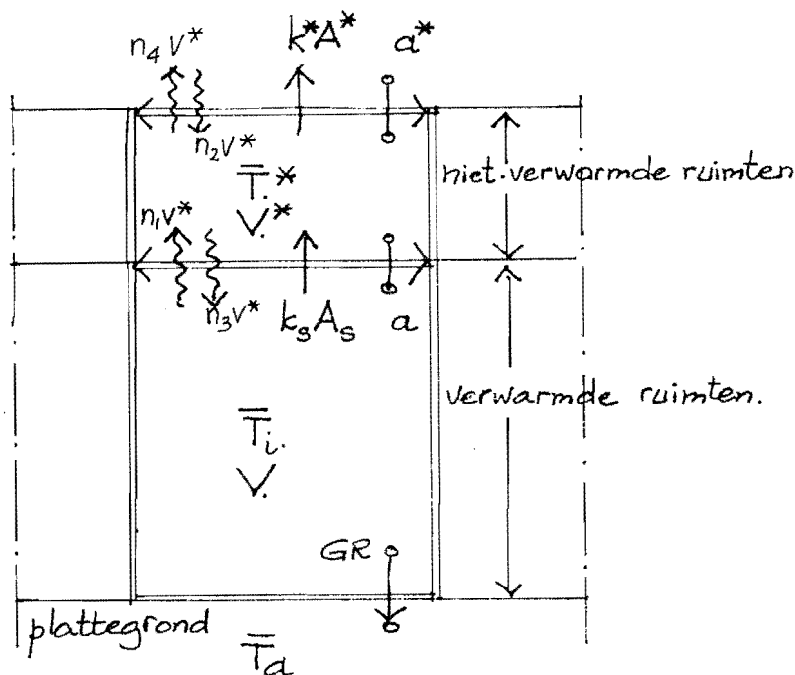
of

$$Q_{t+v} = a \cdot k_s \cdot A_s \cdot GR + a \cdot n_1 V^* \rho c \cdot GR \quad (1.14)$$

De temperatuur van de niet-verwarmde ruimte hoeft dus niet uitgerekend te worden om het energieverlies te bepalen, maar kan wel interessant zijn om de bruikbaarheid van de desbetreffende ruimte te onderzoeken. Bij een zeer goed geïsoleerde niet verwarmde ruimte is het niet denkbeeldig dat een redelijk hoge temperatuur ontstaat en een verwarmingselement achterwege kan worden gelaten.

De temperatuur van de niet verwarmde ruimte kan worden berekend via omwerking van *formule 1.13* volgens:

$$\bar{T}^* = T_i - a(T_i - T_a) \quad (1.15)$$



Figuur 1.6

Voor voorgaande plattegrond van *figuur 1.6* is op dezelfde wijze de weegfactor  $a$  (*formule (1.13)*) en het energieverlies door de scheidingsconstructie naar de niet verwarmde ruimte te bepalen.

Wanneer nu een weegfactor, behorende bij de ruimte-omsluitende constructie, wordt gedefinieerd volgens:

$$a^* = \frac{\bar{T}^* - \bar{T}_a}{\bar{T}_i - \bar{T}_a} = 1 - a \quad (1.16)$$

kan het energieverlies door de ruimte-omsluitende constructie van de niet verwarmde ruimte naar de buitenlucht worden bepaald volgens:

$$\begin{aligned} Q_t + Q_v &= k^* A^* (\bar{T}^* - \bar{T}_a) \tau_s + n_2 V^* \rho c (\bar{T}^* - T_a) \tau_s \\ &= k^* A^* a^* (\bar{T}_i - \bar{T}_a) \tau_s + n_2 V^* \rho c \cdot a^* (\bar{T}_i - \bar{T}_a) \tau_s \\ &= a^* k^* A^* GR + a^* n_2 V^* \rho c \cdot GR \end{aligned} \quad (1.17)$$

Op grond van het feit dat de energiestroom van de verwarmde ruimte naar de niet verwarmde ruimte gelijk moet zijn aan de energiestroom door de buitengevel naar de buitenlucht, zal het energieverlies volgens *formule 1.14 en 1.17* gelijke waarden geven.

De weegfactor  $a^*$  kan worden bepaald volgens:

$$a^* = \frac{\bar{T}^* - \bar{T}_a}{\bar{T}_i - \bar{T}_a} = \frac{\bar{T}_i - \bar{T}_a}{\bar{T}_i - \bar{T}_a} - \frac{\bar{T}_i - \bar{T}^*}{\bar{T}_i - \bar{T}_a} = 1 - a \quad (1.18)$$

Substitutie van *formule 1.13 in 1.18* geeft:

$$a^* = \frac{k_s A_s + n_1 V^* \rho c}{k_s A_s + n_1 V^* \rho c + k^* A^* + n_2 V^* \rho c}$$

## Voorbeeld 1.1.

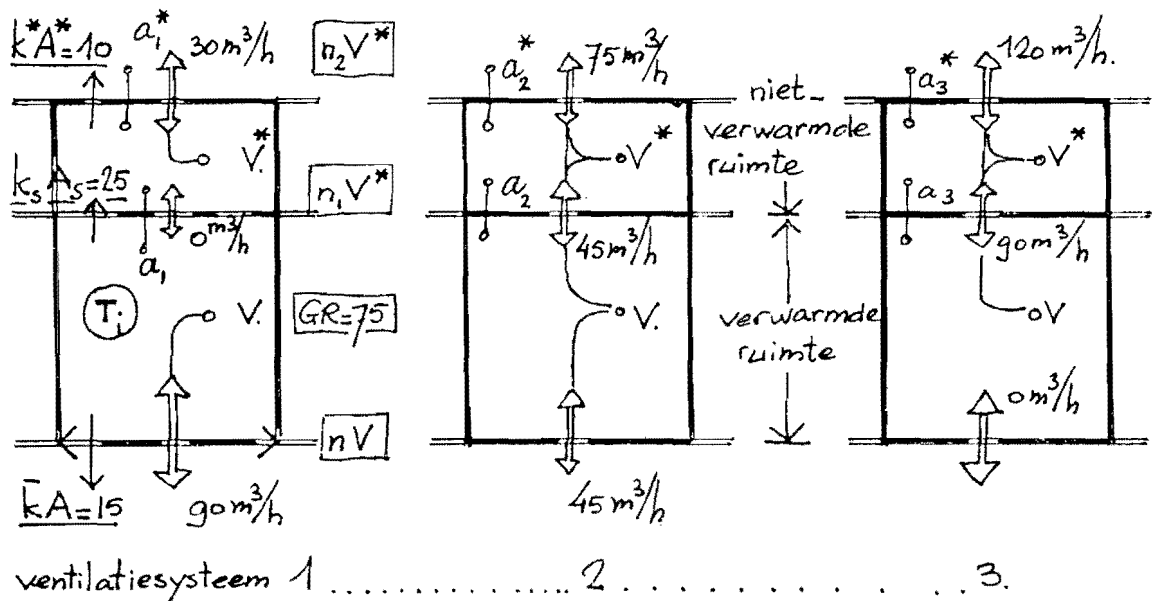
## Gegeven:

Voor de woningplattegrond van *figuur 1.7* geldt:

benodigde ventilatiestroom verwarmde ruimte  $90 \text{ m}^3/\text{h}$

benodigde ventilatiestroom niet verwarmde ruimte  $30 \text{ m}^3/\text{h}$

totale ventilatiestroom via voor- en achtergevel  $120 \text{ m}^3/\text{h}$



figuur 1.7.

Wordt aangenomen dat de ventilatie via een andere ruimte plaats kan vinden, dan worden de volgende ventilatiestromen volgens *figuur 1.7*. gevonden:

$n_2 V^*$  respectievelijk : 30, 75, 120  $\text{m}^3/\text{h}$

$n_1 V^*$  respectievelijk : 0, 45, 90  $\text{m}^3/\text{h}$  (interne ventilatie)

$nV$  respectievelijk : 90, 45, 0  $\text{m}^3/\text{h}$

$k^* A^* = 10 \text{ W/K}$

$k_s A_s = 25 \text{ W/K}$

$\bar{k}A = 15 \text{ W/K}$

$(\rho c)_{\text{lucht}} = 1200 \text{ J/m}^3\text{K}$

$T_i = 18^\circ\text{C} : 0 - 18 \text{ uur}$   
 $21^\circ\text{C} : 18 - 24 \text{ uur}$  } 75203 \text{ graaduren}



$$\begin{aligned} GR &= 75 \\ \bar{T}_a &= 5 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

De energiewinst door interne warmtebronnen en zoninstraling en het energieverlies door de vloer worden verwaarloosd.

Gevraagd:

- Bepaal het energieverlies tengevolge van transmissie en ventilatie van de woonverdieping voor de gegeven volumestromen.
- Bepaal de optredende temperatuur van de niet verwarmde ruimte als  $\bar{T}_i = 21 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Oplissing:

- Bepaling weegfactoren  $a^*$  ( $a = 1 - a^*$ ) volgens (1.19):

$$a_1^* = \frac{25 + 0}{25 + 0 + 10 + 30 \cdot \frac{1200}{3600}} = 0,56 \rightarrow a_1 = 0,44$$

$$a_2^* = \frac{25 + 45 \cdot 1/3}{25 + 45 \cdot \frac{1}{3} + 10 + 75 \cdot \frac{1}{3}} = 0,53 \rightarrow a_2 = 0,47$$

$$a_3^* = \frac{25 + 90 \cdot 1/3}{25 + 90 \cdot \frac{1}{3} + 10 + 120 \cdot \frac{1}{3}} = 0,52 \rightarrow a_3 = 0,48$$

Transmissieverlies:  $Q_t = (a^* k^* A^* + \bar{k}A) \cdot GR$  geeft:

$$Q_{t1} = (0,56 \cdot 10 + 15)75 = 1545 \text{ kWh}$$

$$Q_{t2} = (0,53 \cdot 10 + 15)75 = 1523 \text{ kWh}$$

$$Q_{t3} = (0,52 \cdot 10 + 15)75 = 1515 \text{ kWh}$$

Ventilatieverlies:  $Q_v = (a^* n_2 V^* \rho c + nV\rho c) GR$  geeft:

$$Q_{v1} = (0,56 \cdot 30 \cdot \frac{1}{3} + 90 \cdot \frac{1}{3})75 = 2670 \text{ kWh}$$

$$Q_{v2} = (0,53 \cdot 75 \cdot \frac{1}{3} + 45 \cdot \frac{1}{3})75 = 2119 \text{ kWh}$$

$$Q_{v3} = (0,52 \cdot 120 \cdot \frac{1}{3} + 0 \cdot \frac{1}{3})75 = 1560 \text{ kWh}$$

Energieverlies woonverdieping:  $Q_t + Q_v$  geeft:

$$Q_1 = 1545 + 2670 = 4215 \text{ kWh (100 \%)}$$

$$Q_2 = 1523 + 2119 = 3642 \text{ kWh (86 \%)}$$

$$Q_3 = 1515 + 1560 = 3075 \text{ kWh (73 \%)}$$

Bij een toename van de ventilatie via de niet-verwarmde ruimte, zal het energieverlies sterk afnemen. Het energieverlies door transmissie blijft bij de drie gegeven ventilatiemogelijkheden vrijwel gelijk. Omdat moeilijk vast te stellen is hoe de ventilatiestromen in de woning plaats zullen vinden en hoeveel geventileerd zal worden, zal het duidelijk zijn, dat een "theoretisch" berekend energieverlies van een woning zal afwijken van het werkelijk optredend energieverlies. Om een behaaglijk binnenklimaat te scheppen dienen de ventilatievoorzieningen gebaseerd op ventilatiesysteem 1, te worden aangebracht. Immers toevoeren van verontreinigde lucht uit de niet verwarmde ruimte zoals in ventilatiesysteem 3 draagt niet bij tot een behaaglijk binnenklimaat!

b. De temperatuur in de niet verwarmde ruimte wordt:

$$\bar{T}_1^* = 21 - 0,44(21-5) = 14,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{T}_2^* = 21 - 0,47(21-5) = 13,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{T}_3^* = 21 - 0,48(21-5) = 13,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

De versterkte ventilatiestroom door de buitengevel van de niet verwarmde ruimte blijkt in dit voorbeeld bepalend te zijn voor de lagere binnentemperatuur van deze ruimte.

### 1.1.3. Energiewinst door interne warmtebronnen

De energiewinst door interne warmtebronnen (personen, verlichting, apparaten) kan het jaarlijks energieverbruik voor verwarming verminderen.

| interne warmteproductie | bijdrage warmteproductie aan de woning kWh/dag | verdeling over etmaal |      |       |
|-------------------------|------------------------------------------------|-----------------------|------|-------|
|                         |                                                | 0-8                   | 8-18 | 18-24 |
| personen                | 4,3                                            | 1,68                  | 1,20 | 1,44  |
| electriciteit           | 3,7                                            | 0,48                  | 0,95 | 2,31  |
| warm-water/koken        | 6,9                                            | 1,00                  | 2,65 | 3,24  |
| totaal                  | 15,0                                           | 3,20                  | 4,80 | 7,00  |

Tabel 1.2

In *tabel 1.2* zijn waarden voor de interne warmteproductie gegeven, zoals deze volgen uit een TNO-onderzoek. De effectieve energiewinst is afhankelijk van het rendement van de interne warmteproductie.

Dit rendement is van verschillende factoren afhankelijk, zoals onder andere de energievraag en de warmtecapaciteit.

Bij een berekening op stookseizoenbasis kan met een redelijke nauwkeurigheid een rendement van 80% worden aangehouden, temeer omdat de interne warmteproductie meestal een betrekkelijk kleine post vormt op de energiebalans.

De totale effectieve energiewinst door de interne warmtebronnen is nu gelijk aan:

$$Q_{i,\text{eff}} = \eta_i \cdot IW \cdot d_s \quad [\text{kWh/stookseizoen}] \quad (1.20)$$

met  $\eta_i$  = rendement

$IW$  = interne warmteproductie per dag [kWh/dag]

$d_s$  = aantal "stookdagen"

Voor een woning wordt met een  $IW = 15$  kWh/dag de volgende effectieve energiewinst gevonden:

$$Q_{i,\text{eff}} = 0,8 \cdot 15 \cdot 240 \approx 2900 \text{ kWh/stookseizoen.}$$

De effectieve energiewinst door interne warmtebronnen kan uitgesplitst worden per verdieping volgens:

woonverdieping :  $Q_{i,\text{eff}} \approx 2300$  kWh/stookseizoen

slaapverdieping:  $Q_{i,\text{eff}} \approx 600$  kWh/stookseizoen

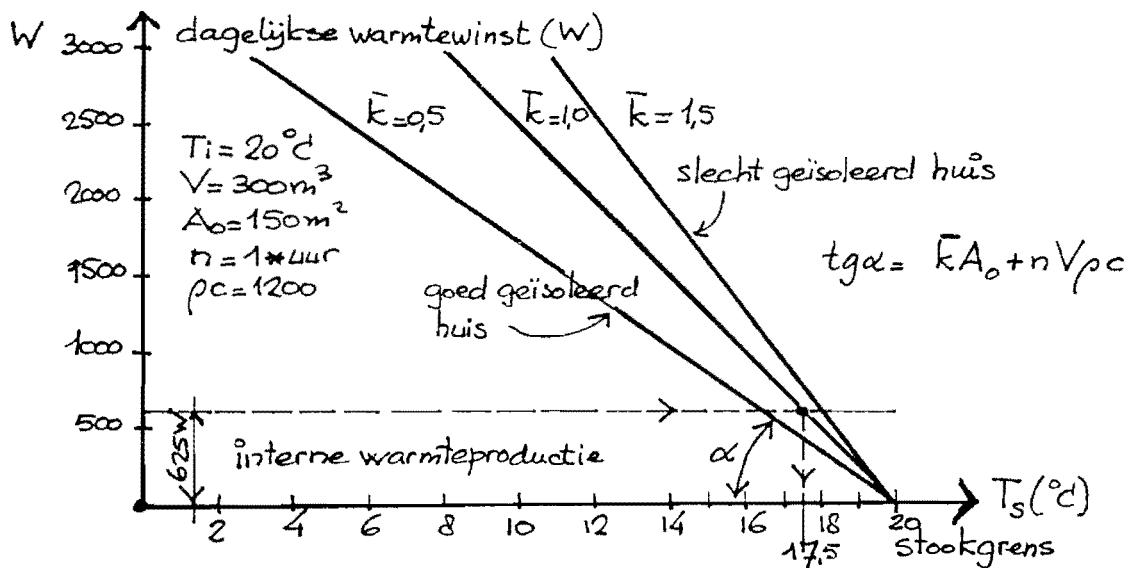
Bij voornoemde gemiddelde interne warmteproductie van 15 kWh/dag, hetgeen overeenkomt met  $\frac{15000\text{Wh}}{24\text{h}} = 625$  W, is de stookgrens met behulp van *formule 1.3* te bepalen als verder gegeven is:

$$\begin{aligned} V_{\text{woning}} &= 300 \text{ m}^3 \\ A_o &= 150 \text{ m}^2 \\ \bar{k} &= 1 \text{ W/m}^2\text{K} \\ n &= 1 \text{ x per uur} \\ \rho c &= 1200 \text{ J/m}^3\text{K} \\ T_i &= 20 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

De stookgrens  $T_s$  wordt:

$$20 - \frac{625}{1 \cdot 150 + 1 \cdot 300 \cdot \frac{1200}{3600}} = 17,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Bij het opvoeren van de isolatiedikte, minder ventilatieverlies en een grote interne warmteproductie, zal de stookgrens erg laag worden en zal dientengevolge de verwarmingsinstallatie pas laat in het "stookseizoen" in werking worden gesteld.



Figuur 1.8.

In bovenstaande figuur is dit effect met behulp van *formule 1.3* grafisch weergegeven.

#### 1.1.4. Energiewinst door zoninstraling

De energiewinst door zoninstraling kan het jaarlijks energieverbruik voor verwarming verminderen. De bijdrage van de zon zal gedurende het "stookseizoen" sterk variëren.

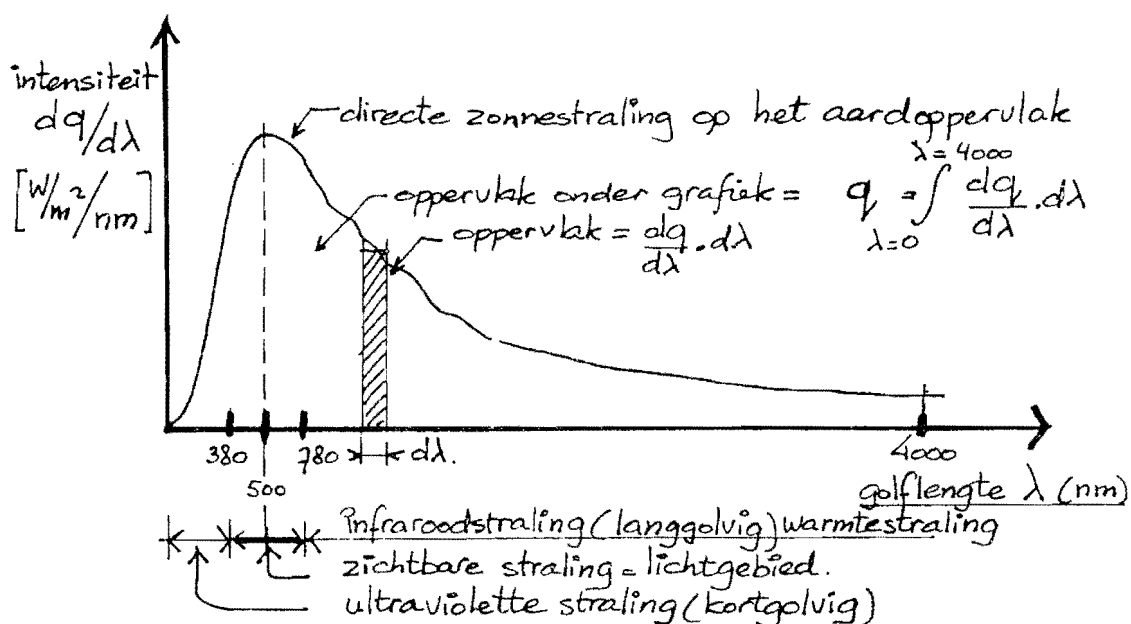
In het voor- en najaar zal de bijdrage in procenten van de energievraag groot zijn, in de winter zal door de grote vraag de bijdrage van de zon procentueel en absoluut klein zijn.

Hoe de energiewinst door zinstraling tot stand komt, wordt hierna in het kort weergegeven.

### . Stralingssoorten

De in de atmosfeer binnendringende straling wordt voor een deel geabsorbeerd door de aanwezige ozon, waterdamp en stofdeeltjes, voor een deel verstrooid door de luchtmolekulen en de stofdeeltjes en het resterende deel wordt doorgelaten. De doorgelaten straling, die het aardoppervlak bereikt, wordt directe straling genoemd.

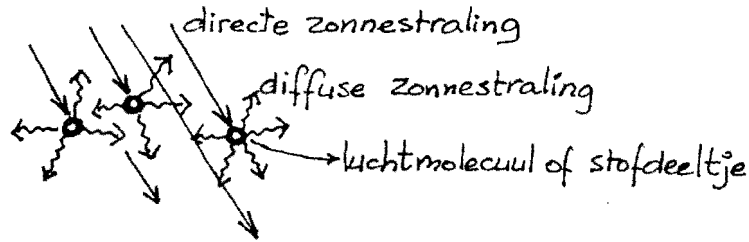
De intensiteit van de directe straling op het aardoppervlak is in *figuur 1.9* schematisch als functie van de golflengte getekend. De maximale intensiteit treedt op bij een golflengte van 500 nm (1 nm = 1 nanometer =  $10^{-9}$  m).



Figuur 1.9.

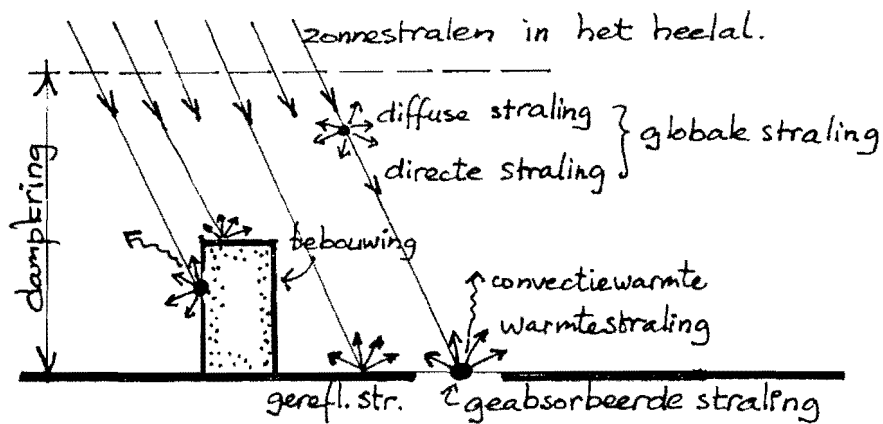
Onder diffuse straling wordt verstaan het gedeelte van de verstrooide straling, dat het aardoppervlak bereikt, zie *figuur 1.10*





Figuur 1.10

Van de totaal op het aardoppervlak en de omringende gebouwen vallende straling, wordt een gedeelte geabsorbeerd en een gedeelte gereflecteerd. Het geabsorbeerde gedeelte verwarmt de oppervlakken en straalt naar de omgeving uit, zie figuur 1.11.

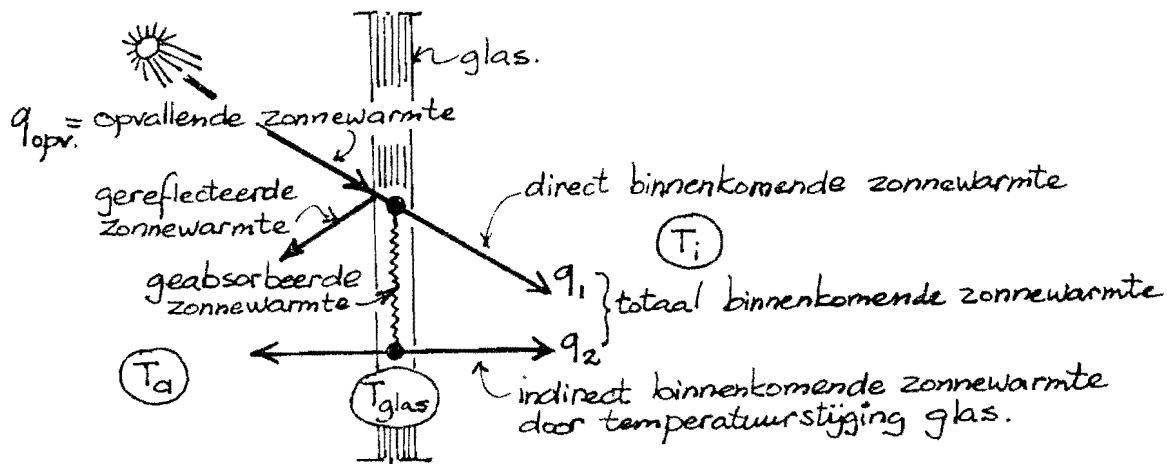


Figuur 1.11

De directe en diffuse straling op glasvlakken, samen de globale straling genoemd, leveren het belangrijkste aandeel in de energiewinst van ruimten. Bij de energieverliesberekening wordt bij onbeschaduwde vlakken dan ook diffuse en directe straling in rekening gebracht.

### . Zoninstraling in het vertrek

Wanneer de zonnestraling op een glasvlak valt, zal bij blank enkel glas circa 80% van de opvallende zonnestraling worden doorgelaten ( $q_1$ ), de rest wordt door het glas ten dele geabsorbeerd (warmte), ten dele als straling gereflecteerd. Door de absorptie warmt het glas op, stijgt in temperatuur en er zal warmte-afgifte van het glas naar binnen en buiten plaatsvinden ( $q_2$ ), zie *figuur 1.12*.



Figuur 1.12

De totaal binnenkommende warmtestroom (direct en indirect) is een bepaald gedeelte van de opvallende warmtestroom en wordt gedefinieerd volgens:

$$ZTA = \frac{q_1 + q_2}{q_{\text{opvallend}}} \quad (1.22)$$

ZTA = absolute zontoetredingsfactor

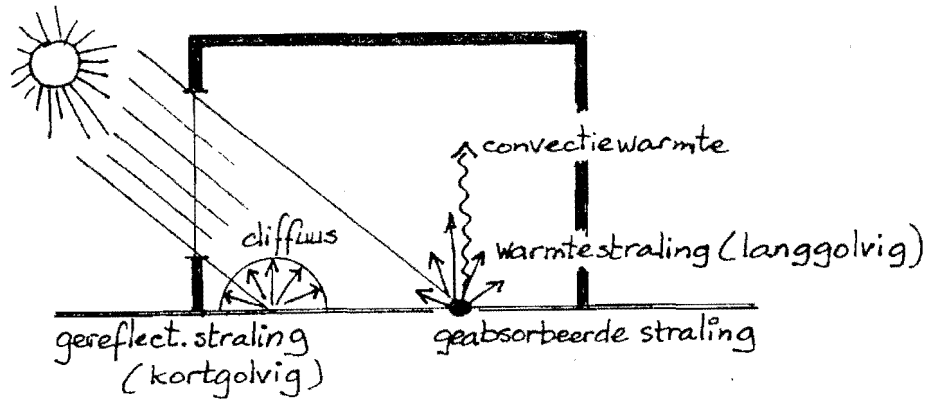
ZTA = 0,8 enkel blank glas

ZTA = 0,7 dubbel blank glas

} zie ook hoofdstuk 3.

De doorgelaten kortgolvlige straling valt op wanden en vloeren en wordt daar voor een deel geabsorbeerd en voor het overige deel diffuus gereflecteerd (kortgolvig). Een vlak heet diffuus reflecterend wanneer de gereflecteerde straling van het vlak in iedere richting een stralingsintensiteit ( $W/m^2$ ) van gelijke grootte heeft.

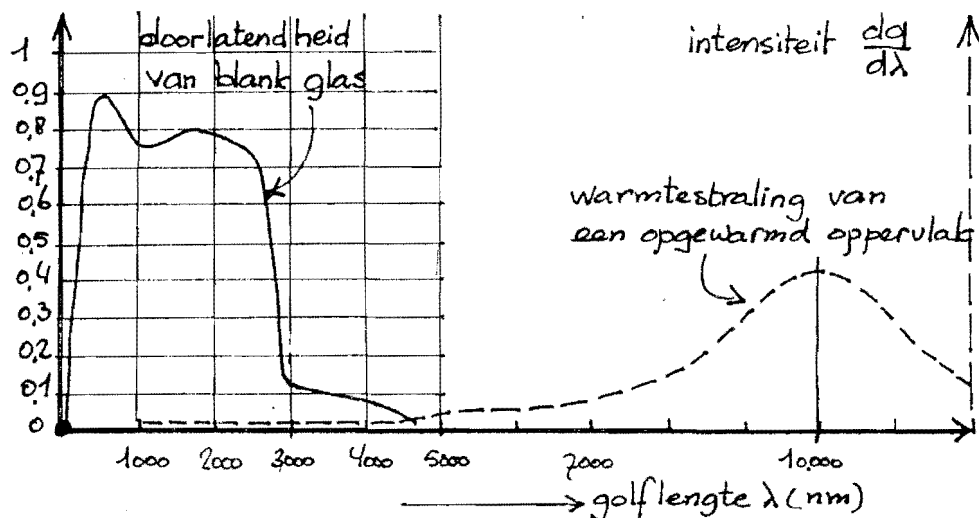
Een klein deel van deze diffuus gereflecteerde straling bereikt opnieuw het glas en wordt daar weer voor circa 80% doorgelaten naar buiten.



Figuur 1.13

Het grootste geabsorbeerde deel warmt de wanden en vloeren op tot een hoger temperatuurniveau, waardoor deze door straling en convectie, andere delen van het interieur verwarmen.

Deze lage-temperatuurstraling is langgolvig en wordt vrijwel niet door het glas doorgelaten, zie figuur 1.14.



Figuur 1.14

Een vertrek met een glasvlak werkt voor opvallende zonnestraling als het ware als een fuik. De in het vertrek geabsorbeerde straling warmt het gehele vertrek op en kan nauwelijks meer uit dit vertrek verdwijnen.

Wil men bij gebouwen, die continu in gebruik zijn, maximaal nut hebben van de invallende zonnestraling dan zullen materialen in het vertrek moeten worden toegepast, die de overdag geabsorbeerde warmte snel kunnen opnemen en voldoende kunnen opslaan ( $\rho c = \text{groot}$ ).

's Avonds wordt de opgenomen warmte door afkoeling weer aan het vertrek afgegeven. Door voldoende warmtecapaciteit ( $\rho c = \text{groot}$ ) zal tevens de binnentemperatuur in voor- en naseizoen niet te hoog oplopen. Bij onvoldoende warmtecapaciteit zou een te hoge binnentemperatuur wel eens aanleiding kunnen worden tot extra ventilatie, waardoor de opgevangen zonnestraling minder effectief wordt gebruikt. In de zomer zal bij grote glasoppervlakken, ondanks een grote warmtecapaciteit meestal een zonwering noodzakelijk zijn, *zie hoofdstuk 3*.

#### . Zonnestralingsgegevens

De directe en diffuse stralingsintensiteit ( $\text{W/m}^2$ ) zijn afhankelijk van:

- de plaats op aarde
- de tijd van het jaar
- de oriëntatie van het door de zon beschenen vlak
- de zuiverheid van de atmosfeer

Van de jaren 1961 - 1970 zijn van het KNMI te De Bilt waarden per uur van de globale straling op een horizontaal vlak bekend.

De op een horizontaal vlak vallende energie is dan per stookseizoen te bepalen volgens:

$$\Sigma q_{\text{globaal}} \cdot \tau \quad [\text{Wh/m}^2]$$

met  $\tau = \text{tijd}$ , dat een bepaalde stralingsintensiteit optreedt

$$q_{\text{globaal}} = q_{\text{dir}} + q_{\text{diff}} = \text{globale straling} \quad [\text{W/m}^2]$$

Om deze KNMI gegevens bruikbaar te maken voor andere oriëntaties en om  $q_{\text{globaal}}$  uit te splitsen in een direct en een diffuus deel, zijn verschillende berekeningsmethoden voorhanden.

Zonder hier dieper op deze berekeningsmethoden in te gaan, blijkt, dat vooral de omrekening van de diffuse straling van het horizontale vlak naar een ander vlak vaak aanleiding geeft tot verschillen in de toegepaste zonnestralingsgege-

vans bij de energieverliesberekening (1, 5). Berekeningsmethoden van de diffuse straling, waarbij uitgegaan wordt van een onbewolkte hemel, geven doorgaans te gunstige waarden (5).

| Gemiddelde diffuse en directe bestralingssterkte ( $\text{kWh/m}^2$ ) op horizontale en verticale vlakken per stookseizoen gebaseerd op het decennium 1961/1970 |           |       |       |       |      |       |       |       |             |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| Oriëntatie                                                                                                                                                      | vertikaal |       |       |       |      |       |       |       |             |       |
|                                                                                                                                                                 | N         |       | NW    |       | W    |       | ZW    |       | Z           |       |
| Tijd                                                                                                                                                            | dir       | diff  | dir   | diff  | dir  | diff  | dir   | diff  | dir         | diff  |
| 0 - 8 h                                                                                                                                                         | 0.5       | 6.5   | 0.0   | 6.3   | 0.0  | 6.3   | 0.0   | 6.3   | 0.6         | 6.5   |
| 8 - 18 h                                                                                                                                                        | 0.0       | 168.0 | 15.1  | 168.9 | 77.8 | 182.4 | 166.5 | 201.0 | 212.9       | 209.9 |
| 18 - 24 h                                                                                                                                                       | 0.9       | 3.1   | 4.3   | 3.6   | 5.3  | 3.7   | 3.1   | 3.4   | 0.0         | 3.0   |
| Totaal                                                                                                                                                          | 1.4       | 174.6 | 19.4  | 178.8 | 83.1 | 192.4 | 169.6 | 210.7 | 213.5       | 219.4 |
| Oriëntatie                                                                                                                                                      | vertikaal |       |       |       |      |       |       |       | horizontaal |       |
|                                                                                                                                                                 |           |       | ZO    |       | O    |       | NO    |       |             |       |
| Tijd                                                                                                                                                            |           |       | dir   | diff  | dir  | diff  | dir   | diff  | dir         | diff  |
| 0 - 8 h                                                                                                                                                         |           |       | 6.9   | 7.4   | 9.7  | 7.9   | 6.8   | 7.4   | 2.3         | 10.3  |
| 8 - 18h                                                                                                                                                         |           |       | 160.2 | 199.9 | 70.1 | 181.0 | 10.5  | 168.1 | 144.2       | 258.0 |
| 18 - 24h                                                                                                                                                        |           |       | 0.0   | 3.0   | 0.0  | 2.9   | 0.0   | 3.0   | 0.9         | 4.9   |
| Totaal                                                                                                                                                          |           |       | 167.0 | 210.2 | 79.7 | 191.9 | 17.3  | 178.5 | 147.5       | 273.1 |

Tabel 1.3.

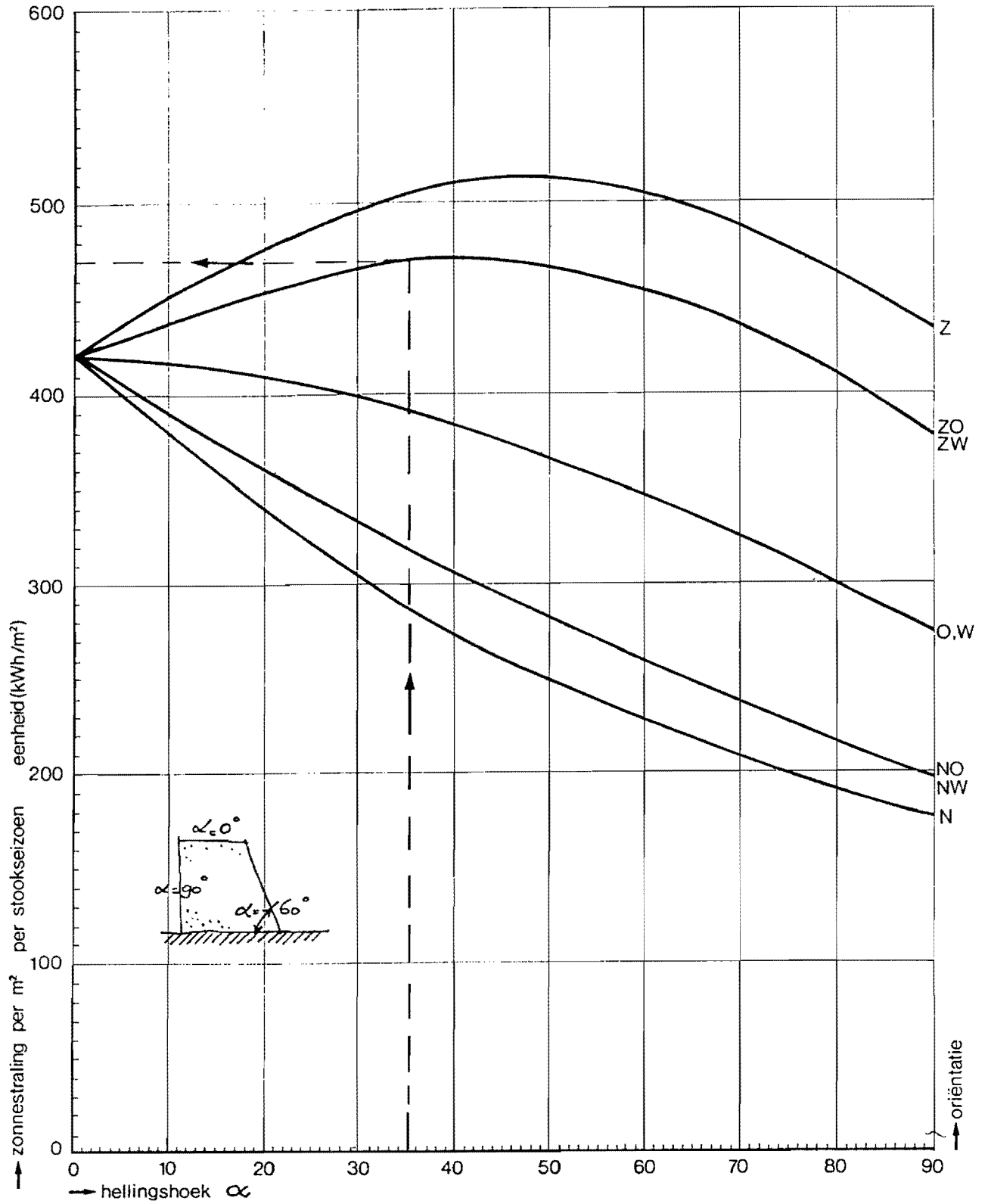
De in bovenstaande *tabel 1.3* gemiddelde diffuse en directe bestralingssterkten ( $\phi_{z,diff}$  en  $\phi_{z,dir}$  in  $\text{kWh/m}^2$ ) per stookseizoen, die op een algemeen aanvaarde berekeningsmethode zijn gebaseerd, dienen verder als uitgangspunt voor de energieverliesberekening.

In *figuur 1.15* worden verder nog globale bestralingssterkten per stookseizoen afhankelijk van de oriëntatie gegeven.

De gegevens uit de grafiek en tabel gelden voor De Bilt, met de daar aanwezige zuiverheid van de atmosfeer. Als maat voor de zuiverheid van de atmosfeer wordt de Trübungsfaktor T gebruikt.

De waarde van T varieert van 2 tot 6.





Figuur 1.15

Als algemene richtwaarden kunnen worden aangehouden:

- . T = 2,7 in berggebieden
- . T = 3,5 in niet stedelijke gebieden
- . T = 4,3 in grote steden
- . T = 6,0 in gebieden met zware industrie.

Voor De Bilt is de Trübungsfaktor T ongeveer 3,5.

Bij toename van T neemt de directe straling af en neemt de diffuse straling toe. Om een indruk te krijgen welke invloed de T heeft op de directe en diffuse bestralingssterkten wordt verwezen naar (9).

### . Energiewinst

De maximale energiewinst door zoninstraling is per glasvlak  $A_{gl}$  te bepalen met:

$$Q_{z,max} = ZTA (\phi_{z,diff} \cdot p \cdot A_{gl} + \phi_{z,diff+dir} \cdot (1-p) \cdot A_{gl}) \quad (1.23)$$

p = percentage van het glasvlak, dat beschaduwd is.

1-p = percentage van het glasvlak, dat onbeschaduwd is.

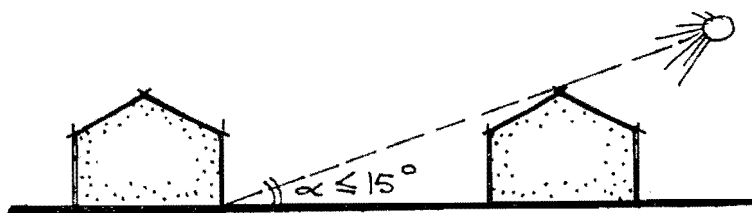
Omdat het beschaduwingspercentage bij een energieverliesberekening op stookseizoenbasis moeilijk te bepalen is, wordt uitgegaan van volledige onbeschaduwde vlakken (p=0) of van volledig beschaduwde vlakken (p = 1).

Per glasvlak wordt *formule 1.23* :

$$Q_{z,max} = A_{gl} \cdot ZTA \cdot \phi_{z,diff+dir} \quad \delta f \quad (1.24)$$

$$Q_{z,max} = A_{gl} \cdot ZTA \cdot \phi_{z,diff} \quad [\text{kWh/stookseizoen}]$$

Aan onbeschaduwde vlakken wordt globaal voldaan als de tegenoverliggende bebouwing binnen een belemmeringshoek van  $15^\circ$  ligt, zie *figuur 1.16*.



Figuur 1.16

Bij een meer gedetailleerde berekeningswijze op maandbasis kan de beschaduwing globaal in rekening worden gebracht, zie 1.1.6.

### . Effectieve energiewinst

Welk deel van de door alle glasvlakken maximaal invallende zonnestraling effectief gebruikt kan worden, hangt van vele factoren af, zoals onder andere bouwmethode (gietbouw c.q. skeletbouw) en de thermische kwaliteit van het gebouw.

Bepaalde gedeelten van het stookseizoen kan de warmte niet maximaal worden benut. De toegepaste methode om de effectieve energiewinst door zoninstraling te bepalen ( $Q_{z,eff}$  - formule 1.1) geschiedt met behulp van grafieken, zie figuur 1.17 en 1.18. De effectieve energiewinst als fractie van de totale energievraag ( $Q_{vraag} = Q_t + Q_v - Q_{i,eff}$ ) kan met behulp van bedoelde grafieken worden bepaald indien de volgende gegevens bekend zijn:

.  $\frac{Q_{z,max}}{Q_{vraag}}$  = maximale zonbijdrage (fractie =  $f_m$ )

. s.w. = het specifiek warmteverlies van de gehele woning, dit is in formulevorm:

$$\frac{\Sigma kA + nV\rho c}{V} \quad [W/m^3K] \quad (1.25)$$

. bouwwijze = houtskeletbouw of gietbouw

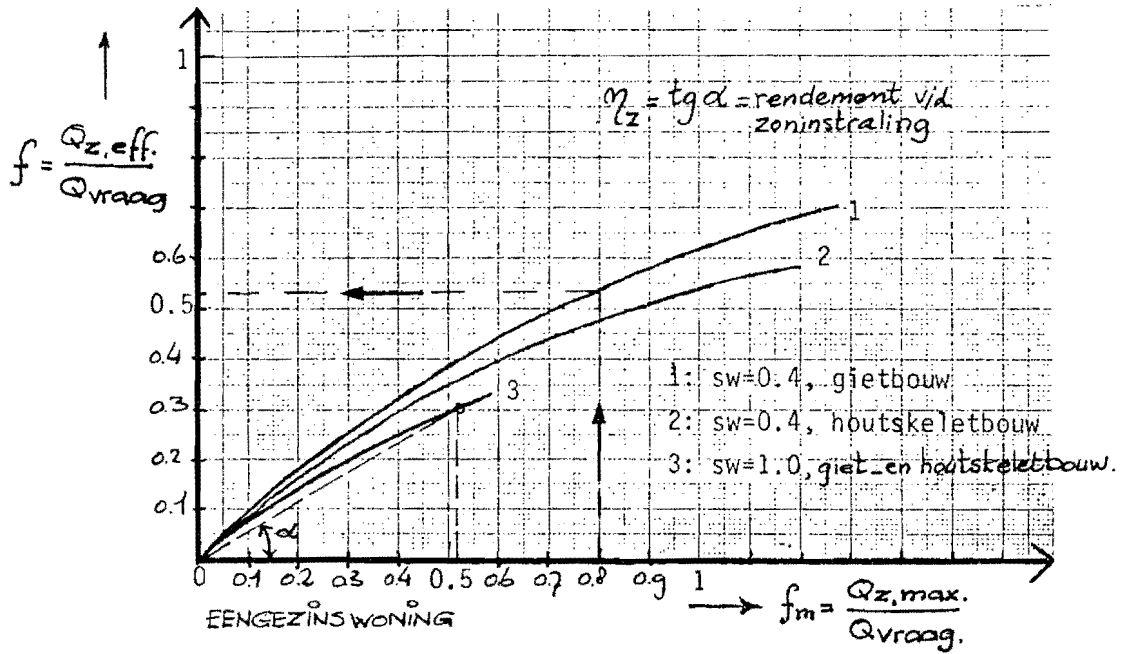
Wanneer de effectieve zonbijdrage  $\frac{Q_{z,eff}}{Q_{vraag}}$  gelijk aan  $f$  is, wordt  $Q_{z,eff} = f \cdot Q_{vraag}$ .

Formule (1.1) gaat nu over in

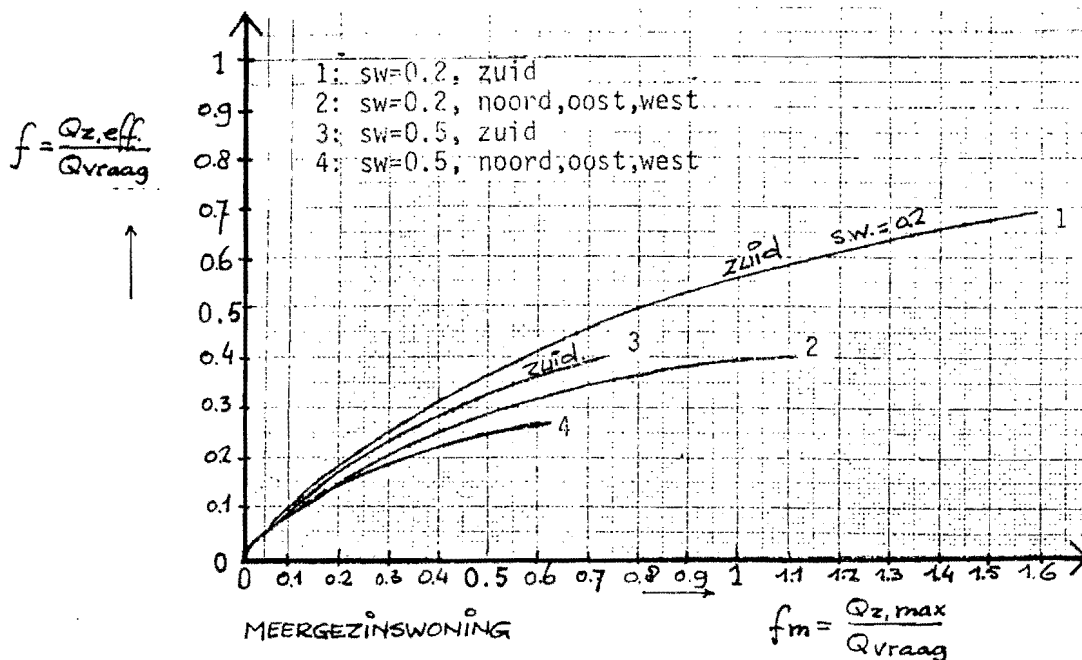
$$Q = Q_{vraag} - f \cdot Q_{vraag} = (1-f)Q_{vraag} \quad (= \text{hulpstook}) \quad (1.26)$$

Bij de berekeningsmethode is aangenomen dat de thermostaat in de woonkamer hangt. De thermostaat zorgt ervoor dat bij een te lage binnentemperatuur van de woonkamer de centrale verwarming in werking wordt gesteld.

Zo kan het voorkomen, dat bij zoninstraling de centrale verwarming werkt om de binnentemperatuur van de woonkamer op peil te houden en tegelijk de verwarmingselementen op de slaapverdieping werken, terwijl de zoninstraling op deze slaapverdieping al voldoende zou zijn voor de hier gewenste lage temperatuur (16 - 18 °C). De binnentemperatuur gaat omhoog waardoor hoofdzakelijk iets minder energieverlies ontstaat door verminderd transmissieverlies van woonverdieping



Figuur 1.17 Ontleend aan (1)



Figuur 1.18 Ontleend aan (1)

naar slaapkamer.

Verder geeft het woongedrag ten aanzien van het gebruik van gordijnen en openen van ramen op de slaapverdieping te weinig houvast voor een berekening van de werkelijke zonbijdrage in die vertrekken. Daarom wordt bij de bepaling van de energiewinst door zoninstraling bij ééngezinswoningen alleen rekening gehouden met de woonverdieping.

Het relatief kleine energieverlies naar de slaapverdieping wordt bij deze berekeningsmethodiek niet meegerekend.

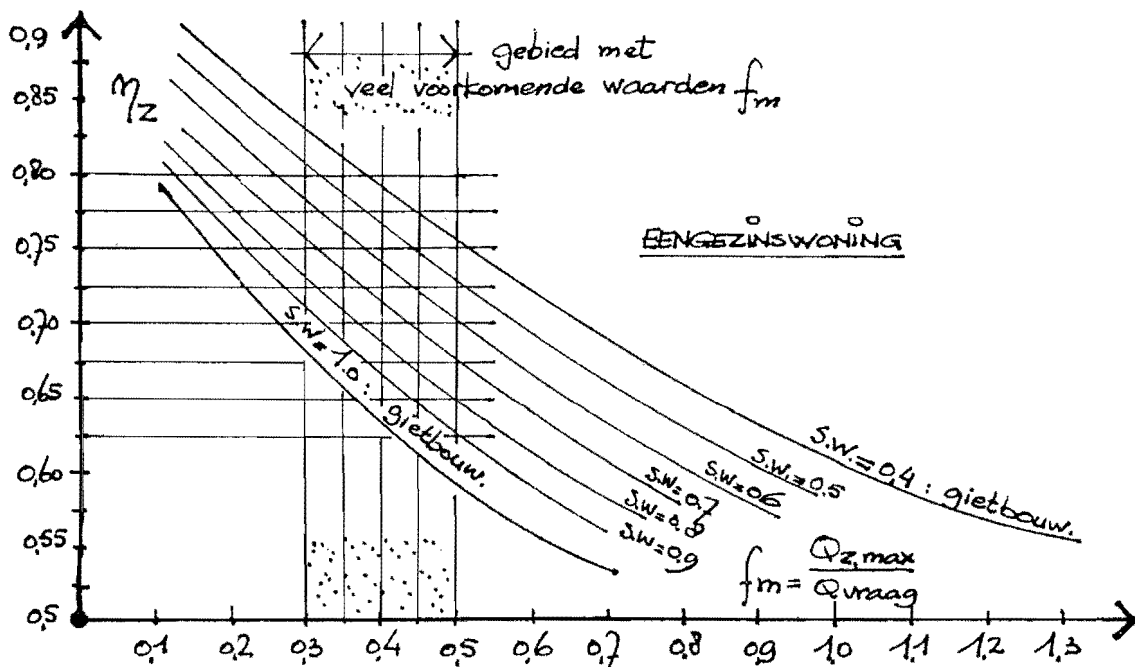
Bij meergezinswoningen dient de invloed van zoninstraling bij de slaapvertrekken wel in de berekening te worden opgenomen.

N.B. In *figuur 1.17* is  $\eta_z = \frac{Q_{z,eff}}{Q_{z,max}}$  het rendement van de maximale energiewinst door zoninstraling.

De effectieve zonbijdrage wordt dan:

$$Q_{z,eff} = \eta_z \cdot A_{gl} \cdot ZTA \cdot \phi_{z,diff+dir} \quad [\text{kWh/stookseizoen}] \quad (1.27)$$

In *figuur 1.19* kan  $\eta_z$  als functie van de maximale zonbijdrage bij verschillende waarden voor het specifieke warmteverlies (s.w.) worden bepaald.



Figuur 1.19

### . Omrekening van kWh naar m<sup>3</sup> aardgas

Nu de energiebehoefte in kWh bekend is, kan de hoeveelheid m<sup>3</sup> gas die benodigd is voor ruimteverwarming worden berekend.

Een m<sup>3</sup> aardgas levert ongeveer  $35 \times 10^6$  J aan warmte.

Dit is gelijk aan  $\frac{35 \times 10^6}{3600 \times 10^3} = 9,7$  kWh/m<sup>3</sup> gas.

Bij een bedrijfsrendement van de verwarmingsinstallatie van  $\eta_v$  wordt de omrekeningsfactor :

$$9,7 \cdot \eta_v \text{ kWh/m}^3 \text{ gas} \quad (1.28)$$

Een bedrijfsrendement van 70 tot 75% geeft dan een omrekeningsfactor van ongeveer 7 kWh/m<sup>3</sup> gas en bij 90 tot 95% wordt de omrekeningsfactor globaal 9 kWh/m<sup>3</sup> gas.

Is de energiebehoefte bijvoorbeeld 17.500 kWh dan zal bij een rendement van ongeveer 70% de hoeveelheid gas voor ruimteverwarming  $\frac{17.500}{7} = 2500$  m<sup>3</sup> zijn.

#### 1.1.5. Voorbeelden energieverliesberekening

Om de energieverliesberekening systematisch te kunnen uitvoeren, zijn in dit dictaat twee tabellen opgenomen (*tabel 1.4 en 1.5*). Het energieverlies door transmissie is in *tabel 1.4* volgens *formule 1.9* voor de woon- en slaapverdieping gescheiden bepaald (zie de omkaderde vakjes 9 en 11).

Het energieverlies door ventilatie is in de vakjes 10 en 12 met behulp van *formule 1.11* bepaald.

Met behulp van de omkaderde vakjes 1, 2, 3 en 4 in de kolommen 2 en 3 kan het "specifiek buitenoppervlak"  $A_0/V$  van de woning worden bepaald. De grootheden  $A_0/V$  en  $\bar{k}$  volgens deze tabel bepaald, zijn van belang bij berekeningen volgens de norm "Thermische isolatie van gebouwen" NEN 1068 (10) welke in *paragraaf 2.1* behandeld zullen worden.

Het onderste omkaderde vakje van kolom 5 is bestemd voor het specifiek warmteverlies van de gehele woning. Door de omkaderde vakjes in kolom 5 op te tellen en door het totale gebouwvolume te delen, wordt het specifiek warmteverlies verkregen. In *tabel 1.5* wordt de maximale energiewinst door zoninstraling volgens *formule 1.24* voor de woonverdieping bepaald. In tegenstelling tot de raamoppervlakken (glas inclusief omranding) in *tabel 1.4* worden hier de werkelijke glasoppervlakken ingevuld, welke afhankelijk van de raamgrootte ongeveer 80 tot 90% van het raamoppervlak zijn. Waarden van  $\phi_z$  kunnen in *tabel 1.3* worden gevonden.

Volgens *paragraaf 1.1.3* is de effectieve warmtewinst door interne warmtebronnen voor de woon- en slaapverdieping globaal 2300 en 600 kWh/stookseizoen. Met behulp van *figuur 1.17* kan de effectieve zonbijdrage  $f$  worden bepaald.

Bij meergezinswoningen is alleen het bovenste blok "woonverdieping - zoninstraling" uit *tabel 1.5* van belang. De zoninstraling van alle ruimten dient hier in rekening te worden gebracht.

$Q_{t+v}$  wordt nu bepaald door sommatie van het energieverlies door transmissie en ventilatie van alle ruimten: vakjes 9 + 10 + 11 + 12 (*tabel 1.4*). De effectieve energiewinst van de meergezinswoning (4 personen per eenheid) wordt in dit blok nu globaal 2900 kWh/stookseizoen. De effectieve zonbijdrage wordt met behulp van *figuur 1.18* afhankelijk van de geveloriëntatie van de woonkamer bepaald.

#### Voorbeeld energieverliesberekening eengezinswoning

Gegevens: In *figuur 1.20* is een eengezinswoning uitgevoerd in gietbouw, gegeven, waarvan de tuinkamer op het westen is georiënteerd. In de *tabellen 1.6 tot en met 1.9* wordt het energieverbruik in deze woning berekend bij een isolatieniveau volgens de "huidige" eisen (1982) en eenmaal met extra isolatie, overal dubbel glas en een betere kierdichting. De in de *tabellen 1.6 en 1.8* genoemde k-waarden zijn berekend voor de volgende constructies:

#### Standaard woning:

dakelement met 40 mm polystyreenschuim  $k = 0,73$  (zie (10) - tabel 10).

vloer met 30 mm polystyreen schuim  $k = 0,78$  (zie (10) - tabel 16).

scheidingswand hal/woonkamer en houten binnendeur  $k = 2,8$  (zie (10) - voetnoot tabel 17).

buitenwand: gemetselde 100 mm dikke binnenwand, 40 mm minerale wol, spouw en houten bekleding via berekening  $k = 0,63$  SI.

glas: boven enkel glas  $k = 5,7$  SI

          beneden dubbel glas in houten kozijn  $k = 3,3$  SI

          (zie (10) - tabel 17).

ventilatievoud  $n = 1$ .

|             |  |                 |    |    |    |          |             |             |
|-------------|--|-----------------|----|----|----|----------|-------------|-------------|
|             |  |                 |    |    |    |          |             |             |
|             |  | 1.              | 2. | 3. | 4. | 5.       | 6.          | 7.          |
|             |  | WOONVERDIEPING  | A  | k  | a  | a.k.A    | GR.         | a.k.AGR     |
| TRANSMISSIE |  |                 |    |    |    |          |             |             |
|             |  |                 |    |    |    |          |             |             |
|             |  |                 |    |    |    |          |             |             |
|             |  |                 |    |    |    |          |             |             |
|             |  |                 |    |    |    |          |             |             |
|             |  | 1.              |    |    | 5. |          | $Q_r = 9.$  |             |
|             |  | WOONVERDIEPING  | n. | V  | a  | a.nV.pc. | GR.         | a.nV.pcGR   |
| VENT.       |  |                 |    |    |    |          |             |             |
|             |  |                 |    |    |    |          |             |             |
|             |  |                 | 3. |    | 6. |          | $Q_v = 10.$ |             |
|             |  | SLAAPVERDIEPING | A  | k  | a. | a.k.A.   | GR.         | a.k.AGR     |
| TRANSMISSIE |  |                 |    |    |    |          |             |             |
|             |  |                 |    |    |    |          |             |             |
|             |  |                 |    |    |    |          |             |             |
|             |  |                 |    |    |    |          |             |             |
|             |  |                 |    |    |    |          |             |             |
|             |  | 2.              |    |    | 7. |          | $Q_r = 11.$ |             |
|             |  | SLAAPVERDIEPING | n. | V. | a. | a.nV.pc  | GR.         | a.nV.pcGR   |
| VENT.       |  |                 |    |    |    |          |             |             |
|             |  |                 |    |    |    |          |             |             |
|             |  |                 |    | 4. |    | 8.       |             | $Q_v = 12.$ |

$\tau_1 = \frac{5+7}{A_0}$

$(1+2.) \Rightarrow A_0 = \boxed{\phantom{00}} \quad \boxed{\phantom{00}} = V$   
 $\frac{A_0}{V} = \boxed{\phantom{00}}$

$(3+4)$   
 $s.w. = \boxed{\phantom{00}} \quad \frac{\sum kA + nV.pc}{V}$

$(5+6+7+8)$   
 $\frac{\sum kA + nV.pc}{V}$

Tabel 1.4.



|                                | 8.                                      | 9.         | 10.                | 11.                                    | 12.                 | 13.                 |
|--------------------------------|-----------------------------------------|------------|--------------------|----------------------------------------|---------------------|---------------------|
|                                | OMSCHRIJVING                            | ORIENTATIE | A <sub>netto</sub> | Z.T.A                                  | $\phi_z$            | A.Z.T.A. $\phi_z$   |
| WOONVERDIEPING - ZONINSTRALING |                                         |            |                    |                                        |                     |                     |
|                                |                                         |            |                    |                                        |                     |                     |
|                                |                                         |            |                    |                                        |                     |                     |
|                                |                                         |            |                    |                                        |                     |                     |
|                                |                                         |            |                    |                                        |                     |                     |
|                                |                                         |            |                    |                                        |                     |                     |
|                                | $Q_{T+V} = 9. + 10 =$                   |            |                    |                                        | $Q_{z,max.} = \leq$ |                     |
|                                | $Q_L$ WOONVERDIEPING                    |            |                    |                                        |                     |                     |
|                                | $\ominus$                               |            |                    |                                        |                     | ↓                   |
|                                | $Q_{vraag-woonverd.} =$                 |            | 13. →              | $f_m = \frac{Q_{z,max.}}{Q_{vraag}} =$ |                     |                     |
|                                | SITUERING WONING                        |            |                    |                                        |                     | grafiek + s.w.<br>↓ |
|                                |                                         |            |                    |                                        |                     | ↓                   |
|                                | $\eta = \frac{Q_{z,eff}}{Q_{z,max.}} =$ |            |                    |                                        | $Q_{z,eff} =$       | 14.                 |

|            |                        |     |
|------------|------------------------|-----|
| SLAAPVERD. | $Q_{T+V} = 11 + 12$    |     |
|            | $Q_L$ SLAAPVERDIEPING  |     |
|            | $\ominus$              |     |
|            | $Q_{vraag-slaapverd.}$ | 15. |

|                      |   |
|----------------------|---|
| $Q = 13 + 15 - 14 =$ |   |
| TOTAAL               | ↓ |
| GASVERBRUIK =        |   |

|             |  |
|-------------|--|
| OPMERKINGEN |  |
|-------------|--|

Tabel 1.5.

Extra geïsoleerde woning:

dakelement met 50 mm polyurethaanschuim  $k = 0,48$  (zie (10) - tabel 10).

vloer met 50 mm polyurethaanschuim  $k = 0,54$  (zie (10) - tabel 14).

buitenwand in plaats van 40 mm minerale wol 70 mm polyurethaanschuim, via berekening  $k = 0,31$  SI.

overall dubbel glas  $k = 3,3$  SI

extra aandacht tochtwering  $n = 0,8$

Graaduren

De volgende binnentemperaturen zijn aangehouden voor de bepaling van het aantabel graaduren (*tabel 1.1*):

|                 |                   |             |
|-----------------|-------------------|-------------|
| woonverdieping  | : 0 - 8 h = 16 °C | } GR = 74,5 |
|                 | 8 - 24h = 20 °C   |             |
| slaapverdieping | : 0 - 24h = 16 °C | GR = 59,6   |

Berekening:

De weegfactoren van de buitenwand van de hal in *tabel 1.6 en 1.8* zijn in *tabel 1.7 en 1.9* onder het blok opmerkingen met behulp van *formule 1.19* bepaald. Het transmissieverlies via de vloer van de hal wordt bij deze berekening vanwege het kleine temperatuurverschil hal - kruipruimte, verwaarloosd.

Uit de berekening voor de woning met standaardisolatie volgt  $a^* = 0,76$  en  $a_{v1} = 0,56$  (*tabel 1.7*).

Het oppervlak van de begane grondvloer is in *tabel 1.6 en 1.8* voor de eenvoud volledig in rekening gebracht. Eigenlijk zou dit vloeroppervlak gesplitst moeten worden in een oppervlak onder de woonkamer van  $44,64 \text{ m}^2$  en een oppervlak onder de hal van  $5,76 \text{ m}^2$  ( $= 2,4 \times 2,4$ ).

Voor de begane grondvloer van de hal kan dan een weegfactor  $a_{v1}^*$  worden berekend:

volgens *paragraaf 1.12*:

$$a_{v1} = \frac{\bar{T}_i - \bar{T}_{kr}}{\bar{T}_i - \bar{T}_a} \quad \text{en} \quad a^* = \frac{\bar{T}^* - \bar{T}_a}{\bar{T}_i - \bar{T}_a} \quad \text{en} \quad a = 1 - a^* = \frac{\bar{T}_i - \bar{T}^*}{\bar{T}_i - \bar{T}_a}$$

$$a_{v1}^* = \frac{\bar{T}^* - \bar{T}_{kr}}{\bar{T}_i - \bar{T}_a} \quad \text{is te schrijven als:}$$

$$a_{v1}^* = \left( \frac{\bar{T}_i - \bar{T}_{kr}}{\bar{T}_i - \bar{T}_a} \right) - \left( \frac{\bar{T}_i - \bar{T}^*}{\bar{T}_i - \bar{T}_a} \right) = a_{v1} - a = a_{v1} + a^* - 1$$

Voor *tabel 1.6* zou dit worden:

$$a_{v1}^* = 0,56 + 0,76 - 1 = 0,32$$

Het transmissieverlies door de vloer wordt dan ( $\Sigma A.k.a$ ):

$(44,64 * 0,78 * 0,56) + (5,76 * 0,78 * 0,32) = 20,94$  W/K in plaats van de 22,01 W/K in kolom 5, *tabel 1.6*.

Het totale gasverbruik van 2347 m<sup>3</sup> is dientengevolge + 11 m<sup>3</sup> te veel.

Uit *tabel 1.7 en 1.9* blijkt dat de effectieve zombijdrage tussen de 20 en 30 % bedraagt van de "energievraag" voor de woonverdieping; dit is globaal 10 tot 15% van de totale "energiebehoefte". Het beter isoleren en kierdicht maken van de woning blijkt zeer effectief. Het gasverbruik daalt van 2347 m<sup>3</sup> (100%) naar 1642 m<sup>3</sup> (70%) per jaar. In het blok opmerkingen wordt tevens de nieuwe grootte  $I_t$  uit de norm NEN 1068 bepaald. Deze grootte wordt in *paragraaf 2.1* behandeld.

#### Gasverbruik bij andere energiebesparende maatregelen.

In het onderstaande zal het energieverbruik, bij toepassing van enkele energiebesparende maatregelen worden bepaald.

Voor de berekeningen en de hieruit voortvloeiende conclusies, wordt steeds uitgegaan van de midden-ééngezinswoning uit *figuur 1.20*, geïsoleerd volgens *tabel 1.6*. Bij het doorrekenen van deze standaardwoning bij toepassing van verschillende besparingsmaatregelen, werden de volgende gasverbruiken gevonden:

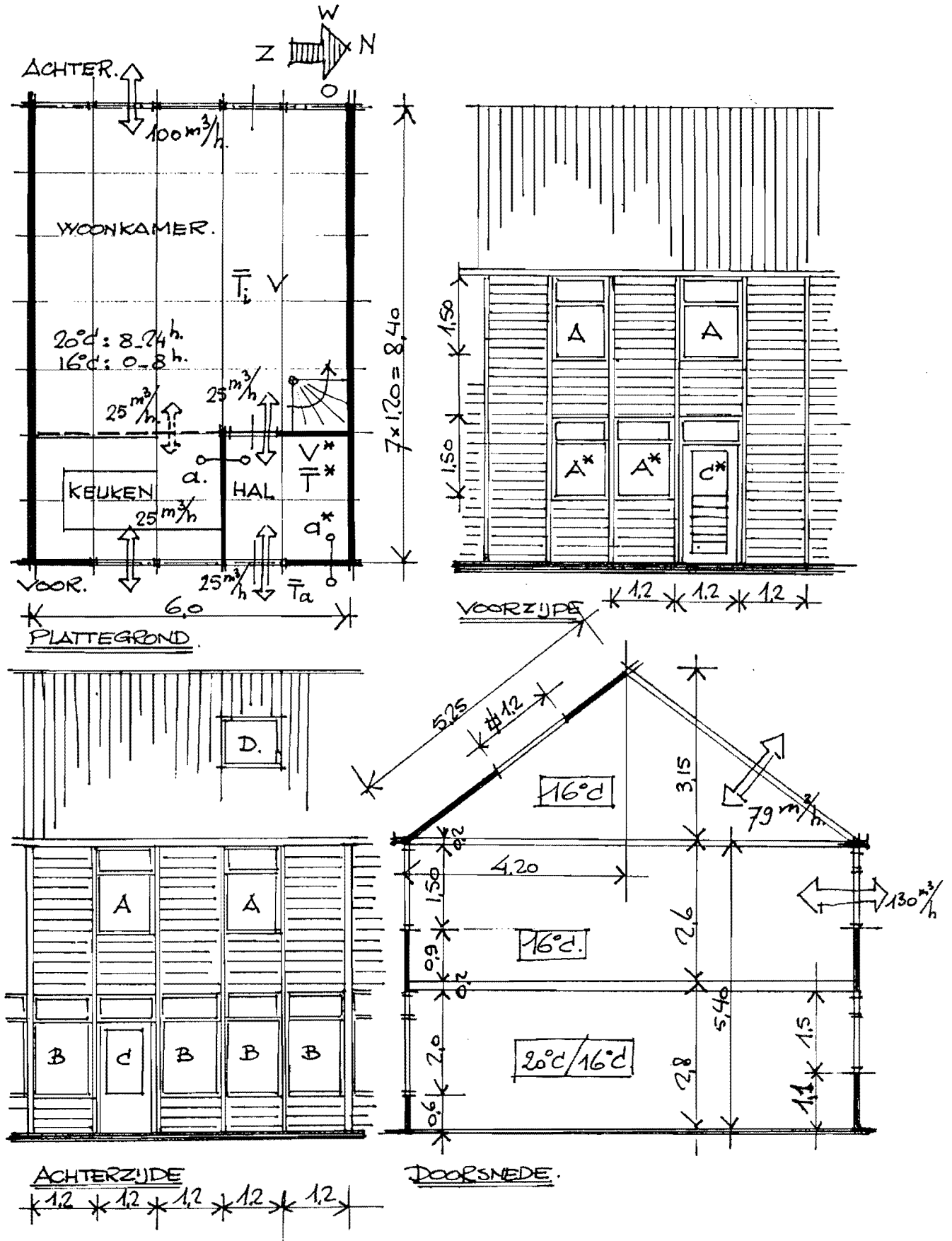
##### a. verandering oriëntatie

-gasverbruik: standaard woning O-W : 2347 m<sup>3</sup> (100%)  
standaard woning N-Z : 2289 m<sup>3</sup> (97,5%)

-door oriëntatieverandering kan ongeveer 3% worden bespaard.

##### b. verandering glasoppervlak op het zuiden (ter plaatse van de woonverdieping)

| Netto glasopp. zuid woonverdieping  | gordijnen open<br>$k = 3,3$ en $k = 5,7$ |          | gordijnen gesloten<br>$k = 2,7$ en $k = 4,2$ |          |
|-------------------------------------|------------------------------------------|----------|----------------------------------------------|----------|
| dubbelglas boven enkel glas beneden | gasverbruik in m <sup>3</sup>            | $\eta_z$ | gasverbruik in m <sup>3</sup>                | $\eta_z$ |
| 5,60 m <sup>2</sup>                 | 2246                                     | 0,70     | 2079                                         | 0,67     |
| 9,40 m <sup>2</sup>                 | 2289 (100%)                              | 0,65     | 2076 (91%)                                   | 0,66     |
| 12,30 m <sup>2</sup>                | 2312                                     | 0,62     | 2076                                         | 0,63     |



Figuur 1.20

- vergroting van het glasoppervlak op het zuiden is alleen zinvol, wanneer 's nachts de glasoppervlakken worden geïsoleerd (minimaal gordijnen dicht!) en de zon in het stookseizoen onbelemmerd naar binnen kan schijnen.
- bij een groter glasoppervlak wordt het rendement van de zoninstraling kleiner.

c. Verandering open keuken in dichte keuken (O-W oriëntatie)

(voor de ventilatiestromen zie *figuur 1.20*).

|                                                                                                                                                                    |                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| gasverbruik : open keuken                                                                                                                                          | : 2336 m <sup>3</sup> (100%) |
| dichte onverwarmde keuken                                                                                                                                          | : 2146 m <sup>3</sup> (93%)  |
| (als $\bar{T}_i = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , $\bar{T}_a = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dan is $\bar{T}_{\text{keuken}} \approx 13,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) |                              |
| dichte verwarmde keuken (16 $^{\circ}\text{C}$ )                                                                                                                   | : 2262 m <sup>3</sup> (97%)  |

De dichte keuken levert een duidelijke energiebesparing ten opzichte van de open keuken, doordat een lagere instelling van de temperatuur mogelijk is.

Eindconclusie van de bovenstaande berekeningen:

- goed isoleren (dus ook gordijnen dicht) en
- goede kierdichte detailleringen leveren de grootst mogelijke energiebesparing.

| STANDAARD ISOLATIE - ORIENTATIE O.L.W. - GIETBOUW |                                          |                          |                    |         |          |        |                                  |                                |        |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|--------------------|---------|----------|--------|----------------------------------|--------------------------------|--------|
|                                                   |                                          | 1.                       | 2.                 | 3.      | 4.       | 5.     | 6.                               | 7.                             |        |
| WOONVERDIEPING                                    |                                          | A                        | k                  | a       | a.k.A    | GR.    | a.k.AGR                          |                                |        |
| TRANSMISSIE                                       | Achterzijde                              | 4 kolommen B: (1,2x2,0)  | 9,60               | 3,3     | 1        | 31,60  | 74,5                             | 2360,2                         |        |
|                                                   |                                          | 1 kolom C: (1,2x2,6)     | 3,12               | 3,3     | 1        | 10,30  |                                  | 767,4                          |        |
|                                                   |                                          | Wandopp.: 6x2,0 - 12,72  | 4,08               | 0,63    | 1        | 2,57   |                                  | 191,5                          |        |
|                                                   | Keuk.                                    | 2 kolommen A*: (1,2x1,5) | 3,60               | 3,3     | 1        | 11,88  |                                  | 885,1                          |        |
|                                                   |                                          | Wandopp. 3,6x2,0 - 3,6   | 6,48               | 0,63    | 1        | 4,08   |                                  | 304,0                          |        |
|                                                   | Hal.                                     | 1 kolom C*: (1,2x2,6)    | 3,12               | 3,3     | 0,76*)   | 7,82   |                                  | 502,6                          |        |
|                                                   |                                          | Wandopp. 2,4x2,0 - 3,12  | 3,60               | 0,63    | 0,76     | 1,72   |                                  | 120,1                          |        |
| Vloeropp. 629,9 grond.                            |                                          | 50,40                    | 0,78               | 0,56**) | 22,01    |        | 1639,7                           |                                |        |
|                                                   |                                          | 1.                       | 84,00              |         |          | 5.     | 92,06                            | Q <sub>T=9.</sub>              | 6858,6 |
| WOONVERDIEPING                                    |                                          | n.                       | V                  | a       | a.nV.pc. | GR.    | a.nV.pcGR                        |                                |        |
| VENT.                                             | Woonkamer/keuken (125 m <sup>3</sup> /h) | 1                        | 125 m <sup>3</sup> | 1       | 41,67    | 74,5   | 3104,4                           |                                |        |
|                                                   | Hal. (25 m <sup>3</sup> /h)              | 1,5                      | 16 m <sup>3</sup>  | 0,76    | 6,33     | 74,5   | 471,6                            |                                |        |
|                                                   |                                          | 3.                       | 141                |         |          | 6.     | 48,00                            | Q <sub>V=10.</sub>             | 3576,0 |
| SLAAPVERDIEPING                                   |                                          | A                        | k                  | a       | a.k.A    | GR.    | a.k.AGR                          |                                |        |
| TRANSMISSIE                                       | 4 kolommen A: (1,2x1,5)                  | 7,2                      | 5,7                | 1       | 41,04    | 59,6   | 2446,0                           |                                |        |
|                                                   | Wandopp.: 2x6x2,6 - 7,2                  | 24,0                     | 0,63               | 1       | 15,12    |        | 901,2                            |                                |        |
|                                                   | dak licht: 1,2x1,2                       | 1,44                     | 5,7                | 1       | 8,21     |        | 489,3                            |                                |        |
|                                                   | Dakopp. 2x5,25x6 - 144                   | 61,56                    | 0,73               | 1       | 44,94    |        | 2678,4                           |                                |        |
|                                                   |                                          | 2.                       | 94,20              |         |          | 7.     | 109,31                           | Q <sub>T=11.</sub>             | 6514,9 |
| SLAAPVERDIEPING                                   |                                          | n.                       | V.                 | a.      | a.nV.pc  | GR.    | a.nV.pcGR                        |                                |        |
| VENT.                                             | Slaapverd. 2,6x0,4x6 =                   | 1                        | 131                | 1       | 43,67    | 59,6   | 2602,7                           |                                |        |
|                                                   | Zolder: 0,4x6x $\frac{3,15}{2}$          | 1                        | 79                 | 1       | 26,33    | 59,6   | 1569,3                           |                                |        |
|                                                   |                                          | 4.                       | 210                |         |          | 8.     | 70,00                            | Q <sub>V=12.</sub>             | 4172,0 |
|                                                   |                                          | (1+2.) A <sub>0</sub> =  |                    | 170,2   | 351      | =V     | 319,37 (5+6+7+8) $\sum kA+nV.pc$ |                                |        |
|                                                   |                                          |                          |                    | (3+4)   |          |        |                                  |                                |        |
| K =                                               |                                          | 1,13                     |                    |         |          | S.W. = |                                  | 0,91 $\frac{\sum kA+nV.pc}{V}$ |        |
|                                                   |                                          | $\frac{5+7}{A_0}$        |                    |         |          |        |                                  |                                |        |
|                                                   |                                          | A <sub>0</sub>           |                    | 0,500   |          |        |                                  |                                |        |

Tabel 1.6

| STANDAARD ISOLATIE - ORIENTATIE O-W - GIETBOLUW |                                  |            |                    |       |                                                    |                         |
|-------------------------------------------------|----------------------------------|------------|--------------------|-------|----------------------------------------------------|-------------------------|
|                                                 | 8.                               | 9.         | 10.                | 11.   | 12.                                                | 13.                     |
|                                                 | OMSCHRIJVING                     | ORIENTATIE | A <sub>netto</sub> | Z.T.A | Φ <sub>Z</sub>                                     | A.Z.T.A. Φ <sub>Z</sub> |
| WOONVERDIEPING - ZONINSTRALING                  | 4B: 0,8 × 9,60 m <sup>2</sup> =  | WEST       | 7,7                | 0,7   | 275,5                                              | 1484,9                  |
|                                                 | 10: ± 1 × 1,7 :                  | WEST       | 1,7                | 0,7   | 275,5                                              | 327,8                   |
|                                                 | 2A*: 0,8 × 3,60 m <sup>2</sup> : | OOST       | 2,9                | 0,7   | 271,6                                              | 551,3                   |
|                                                 | 10*: ± 1 × 1,3 :                 | OOST       | 1,3                | 0,7   | 271,6                                              | 247,2                   |
|                                                 |                                  |            |                    |       |                                                    |                         |
|                                                 |                                  |            |                    |       |                                                    |                         |
|                                                 | Q <sub>T+V</sub> = 9. + 10 =     | 10434,6    |                    |       | Q <sub>Z, max.</sub> = Σ                           | 2611,2                  |
|                                                 | Q <sub>i</sub> woonverdieping    | 2300,0     |                    |       |                                                    |                         |
|                                                 | ⊖                                |            |                    |       |                                                    |                         |
|                                                 | Q <sub>vraag-woonverd.</sub> =   | + 8134,6   |                    | 13. → | f <sub>m</sub> = $\frac{Q_{Z, max.}}{Q_{vraag}}$ = | 0,321                   |
| SITUERING WONING                                |                                  |            |                    |       | grafiek + s.w. = 0,91                              |                         |
|                                                 |                                  |            |                    |       |                                                    |                         |
| η = $\frac{Q_{z, eff}}{Q_{z, max.}}$ =          | 0,685                            |            |                    |       |                                                    |                         |
|                                                 |                                  |            |                    |       | Q <sub>Z, eff</sub> = -1789,6                      |                         |
|                                                 |                                  |            |                    |       | 14.                                                |                         |

|            |                                |           |
|------------|--------------------------------|-----------|
| SLAAPVERD. | Q <sub>T+V</sub> = 11 + 12     | 10.686,9  |
|            | Q <sub>i</sub> slaapverdieping | 600,0     |
|            | ⊖                              |           |
|            | Q <sub>vraag-slaapverd.</sub>  | + 10086,9 |
|            |                                | 15.       |

|                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| Q = 13 + 15 - 14 = | 16431,9             |
| TOTAAL             |                     |
| GASVERBRUIK =      | 2347 m <sup>3</sup> |
|                    | (100%)              |

|             |                                                                                                                                                                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OPMERKINGEN | * ) a* = $\frac{2,0 \times 4,8 \times 2,0 + 25 \cdot \frac{1}{3}}{2,0 \times 4,8 \times 2,0 + 25 \cdot \frac{1}{3} + 3,12 \cdot 3,3 + 3,6 \cdot 0,63 + 25 \cdot \frac{1}{3}}$ = 0,76 → a = 0,24. |
|             | ** ) a <sub>vlser</sub> = $\frac{1}{1 + 0,70}$ = 0,56                                                                                                                                            |
|             | t.b.v. sub 2.1: I <sub>t</sub> = $\frac{0,0500(1 - 1/13) + 30}{4,0500 + 1}$ = 0,15                                                                                                               |
|             | η <sub>v</sub> = 70-75% : kWh → m <sup>3</sup> delen door 7                                                                                                                                      |

Tabel 1.7.

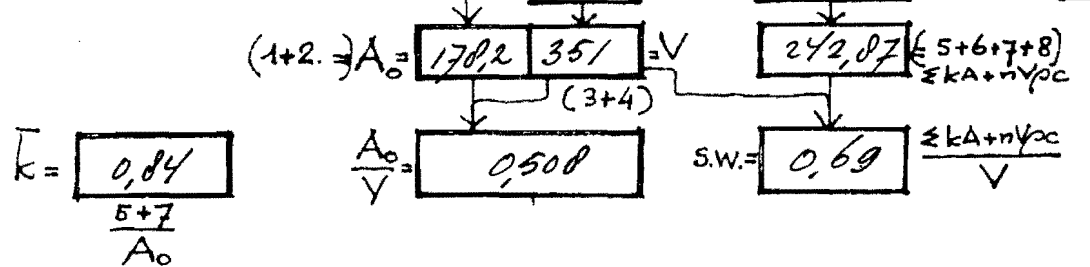
EXTRA ISOLATIE (BOVEN DUBBELGLAS) - BETERE KIERDICHTING - (O.W)

|                    |             | 1.   | 2.    | 3.     | 4.    | 5.     | 6.                 | 7.     |
|--------------------|-------------|------|-------|--------|-------|--------|--------------------|--------|
| WOONVERDIEPING     |             | A    | k     | a      | a.k.A | GR.    | a.k.AGR            |        |
| TRANSMISSIE        | 4 kringen B | 9,60 | 3,3   | 1      | 31,68 | 74,5   | 2360,2             |        |
|                    | 1 kring C   | 3,12 | 3,3   | 1      | 10,30 | 1      | 767,4              |        |
|                    | wandopp.    | 4,08 | 0,31  | 1      | 1,26  | 1      | 93,9               | ←      |
|                    | 2 A*        | 3,60 | 3,3   | 1      | 11,80 | 1      | 805,1              |        |
|                    | wandopp.    | 6,48 | 0,31  | 1      | 2,00  | 1      | 605,7              | ←      |
|                    | 1 C*        | 3,12 | 3,3   | 0,79*  | 2,13  | 1      | 605,7              |        |
|                    | wandopp.    | 3,60 | 0,31  | 0,79** | 0,80  | 1      | 65,6               | ←      |
| Uloeroopp. beg.gr. | 50,4        | 0,54 | 0,65  | 17,69  | 1     | 1317,9 | ←                  |        |
|                    |             | 1.   | 84,00 |        | 5.    | 83,83  | Q <sub>T</sub> =9. | 6244,8 |

| WOONVERDIEPING |                                         | n.  | V   | a    | a.n.V.pc. | GR.   | a.n.V.pcGR          |        |
|----------------|-----------------------------------------|-----|-----|------|-----------|-------|---------------------|--------|
| VENT.          | Woonkamer/kant. (100 m <sup>3</sup> /h) | 9,0 | 125 | 1    | 33,33     | 74,5  | 3483,1              | ←      |
|                | hal (16 m <sup>3</sup> /h)              | 1,0 | 16  | 0,79 | 4,21      | 74,5  | 313,6               | ←      |
|                |                                         | 3.  | 141 |      | 6.        | 37,54 | Q <sub>V</sub> =10. | 3870,8 |

| SLAAPVERDIEPING |             | A     | k     | a | a.k.A | GR.   | a.k.AGR             |        |
|-----------------|-------------|-------|-------|---|-------|-------|---------------------|--------|
| TRANSMISSIE     | 4 kringen A | 7,2   | 3,3   | 1 | 23,76 | 59,6  | 1416,1              | ←      |
|                 | wand opp.   | 24,0  | 0,31  | 1 | 7,44  | 1     | 443,4               | ←      |
|                 | daklicht.   | 1,44  | 3,3   | 1 | 4,75  | 1     | 283,1               | ←      |
|                 | dak opp.    | 61,56 | 0,40. | 1 | 24,55 | 1     | 1761,2              | ←      |
|                 |             | 2.    | 94,20 |   | 7.    | 65,50 | Q <sub>T</sub> =11. | 3903,8 |

| SLAAPVERDIEPING |           | n.  | V.  | a. | a.n.V.pc | GR.   | a.n.V.pcGR          |        |
|-----------------|-----------|-----|-----|----|----------|-------|---------------------|--------|
| VENT.           | Slaap-lag | 0,8 | 131 | 1  | 34,93    | 59,6  | 2081,8              | ←      |
|                 | Zolder    | 0,8 | 79  | 1  | 21,07    | 59,6  | 1255,8              | ←      |
|                 |           | 4.  | 210 |    | 8.       | 56,00 | Q <sub>V</sub> =12. | 3337,6 |



Tabel 1.8



| EXTRA ISOLATIE (BOVEN DUBBELGLAS) - BETERE KIERDICHTING - (QW) |            |                    |                                        |                         |                        |
|----------------------------------------------------------------|------------|--------------------|----------------------------------------|-------------------------|------------------------|
| 8.                                                             | 9.         | 10.                | 11.                                    | 12.                     | 13.                    |
| OMSCHRIJVING                                                   | ORIENTATIE | A <sub>netto</sub> | Z.T.A                                  | Φ <sub>Z</sub>          | A.Z.T.A.Φ <sub>Z</sub> |
| 4B:                                                            | WEST       | 7,7                | 0,7                                    | 275,5                   | 1404,9                 |
| 1C:                                                            | WEST       | 1,7                | 0,7                                    | 275,5                   | 327,0                  |
| 2A*:                                                           | OOST       | 2,9                | 0,7                                    | 271,6                   | 551,3                  |
| 1C*:                                                           | OOST       | 1,3                | 0,7                                    | 271,6                   | 247,2                  |
| ALS STANDAARD :                                                |            |                    |                                        |                         |                        |
| Q <sub>T+V</sub> = 9.+10 =                                     | 9041,5     |                    |                                        | Q <sub>Z,max.</sub> = Σ | 2611,2                 |
| Q <sub>i</sub> WOONVERDIEPING                                  | 2700,0     |                    |                                        |                         | ↓                      |
| ⊖                                                              |            |                    |                                        |                         |                        |
| Q <sub>vraag-woonverd.</sub>                                   | 6741,5     | 13. →              | $f_m = \frac{Q_{Z,max.}}{Q_{vraag}} =$ | 0,387                   |                        |
| SITUERING WONING                                               |            |                    |                                        | grafiek + s.w. = 0,69   | ↓                      |
|                                                                |            |                    | $f = \frac{Q_{Z,eff.}}{Q_{vraag}} =$   | 0,20                    | ↓                      |
| $\eta = \frac{Q_{Z,eff.}}{Q_{Z,max.}} =$                       | 0,723      |                    |                                        |                         | ↓                      |
|                                                                |            |                    |                                        | Q <sub>Z,eff.</sub> =   | -1087,62 14.           |

|            |                                |            |
|------------|--------------------------------|------------|
| SLAAPVERD. | Q <sub>T+V</sub> = 11+12       | 7241,4     |
|            | Q <sub>i</sub> SLAAPVERDIEPING | 600,0      |
|            | ⊖                              |            |
|            | Q <sub>vraag-slaapverd.</sub>  | 6641,4 15. |

|                |                              |
|----------------|------------------------------|
| Q = 13+15-14 = | 11495,28                     |
| TOTAAL         | ↓                            |
| GASVERBRUIK =  | 1642 m <sup>3</sup><br>(70%) |

|             |                                                                                                                                                          |  |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| OPMERKINGEN | *) $a^* = \frac{56,45 + 16 \cdot \frac{1}{3}}{56,45 + 16 \cdot \frac{1}{3} + 10,33 + 3,6 \cdot 0,31 + 16 \cdot \frac{1}{3}} = 0,79 \rightarrow a = 0,21$ |  |
|             | *) $a_{vl.} = \frac{1}{1 + 0,54} = 0,65$                                                                                                                 |  |
|             | t.b.u. sub 2.1                                                                                                                                           |  |
|             | $I_t = \frac{80 \cdot 0,500 (1 - 0,84) + 30}{4,9500 + 1} = 12,04$                                                                                        |  |
|             |                                                                                                                                                          |  |

Tabel 1.9

## 2. NORMEN EN RICHTLIJNEN BETREFFENDE THERMISCHE ISOLATIE EN VENTILATIE

In de ontwerpfase van een gebouw moeten vele keuzeproblemen worden opgelost. Vele aspecten, uit verschillende vakgebieden, beïnvloeden die keuze. In het begin van de ontwerpfase zullen globale ontwerpregels ter beschikking dienen te zijn, om de architect in staat te stellen, een zo compleet mogelijk schetsontwerp te maken. De ontwerpregels, zullen uit verschillende vakdisciplines naar voren dienen te komen.

In een later stadium, maar wel zo vroeg mogelijk, worden diverse specialisten ingeschakeld.

In dit hoofdstuk zullen de bouwfysische ontwerpregels, voortkomend uit de normen en richtlijnen, betreffende de thermische isolatie en de ventilatie, worden behandeld.

Deze normen en richtlijnen dienen onder andere als uitgangspunten bij:

- het bepalen van de minimale isolatievoorzieningen
- het kiezen van het ventilatiesysteem
- het bepalen van de ventilatievoorzieningen.

### 2.1. Thermische isolatie van gebouwen - NEN 1068

Uit een energieverliesberekening, *zie 1.1.*, blijkt dat het energieverlies door transmissie een belangrijk deel van het totale energieverlies bedraagt.

Om dit energieverlies te beperken, zijn eisen betreffende de thermische isolatie van gebouwen noodzakelijk.

De norm NEN 1068 (10) geeft aan op welke wijze numerieke eisen moeten worden geformuleerd (*zie (10) paragraaf 5*). Verder worden in de norm regels gegeven aan de hand waarvan karakteristieke grootheden met betrekking tot de warmtedoorgang onder stationaire omstandigheden kunnen worden bepaald, zoals  $k$ ,  $r_c$  en dergelijke (*zie (10), paragraaf 3*).

In de norm worden geen eisen gesteld; dit wordt overgelaten aan de overheid. Zo stelt de Vereniging van Nederlandse Gemeenten (V.N.G) de Model Bouw Verordening (MBV) samen.

Aanpassingen van eisen bij hetgeen op een bepaald moment technisch en economisch haalbaar is, kunnen nu via de MBV worden ingevoerd, zonder dat de norm bijgesteld hoeft te worden.

De norm is van toepassing op alle gebouwen, waarin ten behoeve van een gewenst binnenklimaat in de winter een verwarmingsinstallatie moet worden ingeschakeld.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de nieuwe grootheid in de norm, de "thermische isolatie-index van het gebouw"  $I_t$  en op de wijze, waarop de norm het extra transmissieverlies door slecht geïsoleerde plaatsen (koudebruggen) in konstrukties, in rekening brengt.

Door middel van enige voorbeelden wordt tenslotte aangegeven hoe karakteristieke grootheden met betrekking tot de warmtedoorgang met de norm kunnen worden bepaald.

### 2.1.1. Formuleren van eisen

Tot nu toe werden ten aanzien van isolatie, bepaalde eisen gesteld aan de warmte-weerstand van de konstrukties, die het buitenoppervlak van het gebouw vormen.

Nu zal worden aangegeven welke criteria geformuleerd kunnen worden om het energieverlies door transmissie van het gehele gebouw te beperken, (zie ook (11) en (12)).

Wat de consequenties zijn van de verschillende criteria en welk criterium in de norm is gekozen, komt daarna ter sprake.

#### Aan het totale gebouw te stellen isolatie-eisen

Het energieverlies door transmissie van het gehele gebouw is volgens *paragraaf 1.1.1.* gelijk aan:

$$Q_t = \bar{k} \cdot A_o \cdot GR = \bar{k} \cdot A_o \cdot (\bar{T}_i - \bar{T}_a) \cdot \tau_s \quad (2.1)$$

met  $A_o$  = totale buitenoppervlak van het gebouw

$\tau_s$  = totaal aantal "stookuren"

$$\bar{k} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot k_i \cdot A_i}{A_o} \quad (\text{zie (10), formule 6 en par. 1.1.1}) \quad (2.2)$$

$$\bar{T}_i - \bar{T}_a = \Delta\bar{T}$$

Voor bepaling weegfactoren  $a$  zie *paragraaf 1.1.2.*

Bij een vast stookseizoen ( $\tau_s = \text{constant}$ ) is het energieverlies per "stookuur":

$$Q_1 = \bar{k} \cdot A_o \cdot \Delta\bar{T} \quad (2.3)$$

met  $Q_1$  = energieverlies door transmissie van het gehele gebouw per "stookuur",

kortweg transmissieverlies.

Het transmissieverlies  $Q_1$  per  $m^3$  gebouwinhoud bij 1K temperatuurverschil tussen binnen en buiten wordt nu kort:

$$G = \frac{Q_1}{V \cdot \Delta\bar{T}} = \frac{\bar{k} \cdot A_o \cdot \Delta\bar{T}}{V \cdot \Delta\bar{T}} \text{ geeft}$$

$$G = \bar{k} \cdot \frac{A_o}{V} \quad (2.4)$$

met  $G =$  "specifiek warmteverlies":  $\frac{Q_1}{V \cdot \Delta\bar{T}}$   $[W/m^3K]$

$\bar{k} =$  gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt van het gebouw  $[W/m^2K]$

$\frac{A_o}{V} =$  factor waarin zowel de grootte als de compactheid van het gebouw zijn verdisconteerd, kortweg "specifiek buitenoppervlak" genoemd.

Door (2.4) in (2.1) te substitueren wordt het energieverlies door transmissie:

$$Q_t = G \cdot V \cdot GR \quad [kWh/stookseizoen] \quad (2.5)$$

Om het transmissieverlies te beperken, kunnen eisen worden geformuleerd ten aanzien van het totale gebouw, te weten:

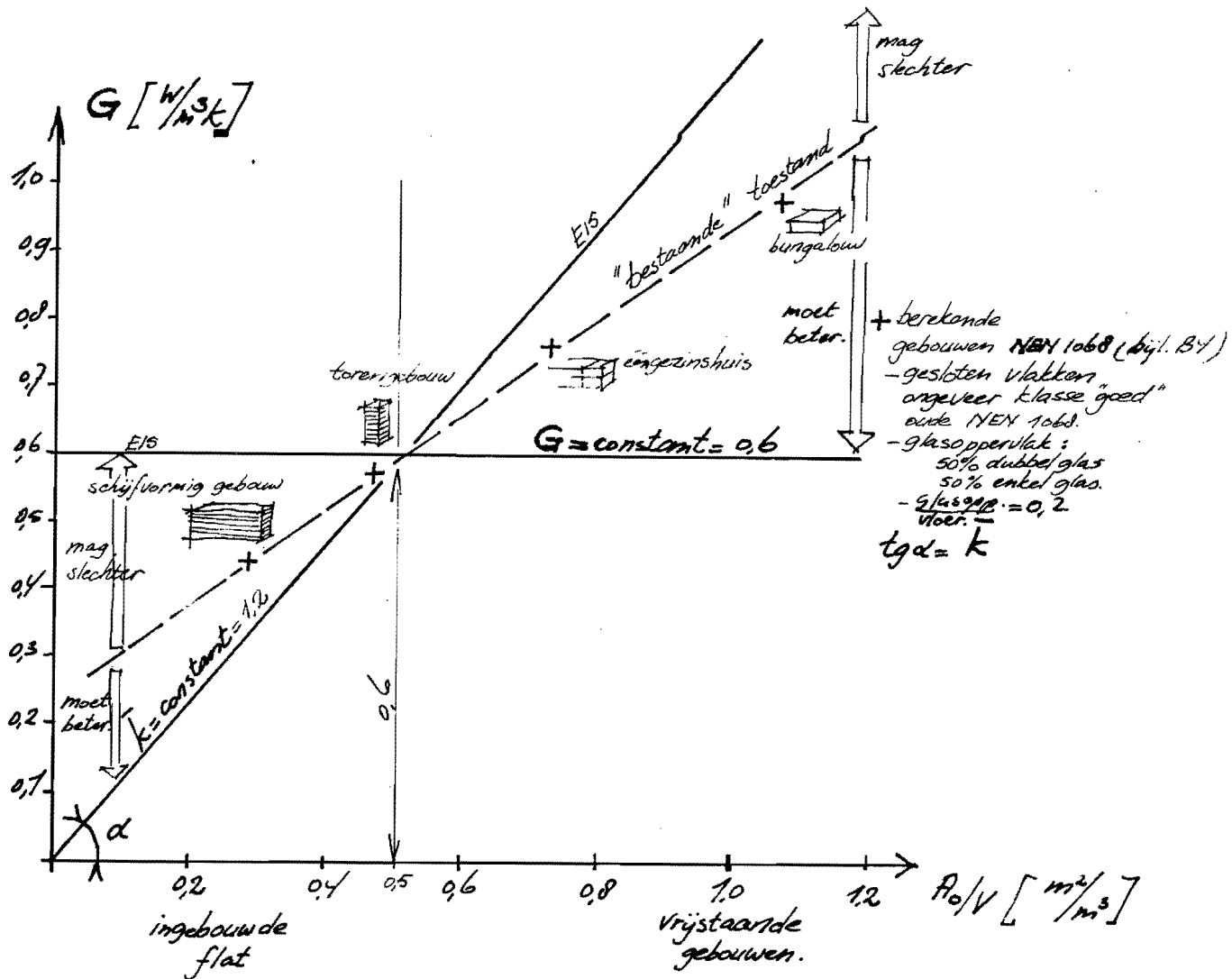
- maximale waarden van  $\bar{k}$ , dus van het transmissieverlies per  $m^2$  buitenoppervlak (formule 2.1)
- de maximale waarde van  $G$ , dus van het transmissieverlies per  $m^3$  gebouwinhoud (formule 2.5.).

Bij het stellen van eisen betreffende het totale gebouw dient wel te worden bedacht, dat de warmteweerstand van de onderdelen van het gebouw in elk geval zodanig moeten zijn, dat de behaaglijkheid van de mens is gewaarborgd en geen condensatie kan plaatsvinden.

#### Consequenties van de gestelde isolatie-eisen

Om de consequenties van voornoemde isolatie-eisen duidelijk te maken is formule 2.4. in figuur 2.1 grafisch weergegeven.

Op de verticale as staat als maat voor het transmissieverlies het specifiek warmteverlies  $G$  en op de horizontale as staat als maat van grootte en compactheid van het gebouw het specifiek buitenoppervlak.



Figuur 2.1.

Met behulp van de gegevens van de gebouwen uit *bijlage B4* van de NEN 1068 (blz. 32 en 33) wordt een indruk verkregen welke  $A_0/V$ -waarden bij verschillende gebouwtypen voorkomen:

$A_0/V = 0,2$  voor een flatgebouw c.q. compacte bouw

$A_0/V = 0,5$  voor een midden-engezinswoning

$A_0/V = 1,0$  voor een vrijstaande bungalow c.q. grillige gebouwvormen.

In *figuur 2.1* geeft een maximale waarde van  $G$  een horizontale lijn in de grafiek.

Een maximale waarde van  $\bar{k}$  geeft een lijn door de oorsprong.

De geformuleerde criteria worden nu getoetst door van de in *bijlage B4* van de norm beschouwde gebouwen het specifiek warmteverlies bij een "gelijk isolatieniveau" te berekenen.

Onder een "gelijk isolatieniveau" wordt hier overigens verstaan:

- $k$ -waarde van gelijke onderdelen van het gebouw zijn per bouwtype gelijk
- het glasoppervlak gedeeld door het bruto vloeroppervlak is per bouwtype gelijk.

Uitgegaan wordt van "isolatieniveau" c volgens *bijlage B4 (10)*, hetgeen overeenstemt met de huidige eisen in de MBV (1982) (dit was ongeveer klasse "goed" in de verouderde norm NEN 1068 (1964)):

$$\begin{aligned} \text{vloer} & : k_{v1} = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K} \\ \text{wand/dak} & : k_w = k_d = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K} \\ \text{glas} & : k_g = 4,35 \left( = \frac{5,7+3,0}{2} \text{ zijnde } 50\% \text{ dubbelglas en } 50\% \text{ enkelglas} \right) \\ & \frac{A_{g1}}{A_{\text{bruto}}} = 0,2 \text{ (controleer dit voor de verschillende gebouw-} \\ & \text{typen)} \end{aligned}$$

Het specifiek warmteverlies voor de gebouwtypen A tot en met D wordt met behulp van de *tabellen 10 tot en met 22 (10)*:

$$\begin{aligned} \text{A : schijfvormig gebouw} & : G = \bar{k} \cdot \frac{A_o}{V} = 1,53 * 0,287 = 0,439 \text{ W/m}^3\text{K} \\ \text{B : torengedouw} & : G = \bar{k} \cdot \frac{A_o}{V} = 1,21 * 0,467 = 0,565 \text{ W/m}^3\text{K} \\ \text{C : eengezinshuis} & : G = \bar{k} \cdot \frac{A_o}{V} = 1,0 * 0,743 = 0,743 \text{ W/m}^3\text{K} \\ & \text{(kopwoning)} \\ \text{D : bungalow} & : G = \bar{k} \cdot \frac{A_o}{V} = 0,88 * 1,067 = 0,939 \text{ W/m}^3\text{K} \end{aligned}$$

Wanneer wordt verondersteld, dat  $G \leq 0,6$  en  $\bar{k} \leq 1,2$  bij dit "isolatieniveau" redelijke eisen zouden zijn, dan kunnen de volgende conclusies uit *figuur 2.1* worden getrokken:

a. Een keuze van een maximale waarde van  $\bar{k}$  is niet haalbaar.

Bij gebouwen met een zeer klein buitenoppervlak, zoals een flat, zal vrijwel géén glas meer mogen worden toegepast in het toch al kleine buitenoppervlak en bij een vrijstaande woning zou vrij veel glas kunnen worden toegepast, omdat toch altijd nog veel goed geïsoleerde gesloten vlakken (dak!) aanwezig zijn die zodoende de  $\bar{k}$  laag houden.

b. Bij een maximale waarde van  $G$  is te zien, dat bij gebouwen met een groot buitenoppervlak (grillige gebouwvormen) duidelijk beter moet worden geïsoleerd en bij gebouwen met een klein buitenoppervlak (compacte bouwwijze) de isolatie duidelijk minder mag zijn. Deze eis klinkt redelijk, omdat de meer compacte bouwwijze wordt beloond, doordat minder behoeft te worden geïsoleerd. Een constante  $G$ -waarde blijkt echter niet uitvoerbaar; flatgebouwen zouden nauwelijks méér behoeven te worden geïsoleerd dan thans het geval is.

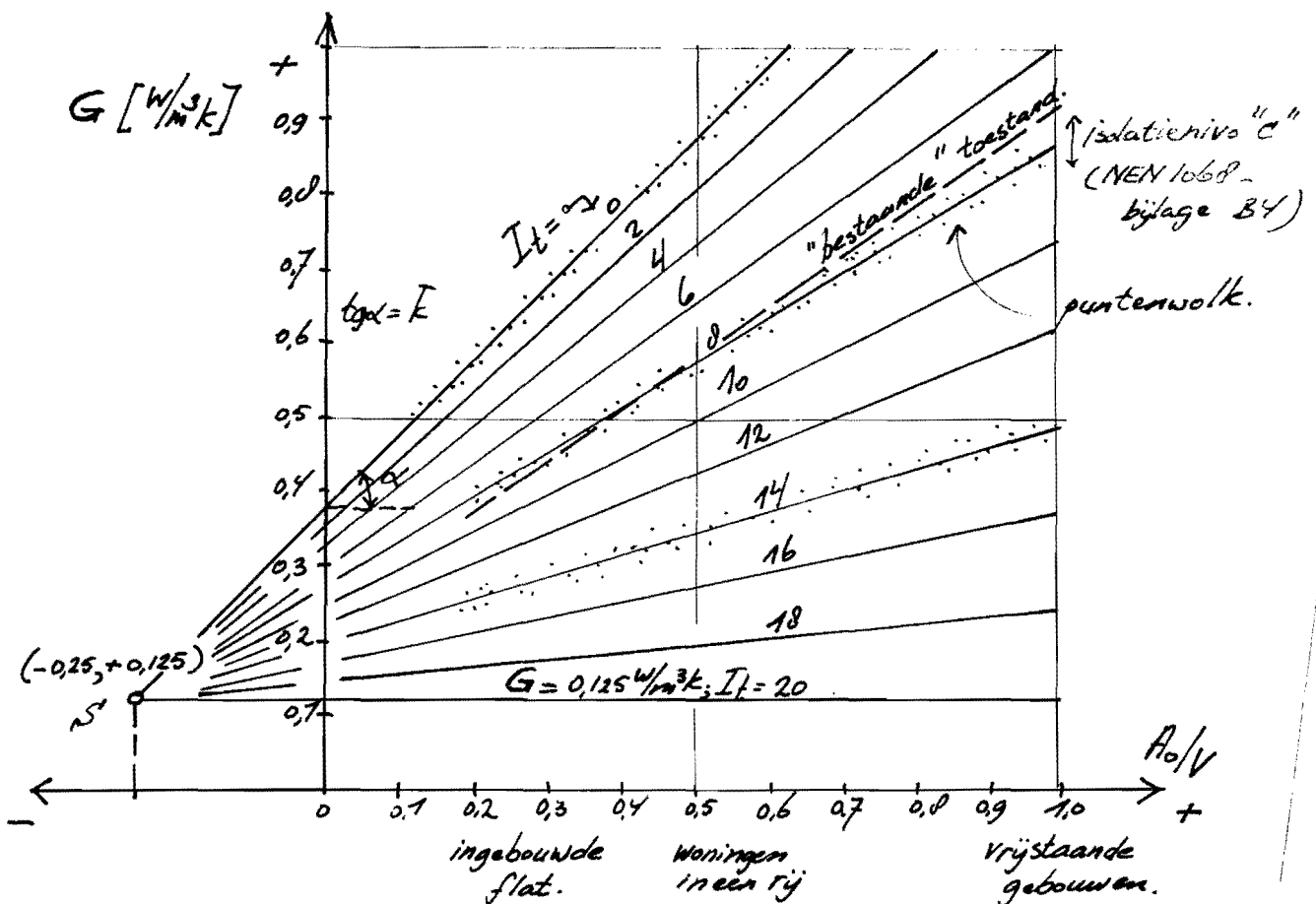
Vrijstaande bungalows daarentegen dienen dan een extreme isolatie te krijgen

om aan die eis te voldoen.

In de norm is een "tussenweg" bewandeld, waarbij het gekozen criterium ergens tussen de beide voornoemde criteria terecht komt. Er zijn namelijk vele gebouwtypen met verschillende "isolatieniveaus" doorgerekend (15).

De gevonden G-waarden, uitgezet in een  $G-A_0/V$  diagram leverden per "isolatieniveau" een puntenwolk op (figuur 2.2), die op redelijke wijze door rechte lijnen kunnen worden benaderd.

In de norm gebeurt dit overigens op dezelfde wijze met behulp van een  $\bar{k}-V/A_0$ -diagram ((10) blz. 28 en 29).



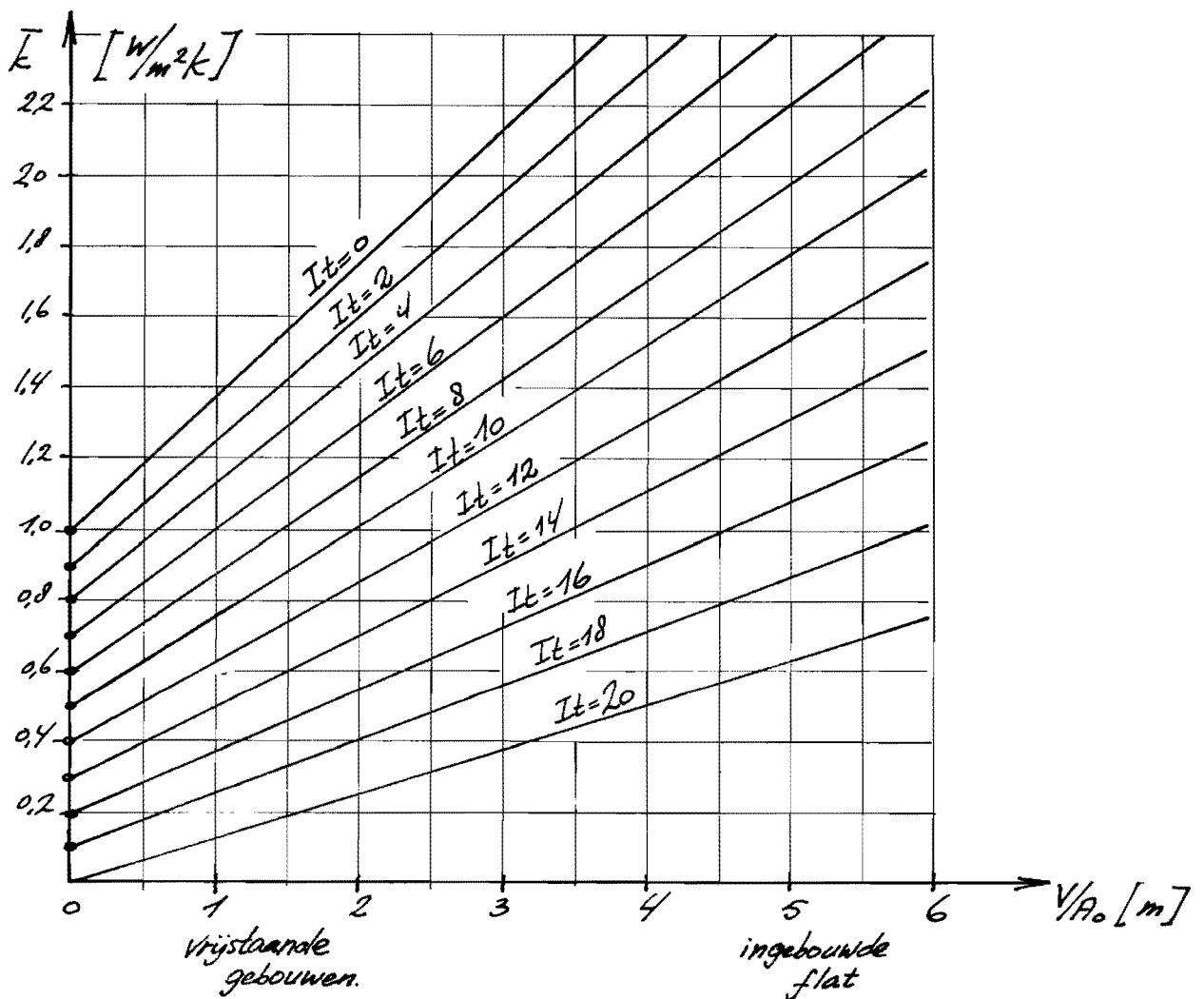
Figuur 2.2.

Hierbij blijkt dat de snijpunten van de voor de verschillende "isolatieniveaus" verkregen lijnen, zeer dicht bij elkaar liggen. Het beeld blijkt dan ook nauwelijks te veranderen, wanneer de oorspronkelijk geconstrueerde lijnen worden vervangen door een lijnenbundel door  $S$  (figuur 2.2).

Voor deze lijnen is, na enig rekenwerk, één formule bepaald, die volgens bijlage B3 (10) met behulp van een  $\bar{k}-A_0/V$  diagram is af te leiden, te weten: (zie ook (12))

$$I_t = \frac{(80 A_0/V)(1-\bar{k}) + 30}{(4A_0/V) + 1} \quad (2.6)$$

Door voor de thermische isolatie-index  $I_t$  waarden in te vullen, worden grafieken gevonden als figuur 2.2 en figuur 2.3 (is figuur 3 uit (10)).



Figuur 2.3.



De getekende lijnen vormen dus een grafische weergave van *formule 2.6*.

De schaal eenheid van  $I_t$  is zodanig gekozen, dat tussen twee opeenvolgende waarden van  $I_t$  (bijvoorbeeld  $I_t = 10$  en  $I_t = 11$ ) naar schatting een merkbaar isolatieverschil ontstaat. Een hoge  $I_t$ -waarde betekent volgens *figuur 2.2* dat het gebouw goed geïsoleerd is en het energieverlies door transmissie klein.

Het totale energieverlies kan bij een gebouw met hoge  $I_t$  echter meer zijn dan bij een gebouw met een lage  $I_t$ , omdat volgens de energieverliesberekening, *paragraaf 1.1*, nog andere factoren een rol spelen. Voor een energetisch zuinig gebouw is dus mêér nodig dan het realiseren van een relatief hoge  $I_t$ -waarde alleen.

De gevonden puntenwolken per "isolatieniveau" vallen vrijwel samen met de genormeerde lijnenbundels, (de  $I_t$ -lijnen in *figuur 2.2*). Voor alle bouwtypen zal daarom, ongeacht vorm en afmetingen, maar met gelijke  $k$ -waarden voor gelijke onderdelen en waarbij sprake is van een gelijkwaardige verhouding tussen raam en bruto vloeroppervlak, globaal dezelfde waarde van  $I_t$  worden gevonden. De grootte en de compactheid van het gebouw vastgelegd in het specifiek buitenoppervlak ( $A_o/V$ ) beïnvloedt de  $I_t$ -waarde dus vrijwel niet! Bij gelijke  $I_t$ -waarde kan het specifiek warmteverlies bij compacte gebouwen, beduidend lager liggen dan bij grillige gebouwen ( $A_o/V =$  groot) en dientengevolge een kleiner transmissieverlies geven (*figuur 2.2*).

Kortweg kan worden gesteld: de gebouwvorm merkt men niet in de  $I_t$ , maar wel in de portemonnaie!

De thermische isolatie-index  $I_t$  is dus niet meer dan een maat voor het totale isolatieniveau van het gebouw.

De thermische isolatie-index  $I_t$  heeft ten opzichte van de eisen aan de minimale  $r_c$ -waarden van de afzonderlijke constructies, de volgende voordelen:

- de ontwerper heeft een zekere mate van vrijheid om de isolatievoorzieningen daar aan te brengen, waar hem dat uit praktische overwegingen het best uitkomt.
- de warmtetransmissie door ramen is in de grootte  $I_t$  opgenomen, hetgeen betekent, dat bij grote raamoppervlakken de andere constructies extra geïsoleerd dienen te worden.
- de onderlinge vergelijking van gebouwen uit een oogpunt van warmtetransmissie kan via  $I_t$  eenvoudig plaatsvinden.

Als nadeel kan echter worden genoemd:

- aan welke  $r_c$ -waarden dienen bouwelementen te voldoen?
- wordt de procedure van toetsing aan de gestelde eisen niet erg gecompliceerd?

2.1.2. Werken met de thermische isolatie-index  $I_t$ 

Formule (2.6) kan worden omgewerkt tot:

$$\bar{k} = 1 + \frac{30 - I_t}{80} (V/A_0) - 0,05 I_t \quad (2.7)$$

waardoor bij een minimaal vereiste  $I_t$  de maximaal toegestane  $\bar{k}$  bekend is. Met (2.7) kunnen nu bij verschillende  $I_t$  waarden de volgende  $\bar{k}$ -waarden worden berekend.

$$\bar{k} = \alpha + \beta \cdot V/A_0 \quad (2.8)$$

In onderstaande tabel 2.1 kunnen de  $\alpha$  en  $\beta$  waarden bij een bepaalde  $I_t$  worden afgelezen.

| $I_t$ | $\alpha$ | $\beta$ |
|-------|----------|---------|
| 0     | 1        | 0,375   |
| 2     | 0,9      | 0,350   |
| 4     | 0,8      | 0,325   |
| 6     | 0,7      | 0,300   |
| 8     | 0,6      | 0,275   |
| 10    | 0,5      | 0,250   |
| 12    | 0,4      | 0,225   |
| 14    | 0,3      | 0,200   |
| 16    | 0,2      | 0,175   |
| 18    | 0,1      | 0,150   |
| 20    | 0        | 0,125   |

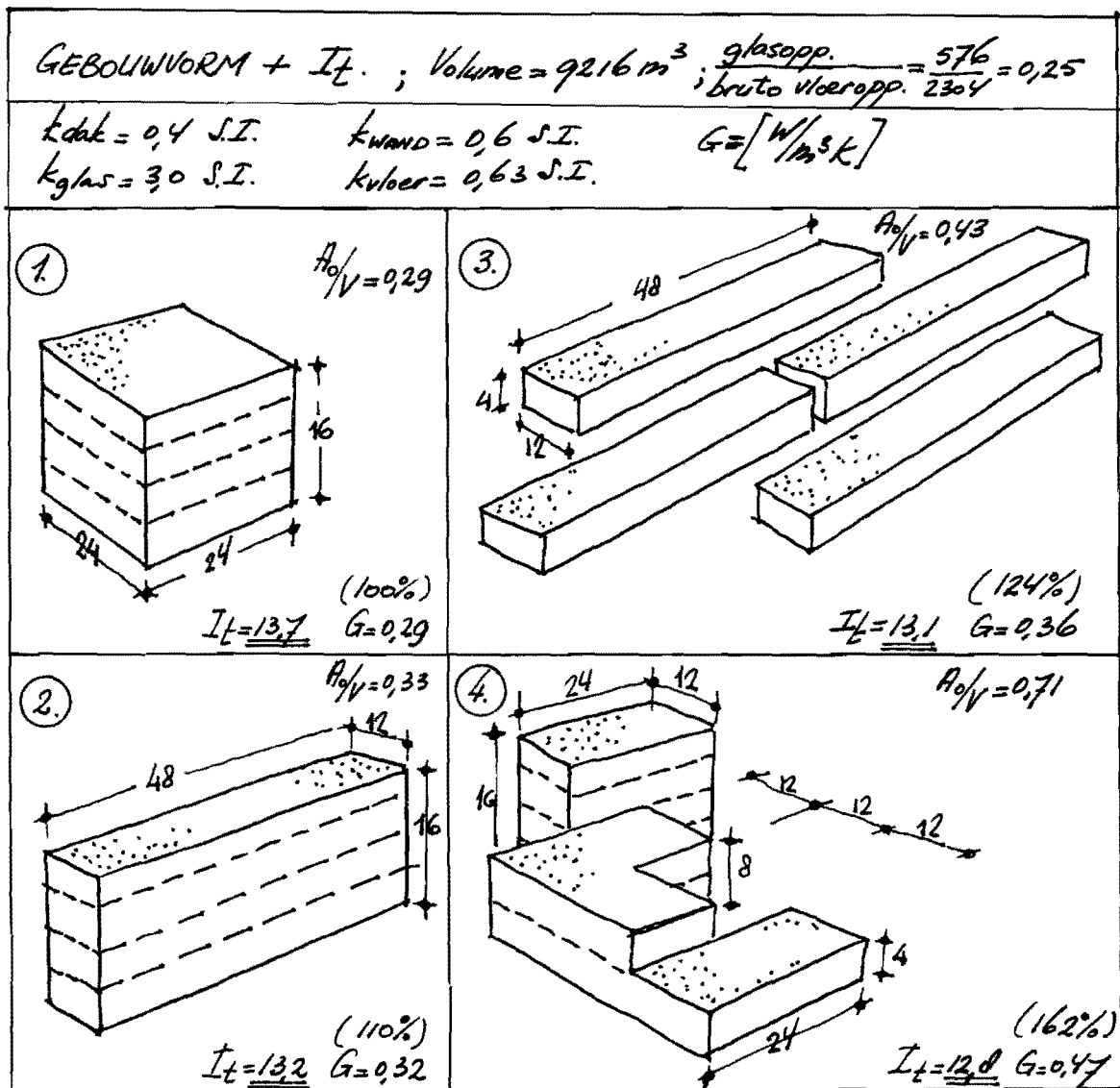
N.B. De Duitse norm DIN 4108 eist  $\bar{k} \leq 0,64 + 0,27 V/A_0$

Tabel 2.1.

Formule (2.8) geeft voor verschillende waarden van  $\alpha$  en  $\beta$  rechte lijnen zoals in figuur 2.3 te zien is. Met behulp van de grafiek is bij een vereiste  $I_t$  en een bepaalde  $V/A_0$  verhouding af te lezen welke  $\bar{k}$  maximaal toelaatbaar is.

## Voorbeelden

- a. In de *bijlage D* van de NEN 1068 (10) en in *paragraaf 1.1.5.* van dit dictaat zijn  $I_t$ -berekeningen opgenomen.
- b. In *figuur 2.4* zijn voor vier totaal verschillende gebouwen met een volume van  $9216\text{ m}^3$  bijeen gelijk isolatieniveau en een gelijkwaardige verhouding tussen raam en vloerooppervlak ( $A_{\text{glas}}/A_{\text{bruto}} = 0,25$ ) de isolatie-index  $I_t$  en het specifiek warmteverlies  $G$  bepaald.



Figuur 2.4.

Hieruit blijkt wederom, dat de  $I_t$  globaal gelijk blijft ( $\pm 0,5$  ten opzichte van  $I_t = 13,2$ ) maar het specifiek warmteverlies, dus ook het energieverlies door transmissie duidelijk verschilt.

- c. Vaak bestaat de neiging om bij gebouwen met een groter buitenoppervlak meer glas toe te passen. Wanneer het glasoppervlak wordt gedefinieerd ten opzichte van het geveloppervlak, zal daardoor bij grotere waarden van  $A_o/V$  ("grillige gebouwwormen") ook meer glasoppervlak aanwezig zijn en dientengevolge, bij een gelijk isolatieniveau van de constructiedelen leiden tot lagere  $I_t$ -waarden. Het volgende voorbeeld zal laten zien, dat het glasoppervlak bij een grillige gebouwworm ( $A_o/V = \text{groot}$ ) bepalend is voor de lage  $I_t$ -waarde en niet de gebouwworm zelf.

In *figuur 2.5* staan twee bungalows afgebeeld met een isolatieniveau van

$$\begin{aligned} k_w = k_d &= 0,68 \text{ W/m}^2\text{K} \\ k_{\text{vloer}} &= 1,16 \text{ W/m}^2\text{K} \\ k_{\text{glas}} &= 3,0 \text{ W/m}^2\text{K} \end{aligned}$$

Het specifieke buitenoppervlak is voor bungalow A: 1,07 en voor B is  $A_o/V = 1,29$ . Het glasoppervlak gedefinieerd ten opzichte van het vloeroppervlak is 30% van  $100 \text{ m}^2 = 30 \text{ m}^2$ .

In de figuur is het specifiek warmteverlies voor verschillende  $A_o/V$ -waarden als functie van  $I_t$  getekend.

Deze lijnen zijn te vinden door (2.4) in (2.7) te substitueren:

$$G = A_o/V - 0,05 I_t \cdot A_o/V - 0,0125 I_t + 0,375 \quad (2.9)$$

Voor bepaalde waarden van  $A_o/V$  ontstaat dan de genoemde grafiek (*figuur 2.5*). Hierin kan worden afgelezen hoe bij een gebouw het transmissieverlies afneemt bij een toenemende  $I_t$ -waarde.

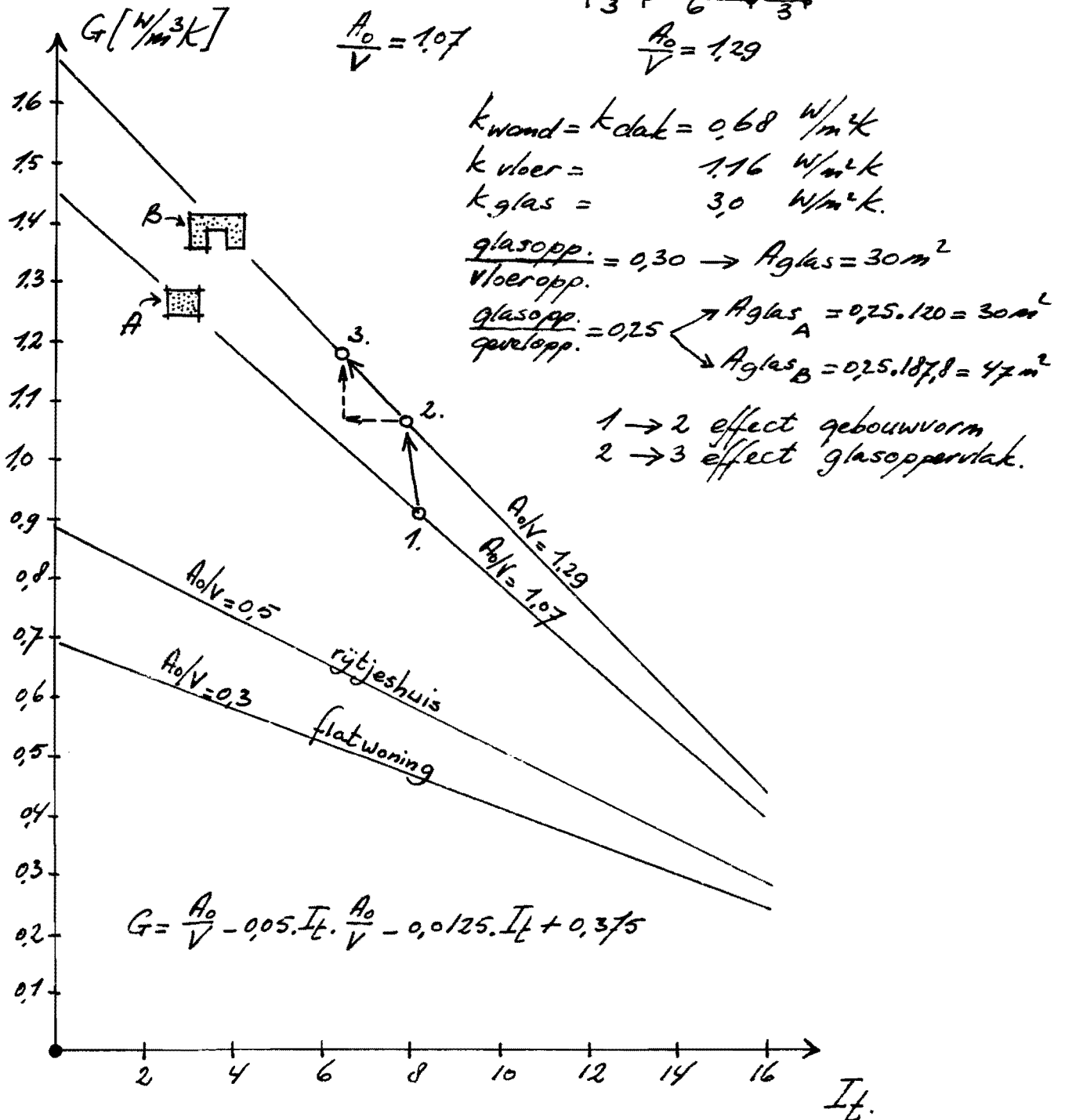
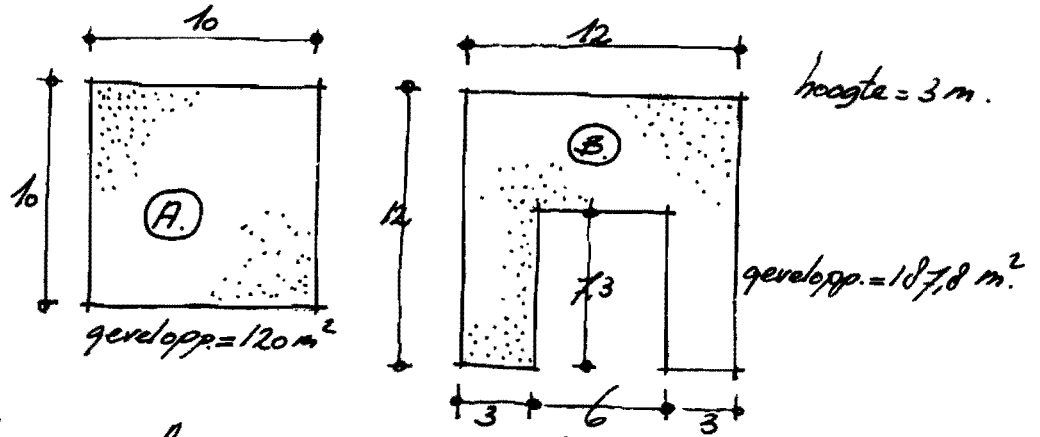
Wanneer bungalow A vervangen wordt door bungalow B met gelijkblijvend raamoppervlak van  $30 \text{ m}^2$  wordt de  $I_t = 7,83$  in plaats van  $I_t = 8,1$ .

In de grafiek geeft de pijl 1  $\rightarrow$  2 aan dat het specifiek warmteverlies toeneemt van 0,91 naar 1,06 terwijl de  $I_t$  vrijwel gelijk blijft. De vormverandering van de bungalow geeft dus vrijwel géén verandering in de  $I_t$  maar wel in het transmissieverlies.

Wanneer het glasoppervlak wordt gedefinieerd ten opzichte van het geveloppervlak dan komt  $30 \text{ m}^2$  glas overeen met een percentage van 25% voor bungalow A.

Het glasoppervlak van bungalow B wordt dan in plaats van  $30 \text{ m}^2$  nu:

$0,25 \cdot 187,8 \text{ m}^2$  (= geveloppervlak bungalow B) =  $47 \text{ m}^2$ . De  $I_t$ -waarde van bungalow B wordt dan 6,2 (= punt 3 in de grafiek). De pijl 2  $\rightarrow$  3 geeft dus het



Figuur 2.5

effect van het groter maken van het glasoppervlak van bungalow B. Duidelijk is te zien dat het effect van het glasoppervlak op zowel de  $I_t$ -waarde (van 7,83 naar 6,2) als op het transmissieverlies groot is (van 1,06 naar 1,28 W/m<sup>3</sup>K).

Welke eisen dienen te worden gesteld?

De eisen ten aanzien van de  $I_t$  worden niet in de norm maar in de MBV gesteld.

Zo is daarin thans (16e wijziging - 1982) geëist voor:

- kantoorgebouwen  $I_t \geq 10$  (Rijksgebouwendienst eist hier  $I_t \geq 12$ ).
- logiesgebouwen (hotels) :  $I_t \geq 8$ .

Voor woningen is nu nog geen  $I_t$  eis gesteld. Woningen dienen volgens de MBV nu nog geïsoleerd te worden volgens klasse "goed" uit de "oude" norm NEN 1068 (1964), (zie bijlage B4, (10), dat is globaal isolatieniveau "c"). Voor midden eengezinswoningen geeft dit globaal een  $I_t$ -waarde van 8. In tabel 2.2 is voor een standaard middenwoning, waarbij overal dubbel glas wordt toegepast en de k-waarde van de vloer = 0,5 W/m<sup>2</sup>K wordt verondersteld, bepaald hoe groot de oppervlakte van ramen en buitendeuren als percentage van het bruto vloeroppervlak bij een bepaalde k-waarde van wand en dak maximaal mag zijn, opdat de isolatie-index minimaal een vastgestelde waarde heeft.

#### Middenwoning

Toegepast:

- . overal dubbel glas
- . begane grondvloer  $k = 0,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

| $\frac{A_{\text{glas+deur}}}{A_{\text{bruto}}}$ in % | $I_t > 10$  | $I_t > 11$  | $I_t > 12$  | $r_c > 1,3$ | isolatiedikte spouwmuur in cm |            |
|------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------------|------------|
|                                                      |             |             |             |             | min.wol                       | PUR-schuim |
| $k_{w.d} \leq 0,7$                                   | $\leq 19\%$ | $\leq 15\%$ | $\leq 11\%$ | $r_c > 1,3$ | 4                             | 2,5        |
| $k_{w.d} \leq 0,6$                                   | $\leq 22\%$ | $\leq 18\%$ | $\leq 14\%$ | $r_c > 1,5$ | 5                             | 3,0        |
| $k_{w.d} \leq 0,5$                                   | $\leq 25\%$ | $\leq 21\%$ | $\leq 17\%$ | $r_c > 1,8$ | 6                             | 4,0        |
| $k_{w.d} \leq 0,4$                                   | $\leq 28\%$ | $\leq 24\%$ | $\leq 20\%$ | $r_c > 2,3$ | 8                             | 5,5        |

Tabel 2.2.

Voornoemd "glaspercentage" gedefinieerd ten opzichte van het vloeroppervlak schommelt bij de huidige bouwwijze rond de 20%, hetgeen globaal overeenkomt met een glaspercentage van 40% wanneer dit ten opzichte van het geveleppervlak wordt gedefinieerd.

Bij de huidige bouwconstructies, waarbij spouwmuren van 30 cm worden toegepast, zijn k-waarden van  $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  economisch haalbaar. Uit *tabel 2.2* kan worden afgeleid, dat een gecombineerde eis volgens de NEN 1068 (*paragraaf 5, blz. 9, (10)*) als volgt mogelijk is:

$$\begin{aligned} \text{a. } k_w = k_d &\leq 0,4 \text{ W/m}^2\text{K} \\ k_{v1} &\leq 0,5 \text{ W/m}^2\text{K} \\ &\text{overal dubbelglas} \\ \frac{A_{\text{glas + deur}}}{A_{\text{bruto}}} &\leq 20\% \end{aligned}$$

$$\text{of b. } I_t \geq 12$$

De eis  $I_t \geq 12$  kan volgens *tabel 2.2.* ook worden bereikt met:

$$\begin{aligned} k_w = k_d &\leq 0,7 \text{ W/m}^2\text{K} \\ k_{v1} &\leq 0,5 \text{ W/m}^2\text{K} \\ &\text{overal dubbelglas} \\ \frac{A_{\text{glas + deur}}}{A_{\text{bruto}}} &\leq 11\% \end{aligned}$$

Uit *tabel 2.2.* blijkt ook hier weer, dat door kleine glasoppervlakken de  $I_t$  waarde sterk stijgt. Hierbij dient wel te worden gecontroleerd of de dagverlichtings-eisen uit de MBV een sterk verkleinen van het glasoppervlak niet in de weg staan. Bij de huidige bouwconstructies zijn  $I_t$  waarden  $\geq 13$  vrij moeilijk te realiseren. Alléén woningen met kleinere glasoppervlakken en bouwconstructies waarbij grotere isolatiedikten kunnen worden toegepast, kunnen een dergelijke hoge  $I_t$ -waarde bereiken.

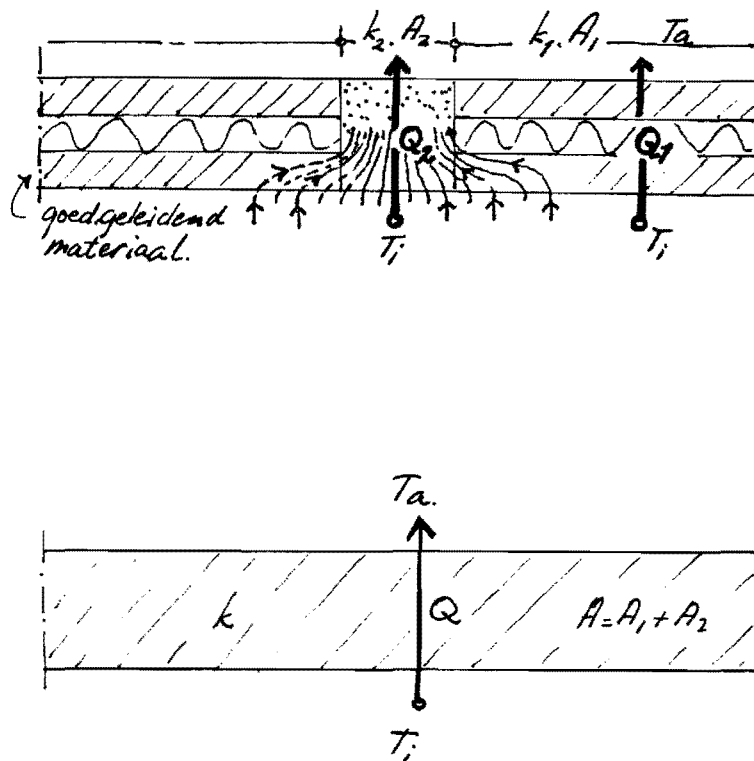
### 2.1.3. Constructies met koudebruggen

Koudebruggen zijn in de constructie voorkomende plaatsen met een duidelijke lagere warmteweerstand. Enkele voorbeelden hiervan zijn betonnen neuzen boven kozijnen, die het buitenblad dragen, geprefabriceerde balkjes in systeemvloeren, en doorgaande stalen profielen, die geprofileerde stalen binnen- en buitenbekleding

van een buitenwand verbinden. Buiten het probleem van de kans op oppervlaktecondensatie door de lage optredende oppervlaktetemperatuur bij de koudebrug speelt het energieverlies door koudebruggen een steeds belangrijkere rol. De invloed van koudebruggen is in de norm met behulp van twee benaderingsformules in de warmtedoorgangscoefficiënt van de gehele constructie verwerkt (paragraaf 6.3.1.1c, blz. 16, (10)). De benaderingsformule die de laagste warmtedoorgangscoefficiënt  $k$  geeft, mag dan als rekenwaarde worden gekozen.

#### Benaderingsformule met additionele oppervlakken

Wanneer wordt aangenomen, dat tussen de gedeelten van de constructie met verschillende warmteweerstand onderling geen zijdelingse uitwisseling van warmte kan plaatsvinden, zal in elk afzonderlijk gedeelte de warmtestroom loodrecht op de oppervlakken gericht zijn. In onderstaande *figuur 2.6* is een dergelijke wandconstructie met twee verschillende warmteweerstanden  $(\Sigma R)_1$  en  $(\Sigma R)_2$  getekend (exclusief de overgangsweerstanden  $r_i = 0,13$  en  $r_a = 0,04$ ).



Figuur 2.6



Verder is gegeven:

$$k_1 = \frac{1}{(\Sigma R)_1 + 0,17} \quad \text{en} \quad k_2 = \frac{1}{(\Sigma R)_2 + 0,17} \quad (2.10)$$

$$(\Sigma R)_1 \gg (\Sigma R)_2$$

$$(\Sigma R)_1 = \Sigma d/\lambda \text{ ter plaatse van doorsnede 1.}$$

De totale warmtestroom  $Q$  bij een temperatuurverschil tussen binnen en buiten van 1 K is gelijk aan  $Q_1 + Q_2$  met  $Q = kA$ ,  $Q_1 = k_1A_1$  en  $Q_2 = k_2A_2$

dan wordt gevonden:

$$kA = k_1A_1 + k_2A_2 \quad \text{of} \quad k = (k_1A_1 + k_2A_2)/A \quad (2.11)$$

Met *formule (2.10) in (2.11)* wordt dit:

$$k = 1/A \cdot \left( \frac{A_1}{(\Sigma R)_1 + 0,17} + \frac{A_2}{(\Sigma R)_2 + 0,17} \right) \quad (2.12)$$

*Formule (2.12)* kan natuurlijk niet kloppen omdat er in werkelijkheid zijdelingse warmte-uitwisseling plaatsvindt.

In de NEN 1068 (blz.16) (10) is daarom de volgende formule opgenomen:

$$k' = 1/A \left( \frac{A_1 + A_1'}{(\Sigma R)_1 + 0,17} + \frac{A_2 + A_2'}{(\Sigma R)_2 + 0,17} + \dots \right) \quad (2.13)$$

$A_1'$  en  $A_2'$  zijn oppervlakken, die toegevoegd moeten worden (additioneel oppervlak) wanneer het desbetreffend onderdeel van de constructie duidelijk slechter is geïsoleerd.

Deze toevoeging compenseert het extra warmteverlies tengevolge van de zijdelingse warmte-uitwisseling door de warmtedoorgangscoefficiënt met behulp van het additioneel oppervlak te verhogen.

In de getekende wandconstructie is oppervlak  $A_2$  duidelijk slechter geïsoleerd dan oppervlak  $A_1$ . Er dient nu aan  $A_2$  een oppervlak  $A_2'$  toegevoegd te worden (blz. 20, (10)), als deze een duidelijk lagere warmteweerstand heeft dan het goed geïsoleerde gedeelte; dit is het geval als:

$$(\Sigma R)_2 < 0,7 * (\Sigma R)_1$$

of als de koudebrug wordt gevormd door een materiaal met een

$$\lambda > 0,2 \text{ W/mK}$$

Bij  $(\Sigma R)_1$  hoeft niets te worden toegevoegd, omdat dit konstruktiegedeelte de hoogste R-waarde bezit.

Wanneer de koudebrug wordt gevormd door houten of houtachtige elementen ( $\lambda \leq 0,2$ ) kan het additioneel oppervlak op nul worden gesteld.

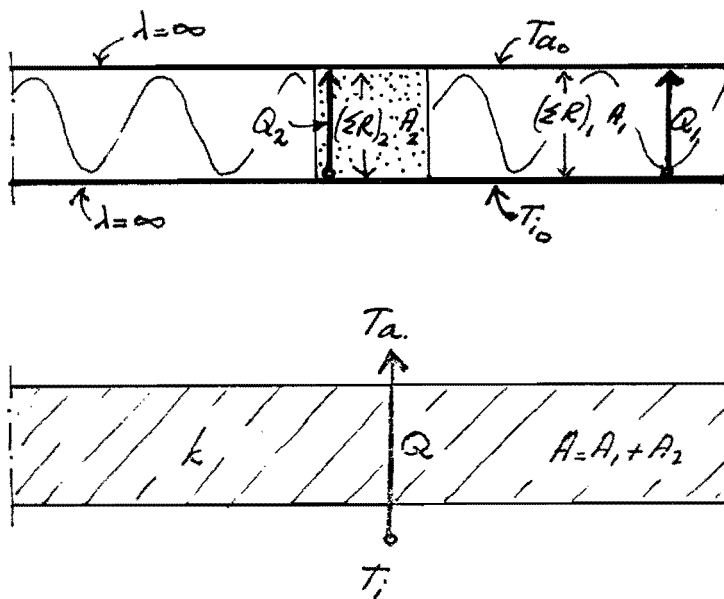
Het toe te voegen oppervlak  $A_2'$  wordt volgens de norm als volgt bepaald (10):

$A_2' = 0,2 * l \text{ m}$  voor een lijnvormige koudebrug, waarbij  $l$  het aantal meters lengte van de desbetreffende koudebrug voorstelt,

$A_2' = 0,1 \text{ m}^2$  voor een geconcentreerde koudebrug.

#### Benaderingsformule met onbeperkte zijdelingse warmte-uitwisseling

De tweede benaderingsformule ( $k''$ ) is gebaseerd op een model, waarbij de begrenzingsvlakken van de te beschouwen konstruktie denkbeeldig bekleed zijn met een dunne metalen plaat met een oneindig hoge warmtegeleidingscoëfficiënt (zie figuur 2.7).



Figuur 2.7.

Door de zêêr goed geleidende begrenzingsvlakken worden de koudebruggen, die toch al de weg van de minste weerstand vormen, verzekerd van de grootst mogelijke zijdelingse warmtetoevoer. De uit dit model af te leiden  $k$ -waarde (is  $k''$  in de norm) zal dientengevolge te hoog zijn! De  $k$ -waarde uit de benaderingsformule met

additionele oppervlakken ( $k'$ ) kan dus nooit hogere waarden geven, dan de  $k$ -waarde volgend uit een benadering met maximale zijdelingse warmtetoevoer ( $k''$ ):

Volgens de norm moet dan ook voor de  $k$ -waarde de kleinste waarde worden aangehouden.

Voor de afleiding van de formule voor  $k''$  gelden de volgende uitgangspunten:

- een denkbeeldig temperatuurverschil aan de begrenzingsvlakken zal door de oneindig grote warmtegeleidingscoëfficiënt volledig worden vereffend, zodat bij dit model de oppervlaktetemperatuur overal gelijk is.
- De warmtestromen staan overal loodrecht op de begrenzingsvlakken.
- Alleen op de begrenzingsvlakken zelf vindt zijdelingse warmte-uitwisseling plaats:

Nu geldt :  $Q = Q_1 + Q_2$  ;  $A = A_1 + A_2$

$$Q = \frac{A_1}{(\Sigma R)_1} (T_{io} - T_{ao}) + \frac{A_2}{(\Sigma R)_2} (T_{io} - T_{ao}) = \frac{A}{\bar{R}} (T_{io} - T_{ao}) \quad (2.14)$$

Uit (2.14) volgt:

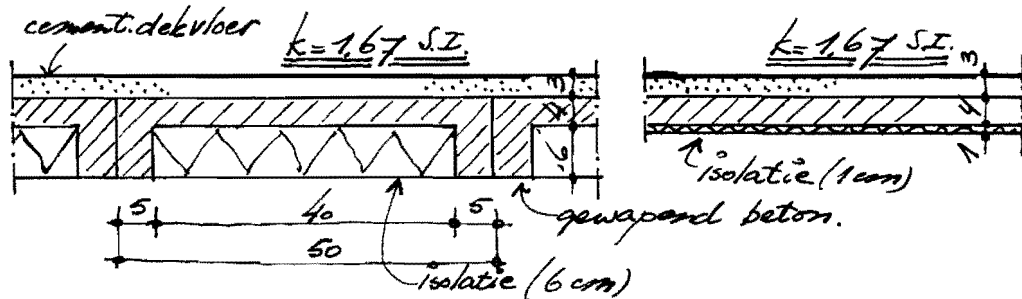
$$\bar{R} = \frac{A}{\frac{A_1}{(\Sigma R)_1} + \frac{A_2}{(\Sigma R)_2}}$$

$$\bar{R}_{tot}(= \bar{R}_1) = \frac{A}{\frac{A_1}{(\Sigma R)_1} + \frac{A_2}{(\Sigma R)_2}} + 0,13 + 0,04$$

$$k'' = \frac{1}{\bar{R}_{tot}} = \frac{1}{\frac{A}{\frac{A_1}{(\Sigma R)_1} + \frac{A_2}{(\Sigma R)_2}} + 0,17} \quad (2.15)$$

In bijlage C van de norm NEN 1068 (blz. 37) zijn enige voorbeelden opgenomen.

In *figuur 2.8* is het vloerelement met een breedte van 0,50 m uit bijlage C1 getekend. Naast dit vloerelement is een denkbeeldige vloer met doorgaande isolatie, maar met dezelfde warmtedoorgangscoefficiënt  $k = 1,67 \text{ W/m}^2\text{K}$  getekend (controleer dit!).



Figuur 2.8

Conclusie uit dit voorbeeld:

op regelmatige afstand voorkomende lijnvormige koudebruggen hebben een grote invloed op het transmissieverlies (hier de  $k$ -waarde).

Opmerking:

Formule (2.15) is goed bruikbaar om bij constructies met goed geleidende binnen- en buitenbekleding (zie figuur 2.9), de binnenoppervlaktetemperatuur ( $T_{i0}$ ) te berekenen.

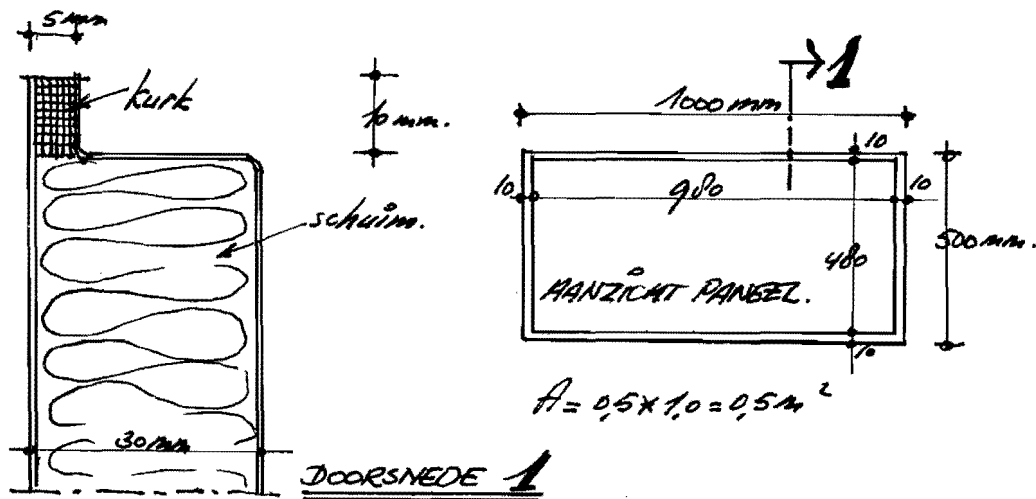
Met behulp van deze oppervlaktetemperatuur kan nu worden bepaald of oppervlaktecondensatie zal optreden.

Wanneer de gemiddelde  $k$ -waarde ( $k''$ ) bekend is, wordt de oppervlaktetemperatuur als volgt gevonden:

$$\bar{q} = k'' (T_i - T_a) \text{ W/m}^2 \text{ met}$$

$$T_{i0} = T_i - \bar{q} \cdot r_i \text{ geeft}$$

$$T_{i0} = T_i - k'' (T_i - T_a) \cdot r_i \quad (2.16)$$



Figuur 2.9

Voorbeeld

Gegeven: *figuur 2.9* schuimgevuld sandwichpaneel

$$T_i = 20 \text{ } ^\circ\text{C}, T_a = -10 \text{ } ^\circ\text{C}, r_i = 0,13 \text{ SI}, r_a = 0,04 \text{ SI}$$

$$\lambda_{\text{kurk}} = 0,046 \text{ SI}, \lambda_{\text{schuim}} = 0,035 \text{ SI}$$

$$A_1 = 0,48 \times 0,98 = 0,47 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0,03 \text{ m}^2$$

$$A_1 + A_2 = A = 0,50 \text{ m}^2$$

Gevraagd: Bepaal  $T_{i0}$  van het paneel wanneer de bekledingplaten oneindig goed geleidend zijn.

Oplossing:  $(\Sigma R)_1 = \frac{0,03}{0,035} = 0,86; (\Sigma R)_2 = \frac{0,005}{0,046} = 0,11$

$$k_{\text{goed geïsoleerde gedeelte}} = \frac{1}{0,86 + 0,17} = 0,97 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ (100\%)}$$

$$k'' = \frac{1}{\frac{0,047}{0,86} + \frac{0,03}{0,11} + 0,17} = 1,28 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ (132\%)}$$

*formule (2.16) geeft:*

$$T_{i0} = 20 - 1,28 \cdot 30 \cdot 0,13 = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Wanneer géén oppervlaktecondensatie mag plaatsvinden, zal de optredende relatieve luchtvochtigheid de volgende waarde niet mogen overschrijden:

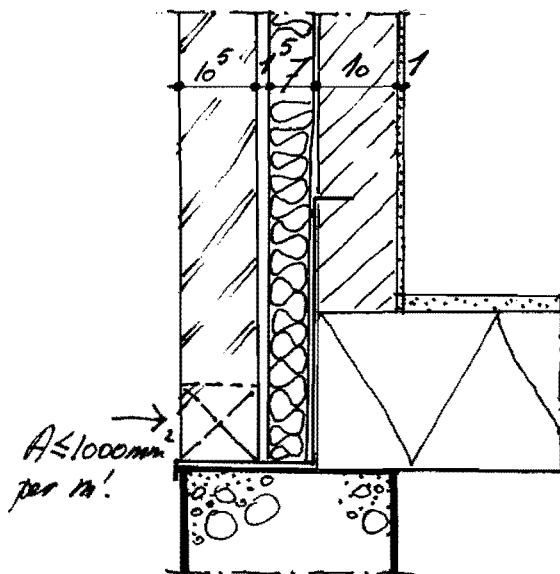
$$\phi_{i,\max} = \frac{p_s(15^{\circ}\text{C})}{p_s(20^{\circ}\text{C})} * 100\% = \frac{1706}{2340} * 100\% = 73\%$$

Hoewel er in werkelijkheid natuurlijk wel zijdelingse warmte-uitwisseling tussen schuim en kurk zal plaatsvinden en de warmtegeleidingscoëfficiënt van de bekledingsplaten niet oneindig groot zal zijn, kan toch worden geconcludeerd, dat:

- het transmissieverlies beduidend meer zal zijn, dan op grond van de k-waarde van het goed geïsoleerde middengedeelte zou worden verwacht (hier 32% meer verlies!).
- De kans op oppervlaktecondensatie bij toepassing van goed geleidende bekledingsplaten klein zal zijn.

Voorbeeld: berekening k-waarde

Gegeven: de in onderstaande *figuur 2.10* gegeven spouwconstructie:



Figuur 2.10

$\rho_{\text{binnenblad}} = \rho_{\text{buitenblad}} = 1900 \text{ kg/m}^3$   
 minerale wol dik 0,07 m  
 pleisterlaag tegen het binnenoppervlak  
 spouwbreedte = 0,015 m

Gevraagd: bepaal de k-waarde van de gegeven spouwwaam.

Oplossing: de k-waarde bepaling mag volgens de norm (paragraaf 6.1 - blz. 9) onder andere via tabellen uit de norm of via berekening plaatsvinden.

- Via tabel 11 wordt gevonden  $k = 0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Via berekening (paragraaf 6.3 - blz. 15 NEN 1068).

$$r_c = \sum r = r_1 + r_2 + r_3 \dots r_n$$

$$R_{\text{tot}} = r_c + 0,17 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (R_{\text{tot}} = R_1 \text{ in (10)}).$$

$$\text{tabel 16} \rightarrow \rho = 1900 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \lambda_{\text{binnen,buitenblad}} = 1,0 \text{ W/mK}$$

$$\text{tabel 16} \rightarrow \text{minerale wol} \rightarrow \lambda = 0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{paragraaf 6.3.2.2. \u00e6n 6.3.2.3.} \rightarrow r_{\text{sp}} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$r_c = \frac{0,105}{1} + 0,17 + \frac{0,07}{0,04} + \frac{0,105}{1} + 0,02 = 2,145 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{tot}} = 2,145 + 0,17 = 2,315 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$k = 1/R_{\text{tot}} = 1/2,315 = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$$

De kleinste waarde mag worden aangehouden:

$$k = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### Opmerkingen

. Speciale aandacht vraagt ook tabel 17 met voetnoot uit de norm, waarin het extra transmissieverlies door de omranding van kozijnen in de k-waarde van het glas is verwerkt.

Deze k-waarden zijn afhankelijk van de kozijngrootte en moeten dus als een gemiddelde rekenwaarde worden gezien.

. In *paragraaf 7.3/7.4* is voor dakoverstekken en uitkragende konstruktiedelen een extra bijdrage, uitgedrukt in W/K per m' in de teller van de k-waardeberekening opgenomen.

Bij een uitkragende vloer is de extra bijdrage 2 W/K per m'.

Deze waarde zou bij een uitkragende vloer van 0,2 m dikte ook zijn bereikt met

$k = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; immers per  $\text{m}^2$  geldt dan  $kA = 10 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 0,2\text{m} \cdot 1\text{m} = 2 \text{ W/K}$ , hetgeen gelijk is met de bijdrage uit de norm.

## 2.2. Ventilatie van woongebouwen NEN 1087 (13)

De eisen voor de luchtverversing van ruimten worden in deze norm gesteld om een behaaglijk binnenklimaat te scheppen.

De gewenste volumestromen voor de diverse vertrekken worden onder andere bepaald door  $\text{CO}_2$ -, warmte- en waterdampproductie van personen en/of apparatuur (*zie gc40*). In de norm NEN 1087 is het  $\text{CO}_2$ -gehalte en de daarmee samenhangende hoeveelheid reukstoffen bepalend voor de vereiste volumestromen in woon- en slaapvertrekken. Bij de in de norm gestelde eisen is geen rekening gehouden met een hoge binnenluchttemperatuur en/of grote interne warmteproductie. Buiten de beïnvloeding van de ventilatie op de frisheid van de lucht, is de ventilatie van belang bij de bepaling van:

- a. De relatieve vochtigheid van de lucht.
- b. De hoeveelheid warmteverlies in de winter.

- a. De relatieve vochtigheid.

Door de toenemende vochtproductie in de woning (open keuken, vochtproducerende huishoudelijke apparatuur, e.d.) en een laag ventilatievoud (kierdichting, regelbare ventilatie-openingen) zijn redelijk hoge relatieve vochtigheden ( $\approx 50\%$ ) in de winter te verwachten (16). De hoge relatieve vochtigheid vereist een nauwgezette bouwfysische beoordeling van de afsluitende constructies om in de toekomst vochtoverlast door inwendige en/of oppervlaktecondensatie te voorkomen.

- b. De hoeveelheid warmteverlies door ventilatie.

Ter beperking van het warmteverlies in de winter dient de ventilatie zo gering mogelijk te zijn. Uit de voorbeelden in *paragraaf 1.1.5* blijkt, dat het energieverlies door ventilatie aanzienlijk is. Vooral in ruimten met tijdelijk hoge vochtproducties, wordt gepleit voor regelbare ventilatie-openingen, waardoor niet continu grote hoeveelheden energie verloren kunnen gaan.

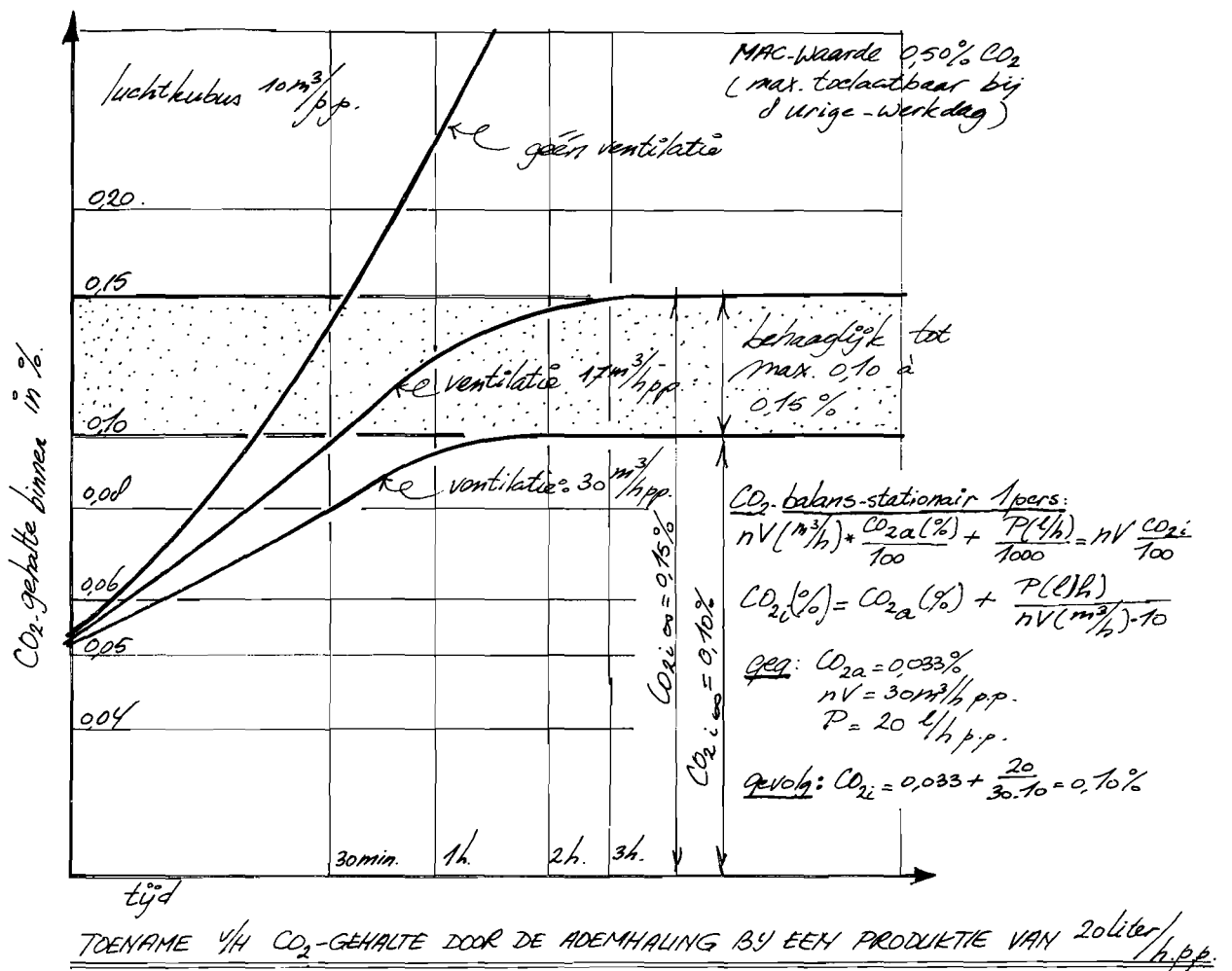
### De te stellen eisen aan de hoeveelheid ventilatielucht

Aangezien het  $\text{CO}_2$ -gehalte een gemakkelijke indikatiemethode geeft voor de zuiverheid van de lucht, wordt het toelaatbare  $\text{CO}_2$ -gehalte als criterium genomen. In normale gevallen wordt een eis gesteld aan het  $\text{CO}_2$ -gehalte van 0,10 tot 0,15 volume %  $\text{CO}_2$ .



Bij een langdurig verblijf wordt de grens van 0,1% CO<sub>2</sub> bereikt bij een ventilatie van 30 m<sup>3</sup>/h per persoon en van 0,15% CO<sub>2</sub> bij een ventilatie van 17 m<sup>3</sup>/h per persoon. De CO<sub>2</sub>-produktie van een persoon is hierbij gesteld op 20 l/h. De ventilatie van 17 m<sup>3</sup>/h per persoon is een minimum en 30 m<sup>3</sup>/h per persoon kan als wenselijk worden beschouwd.

In *figuur 2.11* is aangegeven hoe het CO<sub>2</sub>-gehalte door ademhaling als functie van de tijd verloopt.



Figuur 2.11.

De norm is van toepassing op woongebouwen, zoals:

- eengezinshuizen
- etagewoningen
- dienstwoningen
- wooneenheden in verzorgingstehuizen voor bejaarden.

Bovendien kan de norm van toepassing worden verklaard op ruimten van logiesgebouwen voor zover deze ruimten overeenkomen met vergelijkbare ruimten in woningen. De in de NEN 1087 vereiste ventilatie kan worden verkregen met behulp van de aanwijzingen en voorbeelden, die in de Nederlandse Praktijkrichtlijn NPR 1088 zijn opgenomen en in *paragraaf 2.2.2* worden behandeld.

### 2.2.1. Vereiste volumestromen en ventilatiesystemen

De vereiste volumestromen voor diverse ruimten zijn in *tabel 2.3* (tabel 1 - NEN 1087) opgenomen. Aan deze eisen wordt getracht te zijn voldaan, indien de in *tabel 2.4* (uit de NPR 1088 - (14)) genoemde konstruktieve uitvoering van de ventilatievoorzieningen toegepast worden.

De vereiste volumestromen zijn veelal gedefinieerd per  $m^2$  vloeroppervlak.

Dit oppervlak dient berekend te worden uit de binnenwerks gemeten waarden en bij kamers onder schuine daken telt het vloeroppervlak, waarboven minder dan 1,5 m hoogte is niet mee (*zie figuur 2.12*). Onder "overige kamers" worden verstaan de slaapkamers, dus exclusief keuken, badkamer, toilet, enz.

Bij *tabel 2.3* dient nog te worden opgemerkt, dat het bij toepassing van open keukens, om geurverspreiding te voorkomen, noodzakelijk is een mechanisch ventilatiesysteem in de keuken toe te passen (bijvoorbeeld afzuigkap boven de kookplaat). Verder verdient het aanbeveling een dampdrempel van 30 cm in het plafond toe te passen. Door de mechanische afzuiging in de keuken is de mogelijkheid zeker niet uitgesloten, dat terugstroming van lucht uit de verticale kanalen van w.c. en badruimte plaatsvindt.

De NEN 1087 kent vier ventilatiesystemen, te weten:

- a. Natuurlijke ventilatie (regelbare ventilatie-openingen in de gevels, bijvoorbeeld deur, klepraam, enz).
- b. Mechanische toevoer en natuurlijke afvoer.
- c. Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer.
- d. Mechanische toe- en afvoer.

## Ventilatie-eisen voor diverse ruimten

| ruimte                                                                                                                                 |                               | volumestroom                                                                                                                                                                                                                                                                            | opmerking                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| hoofdwoonkamer                                                                                                                         |                               | De ventilatie van de hoofdwoonkamer is gelijk aan het totaal van de ventilatie van de overige kamers.<br>Deze ventilatie mag niet lager zijn dan:<br>0,021 m <sup>3</sup> /s (75 m <sup>3</sup> /h) en hoeft niet hoger te zijn dan:<br>0,042 m <sup>3</sup> /s (150 m <sup>3</sup> /h) |                                                      |
| overige kamers <sup>1)</sup>                                                                                                           |                               | 0,001 m <sup>3</sup> /s per m <sup>2</sup> vloeroppervlak met een min. van<br>0,007 m <sup>3</sup> /s (3,6 m <sup>3</sup> /h per m <sup>2</sup> vloeropp.)                                                                                                                              |                                                      |
| keuken                                                                                                                                 | vloeropp. ≤ 10 m <sup>2</sup> | 0,021 m <sup>3</sup> /s ( 75 m <sup>3</sup> /h)                                                                                                                                                                                                                                         |                                                      |
|                                                                                                                                        | vloeropp. > 10 m <sup>2</sup> | 0,028 m <sup>3</sup> /s (100 m <sup>3</sup> /h)                                                                                                                                                                                                                                         |                                                      |
| keuken, kookruimte in open verbinding met andere ruimte(n)                                                                             |                               | 0,021 m <sup>3</sup> /s (75 m <sup>3</sup> /h) + ventilatie-eisen van de „andere ruimte(n)“                                                                                                                                                                                             | uitsluitend d.m.v. een mechanisch ventilatiesysteem  |
| kookgelegenheid (ook wel kitchenette genoemd) in een wooneenheid <sup>2)</sup>                                                         |                               | 0,001 m <sup>3</sup> /s per m <sup>2</sup> vloeroppervlak inclusief de ermee in open verbinding staande ruimte(n) met een minimum van 0,014 m <sup>3</sup> /s (50 m <sup>3</sup> /h) en een maximum van 0,028 m <sup>3</sup> /s (100 m <sup>3</sup> /h)                                 | uitsluitend d.m.v. een mechanisch ventilatiesysteem  |
| badruimte                                                                                                                              |                               | 0,014 m <sup>3</sup> /s (50 m <sup>3</sup> /h)                                                                                                                                                                                                                                          |                                                      |
| was- en/of droogruimte                                                                                                                 |                               | 0,014 m <sup>3</sup> /s (50 m <sup>3</sup> /h)                                                                                                                                                                                                                                          |                                                      |
| badruimte tevens was- en/of droogruimte                                                                                                |                               | 0,014 m <sup>3</sup> /s (50 m <sup>3</sup> /h)                                                                                                                                                                                                                                          |                                                      |
| WC                                                                                                                                     |                               | 0,007 m <sup>3</sup> /s (25 m <sup>3</sup> /h)                                                                                                                                                                                                                                          |                                                      |
| bad-, was- of droogruimte in combinatie met WC                                                                                         |                               | 0,014 m <sup>3</sup> /s (50 m <sup>3</sup> /h)                                                                                                                                                                                                                                          |                                                      |
| bergkast, bergruimte, bergplaats, keider of zolder met een vloeroppervlakte ≥ 1,5 m <sup>2</sup> en hoger dan 2 m                      |                               | 0,001 m <sup>3</sup> /s per m <sup>2</sup> vloeroppervlak met een min. van<br>0,007 m <sup>3</sup> /s (25 m <sup>3</sup> /h)                                                                                                                                                            |                                                      |
| gasmeterkast                                                                                                                           |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | zie voor de constructieve uitvoering NPR 1088        |
| gemeenschappelijk trappenhuis en/of gang                                                                                               |                               | 1 × ruimte-inhoud per uur                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                      |
| gemeenschappelijk gesloten trappenhuis en/of gang welke niet begrensd wordt door een buitenwand, hetzij niet grenst aan de buitenlucht |                               | 1 × ruimte-inhoud per uur                                                                                                                                                                                                                                                               | uitsluitend d.m.v. mechanische ventilatie            |
| vuilstortkoker                                                                                                                         | ≤ 10 inwerp-openingen         | 0,09 m <sup>3</sup> /s (325 m <sup>3</sup> /h)                                                                                                                                                                                                                                          |                                                      |
|                                                                                                                                        | 11-15 inwerp-openingen        | 0,11 m <sup>3</sup> /s (395 m <sup>3</sup> /h)                                                                                                                                                                                                                                          |                                                      |
|                                                                                                                                        | 16-20 inwerp-openingen enz.   | 0,13 m <sup>3</sup> /s (465 m <sup>3</sup> /h) enz.                                                                                                                                                                                                                                     |                                                      |
| opslagruimte voor vuil                                                                                                                 |                               | 0,1 m <sup>3</sup> /s (360 m <sup>3</sup> /h)                                                                                                                                                                                                                                           |                                                      |
| liftschacht gewoon                                                                                                                     |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | zie 4.2.1.5                                          |
| liftschacht voor brandweerliften                                                                                                       |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | zie NEN 1081                                         |
| liftkooi                                                                                                                               |                               | 0,001 m <sup>3</sup> /s per persoon (3,6 m <sup>3</sup> /h per persoon)                                                                                                                                                                                                                 |                                                      |
| garage                                                                                                                                 | vloeropp. ≤ 40 m <sup>2</sup> |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | zie NEN 3892 en zie NEN 3893                         |
|                                                                                                                                        | vloeropp. > 40 m <sup>2</sup> |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | zie NEN 3122                                         |
| collectieve gesloten parkeergarage                                                                                                     |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | hiervoor dient deskundig advies te worden ingewonnen |

<sup>1)</sup> Deze term heeft dezelfde betekenis als in art. 72 van de Modelbouwverordening.

<sup>2)</sup> Bij voorbeeld bejaardentehuizen, studentenflats e.d. waar in de wooneenheden een kookgelegenheid is aangebracht in de woonkamer en het niet de bedoeling is er volledige maaltijden klaar te maken.

## Voorzieningen (+) bij natuurlijke ventilatie

| ruimte                                                                                                                            | voorzieningen om aan de eisen te voldoen                                  |                                                                      |                                                                                                 |                                                                                         |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------|
|                                                                                                                                   | regelbare ventilatieopeningen in de buitengevel of in het dak             | aansluiting op verticale ventilatiekanalen met natuurlijke afzuiging | niet afsluitbare ventilatieopeningen voor zowel toe- als afvoer in de buitengevel of in het dak | niet afsluitbare ventilatieopeningen in binnendeuren, kozijnen en/of binnenwanden voor: |        |
|                                                                                                                                   |                                                                           |                                                                      |                                                                                                 | toevoer                                                                                 | afvoer |
| noodwoonkamer                                                                                                                     | +                                                                         |                                                                      |                                                                                                 |                                                                                         |        |
| overige kamers                                                                                                                    | +                                                                         |                                                                      |                                                                                                 |                                                                                         |        |
| keuken <sup>1)</sup>                                                                                                              | +                                                                         | +                                                                    |                                                                                                 |                                                                                         |        |
| badruimte                                                                                                                         |                                                                           | +                                                                    |                                                                                                 | + <sup>2)</sup>                                                                         |        |
| was- en/of droogruimte                                                                                                            |                                                                           | +                                                                    |                                                                                                 | + <sup>2)</sup>                                                                         |        |
| WC                                                                                                                                |                                                                           | +                                                                    |                                                                                                 | + <sup>2)</sup>                                                                         |        |
| hal of gang                                                                                                                       |                                                                           |                                                                      |                                                                                                 |                                                                                         |        |
| bergkast, bergruimte, bergplaats, kelder of zolder met een vloeroppervlak $\geq 1,5 \text{ m}^2$ en met een hoogte groter dan 2 m | of                                                                        |                                                                      |                                                                                                 | +                                                                                       | +      |
|                                                                                                                                   | of                                                                        |                                                                      | +                                                                                               | +                                                                                       |        |
|                                                                                                                                   | of                                                                        | +                                                                    |                                                                                                 |                                                                                         |        |
| gasmeterkast                                                                                                                      |                                                                           |                                                                      |                                                                                                 | +                                                                                       | +      |
| gemeenschappelijk trappenhuis                                                                                                     |                                                                           |                                                                      | +                                                                                               |                                                                                         |        |
| gemeenschappelijke gang                                                                                                           |                                                                           |                                                                      | +                                                                                               |                                                                                         |        |
| verzamelruimte voor huisvuil met vuilstorkoker                                                                                    | met inworpopening uitsluitend bereikbaar via de buitenlucht <sup>3)</sup> |                                                                      | +                                                                                               |                                                                                         | +      |
|                                                                                                                                   | overige gevallen                                                          | mechanische ventilatie                                               |                                                                                                 |                                                                                         |        |
| verzamelruimte voor huisvuil zonder vuilstorkoker                                                                                 | uitsluitend bereikbaar via de buitenlucht                                 |                                                                      | +                                                                                               |                                                                                         | +      |
|                                                                                                                                   | bereikbaar vanuit het woongebouw                                          | mechanische ventilatie                                               |                                                                                                 |                                                                                         |        |
| liftkooi                                                                                                                          |                                                                           |                                                                      |                                                                                                 | +                                                                                       | +      |

<sup>1)</sup> Open verbindingen van keuken met andere ruimten kunnen op de ventilatie van een woning een nadelige invloed hebben. Ofschoon de totale hoeveelheid ventilatielucht niet minder zal zijn dan bij woningen zonder open verbindingen (waarschijnlijk zelfs meer) komen verdeling en richting van de ventilatielucht hier in het geding.

Ten gevolge van een open verbinding in een woning kan bij natuurlijke ventilatie:

- de druk in de woning zodanig worden verlaagd dat het beschikbare drukverschil over de ventilatiekanalen van keuken, badruimte en WC te klein wordt om de door deze kanalen nominaal vereiste transporten te bewerkstelligen;
- bij produktie van bepaalde stoffen, verspreiding van deze stoffen door de woning optreden, hetgeen b.v. bij etensgeuren niet gewenst is.

**Opmerking**

Door alleen de keuken mechanisch af te zuigen (wasemkap e.d.) kunnen de volumestromen door de kanalen voor natuurlijke ventilatie van badruimte en WC aanzienlijk geringer worden en er kan zelfs terugstroming plaatsvinden. Bij gesloten keukens (of andere ruimten) treedt dit verschijnsel in geringere mate op dan bij open keukens. Daar het in het geval van de open keuken noodzakelijk is, vanwege de geurverspreiding, mechanisch grotere hoeveelheden lucht af te zuigen, is in de norm als eis opgenomen in dergelijke gevallen ten minste een mechanisch ventilatiesysteem toe te passen.

De plaats van de afzuigopening of het rooster moet in een ruimte waarin wordt gekookt doeltreffend ten opzichte van de kookplaats worden aangebracht.

Het aanbrengen van een dampdrempel aan het plafond, op het scheidingsvlak tussen kookruimte en de andere ruimte(n), van 300 mm is aan te bevelen omdat dit de geurverspreiding in belangrijke mate beperkt.

<sup>2)</sup> Deze openingen mogen afsluitbaar zijn tenzij in NEN 1078 andere eisen worden gesteld.

Spleten aan de onder- of bovenzijde van de binnendeur kunnen ook als toevoeropening worden beschouwd.

<sup>3)</sup> Wanneer met natuurlijke ventilatie kan worden volstaan is het uitgangspunt daarbij dat de totale oppervlakte van de kieren van de inwerpopeningen klein is ten opzichte van de oppervlakte van de doorsnede van de vuilstorkoker en van de uitmonding hiervan bovendaks.

De minimale luchtsnelheid in de kieren is hierbij te stellen op 0,5 m/s.

Tabel 2.4. Ontleend aan (14).

Bij natuurlijke afvoer (systemen a en b) dienen verticale ventilatiekanalen tenminste aanwezig te zijn, in keuken, w.c.'s en badruimten en in een eventueel afzonderlijke was- en/of droogruimte.

Als de norm van kracht is zonder nadere precisering, moet een ventilatiesysteem uit onderstaande *tabel 2.5* worden toegepast, dat tenminste in de klasse "voldoende" is ingedeeld.

| systeem | hoogte vloer van de hoogste woonlaag |                          |
|---------|--------------------------------------|--------------------------|
|         | tot 13 m boven peil                  | meer dan 13 m boven peil |
| a       | v.                                   | o.                       |
| b       | r.v.                                 | o.                       |
| c       | r.v.                                 | v.                       |
| d       | g.                                   | g.                       |

g. = goed ; r.v. = ruim voldoende; v. = voldoende; o. = onvoldoende

Tabel 2.5

Systeem a (natuurlijke ventilatie) kan bij kleine bouwhoogten (eengezinswoningen) toegepast worden, alhoewel dit systeem slechts in beperkte mate voldoet omdat de verplaatste luchthoeveelheden niet konstant zijn en dikwijls de afgevoerde lucht van de ene ruimte de toevoerlucht van de andere ruimte is.

### 2.2.2. De praktijkrichtlijn NPR 1088

In *tabel 2.4* worden de benodigde ventilatievoorzieningen bij natuurlijke ventilatie vermeld. De keuze van de plaats dient zodanig te zijn, dat geen tocht-hinder optreedt.

Regelbare ventilatie-openingen achter de verwarmingslichamen van de centrale verwarming zijn beter dan ventilatie-openingen op tenminste 1.80 m boven de vloer (*figuur 2.12*). Lager dan 1.80 m geplaatste openingen zijn ook mogelijk, maar de lichtsnelheid mag in de verblijfszone niet groter dan 0,25 m/s zijn! De netto doorlaat van de ventilatie-openingen dient  $1 \text{ m}^2$  per  $\text{m}^3/\text{s}$  volumestroom te zijn. De hierbij aangehouden lichtsnelheid is 1 m/s. De netto doorlaat is het kleinste oppervlak van de ventilatie-opening, gemeten loodrecht op de stroomrichting.

De  $\text{m}^3/\text{s}$  in *tabel 2.3* kunnen diensgevolge denkbeeldig vervangen worden door  $\text{m}^2$  netto doorlaat per  $\text{m}^2$  vloeroppervlak. Zo zullen slaapkamers groter dan  $7 \text{ m}^2$  een netto ventilatie-oppervlak, gemeten loodrecht op de stroomrichting, van  $\frac{0,001 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2} = \frac{1}{1000}$  van het vloeroppervlak moeten hebben. Bruto betekent dit, dat klepramen in slaapkamers, globaal een oppervlak van  $\frac{1}{500}$  van het vloeroppervlak dienen te hebben (*zie figuur 2.12*).

Een vrije hoogte van 2,4 m en een vereiste volumestroom van  $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$  per  $\text{m}^2$  vloeroppervlak geeft bij een gemiddelde snelheid van de inblaaslucht van  $1 \text{ m/s}$  een ventilatievoud van  $1,5 \text{ h}^{-1}$ . Om een indruk te krijgen van de ventilatie-eisen is in *tabel 2.6* voor enkele ruimten het ventilatievoud berekend.

Bij een vertrek met twee tegenover elkaar liggende gevels zal de benodigde ventilatie per gevel minimaal de helft van de voor die ruimte vereiste ventilatie moeten zijn. Hoe het benodigd ventilatie-oppervlak per vertrek en de plaats en hoogte van de uitmonding van de ventilatiekanalen volgens de NORM en NPR bepaald worden, is in *figuur 2.13* voor een ééngesinswoning uitgewerkt.

#### Ventilatie-eisen MBV

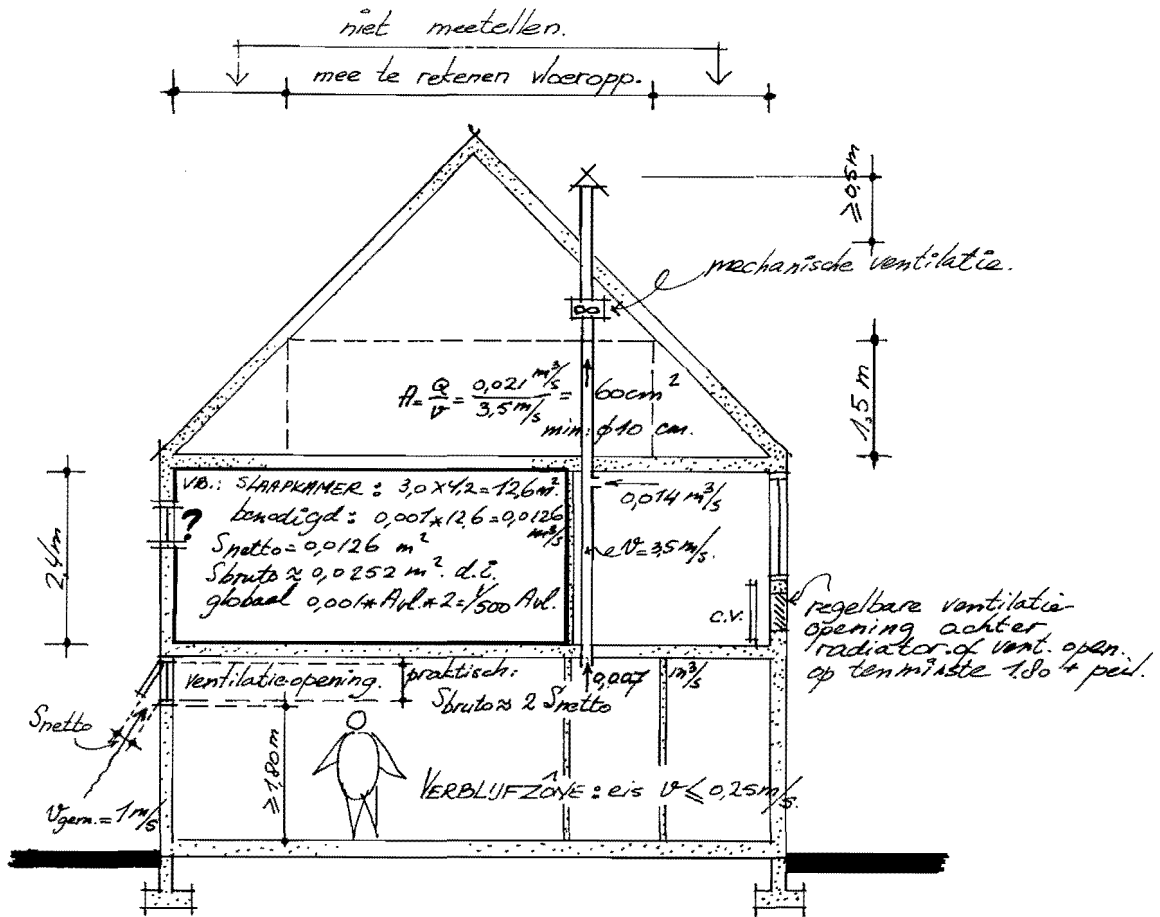
De vereiste volumestromen volgens *tabel 2.3* zijn door de MBV volledig overgenomen.

Enige aanvullende bepalingen zijn:

- Een woning moet bij geopende binnendeuren goed doorspuikbaar zijn door aan de buitenlucht grenzende deuren en beweegbare ramen. De oppervlakte van de deuren en beweegbare ramen moet tenminste  $1/20$  van de vloeroppervlakte van de betrokken kamer of keuken bedragen.
- In een badkamer en in een keuken, moet in ieder geval een ventilatiekanaal-oppervlakte van tenminste  $0,012 \text{ m}^2$  aanwezig zijn.
- In, bij tot bewoning bestemde gebouwen behorende garages met een oppervlakte van niet meer dan  $40 \text{ m}^2$ , moeten nabij de vloer niet-afsluitbare ventilatieopeningen aanwezig zijn, met een gezamenlijke oppervlakte van tenminste  $1/500$  van de vloeroppervlakte.

#### Opmerkingen

Voor de nodige ventilatie voor het normaal funktionieren van andere ruimten dan ruimten in woningen, dienen desbetreffende normen uit binnen- of buitenland te worden geraadpleegd.

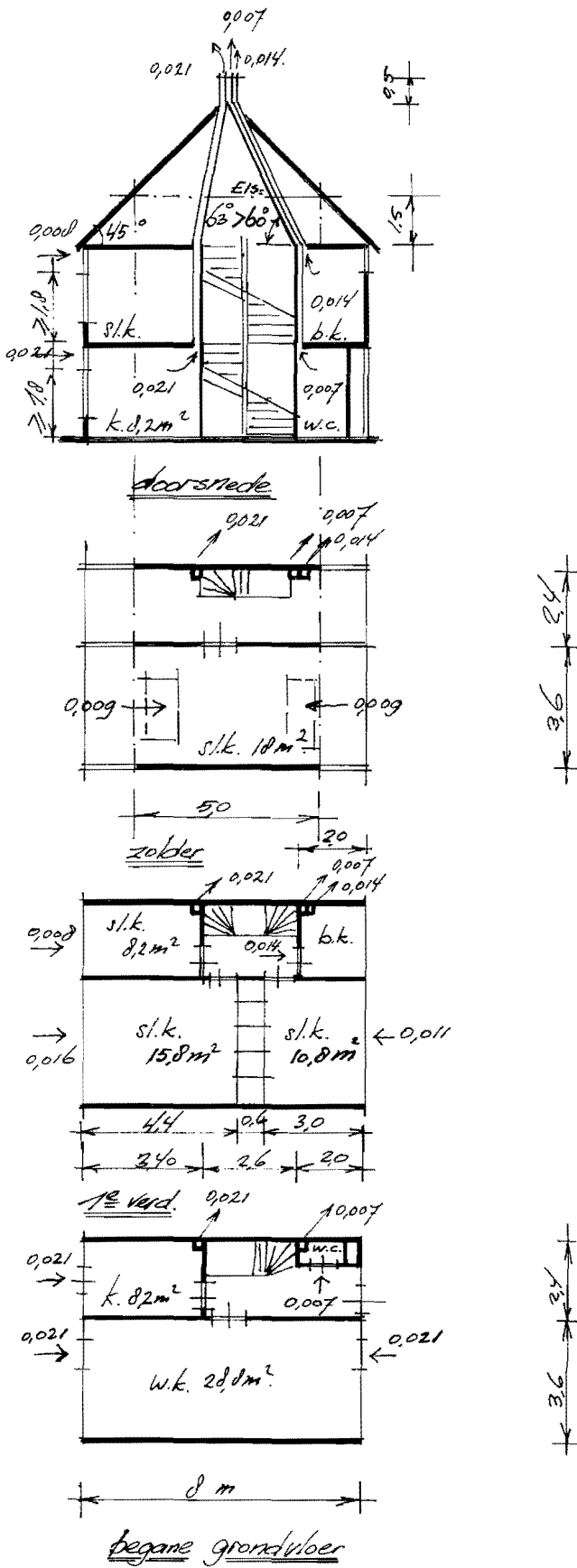


Figuur 2.12. Ventilatie-eisen NEN 1087.

| RUIMTE ↓        | VEREISTE (nV) VOLUMESTROOM                                                                | VOLUME (V)                                                    | BEREKENING n uit: $n = \frac{V}{V} = n$                               | BENODIGD NETTO VENTILATIE-OPP. ↓ *                                  |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| OVERIGE KAMERS. | $0,001 A_{\text{vloer}} \text{ m}^3/\text{s} = 3,6 A_{\text{vloer}} \text{ m}^3/\text{h}$ | $V = h \times A_{\text{vloer}} = 2,4 \times A_{\text{vloer}}$ | $\frac{3,6 A_{\text{vloer}}}{2,4 A_{\text{vloer}}} = 1,5 \text{ */h}$ | $0,001 A_{\text{vloer}} [\text{m}^2]$<br>min. $0,007 \text{ m}^2$ * |
| BADRUIMTE.      | $0,014 \text{ m}^3/\text{s} = 50 \text{ m}^3/\text{h}$                                    | bijv. $2 \times 2 \times 2,4 \text{ m}^3$                     | $\frac{50}{2 \times 2 \times 2,4} \approx 5 \text{ */h}$              | $0,014 \text{ m}^2$<br>$\approx \phi 140 \text{ mm}$ *              |
| W.C.            | $0,007 \text{ m}^3/\text{s} = 25 \text{ m}^3/\text{h}$                                    | bijv. $0,9 \times 1,35 \times 2,4$                            | $\frac{25}{0,9 \times 1,35 \times 2,4} \approx 9 \text{ */h}$         | $0,007 \text{ m}^2$<br>$\approx \phi 100 \text{ mm}$ *              |

$A = \text{vloeroppervlak}$   
 $nV = \text{vereiste volumestroom in m}^3/\text{h}$   
 $n = \text{ventilatievoud in */h}$   
 $V = \text{volume 1/h vertrek in m}^3$   
 \*  $S = \text{benodigde netto doorlaat 1/d ventilatieopeningen gebaseerd op 1m}^2 \text{ per 1m}^3/\text{s}$ . (dus  $v = 1 \text{ m/s} = \text{natuurlijke ventilatie}$ ; mech. ventilatie  $v \leq 3,5 \text{ m/s}$ )

Tabel 2.6. Omrekeningstabel van vereiste volumestroom naar ventilatievoud.



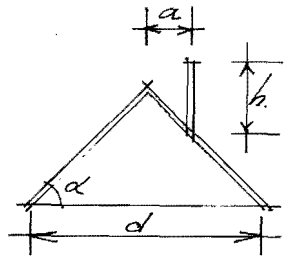
BENODIGDE m<sup>3</sup>/s

S.l.kamers : 0,007 m<sup>3</sup>/s per m<sup>2</sup> vloeroppervlak  
 min. 0,007 m<sup>3</sup>/s  
 Badkamer : 0,014 m<sup>3</sup>/s  
 W.C. : 0,007 m<sup>3</sup>/s  
 Hoofdwoonkamer : ± s.l.kamers :  
 0,018 (per zijde 0,009 m<sup>3</sup>/s)  
 0,000  
 0,016  
 0,011  
 0,053 per zijde  $\frac{0,053}{2} = 0,027$  m<sup>3</sup>/s  
 max: 0,042 per zijde = 0,021 m<sup>3</sup>/s  
 Keuken : vloeropp. < 10 m<sup>2</sup>  
 benodigt 0,021 m<sup>3</sup>/s.

Gemiddelde snelheid 1 m/s (natuurlijke vent.)

Ventilatiekanaal : 0,021 m<sup>2</sup> → φ180  
 0,007 m<sup>2</sup> → φ100 (min.)  
 0,014 m<sup>2</sup> → φ150

De kleinste afmeting v/d netto doorsnede v/d ventilatiekanaal moet min. 100 mm bedragen.



Eis:  $h \geq [0,5 + 0,16(\frac{\alpha - 23}{1})] \cdot \alpha$  (min. 0,5 m)  
 voor dakhellingen > 23°  
 dakhellingen < 23° → h = 0,5 m.  
 bij dit voorbeeld : h = 0,5 m.

→ 0,027 minimale ventilatieopeningen of kanaaldoorsnede in m<sup>2</sup>.

Figuur 2.13. VENTILATIESYSTEEM A IN EEN EENGEZINSWOONING



Te noemen zijn:

VDI 2053 "Lüftung von Garagen und Tunneln".

DIN 1946 "Lüftungstechnische Anlagen. Grundregeln".

Blatt 4. Lüftung in Krankenanstalten.

Blatt 5. Lüftung von Schulen.

NEN 3892 Brandbeveiliging van gebouwen.

Eengezinshuizen en lage woongebouwen.

(Ventilatie-eisen garages, vloeroppervlak  $\leq 40 \text{ m}^2$ ).

NEN 3893 Brandbeveiliging van gebouwen.

Hoge woongebouwen.

(Ventilatie-eisen in garages, vloeroppervlak  $\leq 40 \text{ m}^2$ ).

NEN 3122 Richtlijnen brandbeveiliging van gebouwen. Deel 3.

Richtlijnen voor garages en herstelrichtingen voor motorvoertuigen  
(vloeroppervlak  $> 40 \text{ m}^2$ ).

### 3. ZONWERING

#### 3.1. Inleiding

De luchttemperatuur in een binnenruimte is een belangrijk criterium voor de thermische behaaglijkheid.

Voor elke binnenruimte is een energiebalans op te stellen die als volgt in woorden is te formuleren:

toegevoerde energie = opgeslagen energie + afgevoerde energie.

De toegevoerde energie wordt geleverd door:

- . aanwezige warmtebronnen (zoals verwarming en lichtbronnen)
- . de door de gevel of dak binnenkomende warmte, al dan niet afkomstig van zonbestraling.

Energie-opslag vindt plaats in:

- . de binnenlucht zelf
- . de materialen van de scheidingskonstrukties van de ruimte en de daarin aanwezige voorwerpen.

Energie wordt uit de ruimte afgevoerd als gevolg van temperatuurverschillen tussen de lucht in de ruimte en de lucht aan de andere zijde van de scheidingskonstrukties van de ruimte. De energie-afvoer vindt op twee wijzen plaats:

- . door transmissie via de scheidingskonstrukties
- . door ventilatie van de ruimte.

Uit de energiebalans kan de binnenluchttemperatuur worden berekend. De binnenkomende zonnewarmte is een term uit de energiebalans en heeft als zodanig invloed op de waarde die de binnenluchttemperatuur zal krijgen.

Wanneer de warmtebehoefte groot is, hetgeen in de winter het geval zal zijn, is deze zonnewarmte een welkome bijdrage en zou dit bevorderd kunnen worden door een relatief groot raamoppervlak in de zonbeschenen gevel te kiezen.

In de zomer zal dan echter teveel zonnewarmte worden ingevangen wat tot te hoge binnenluchttemperaturen zal leiden, zodat er voorzieningen getroffen dienen te worden om de zon te weren.

Ook in goed geïsoleerde gebouwen met een grote interne warmteproductie zal zonwering toegepast moeten worden.

In het hiernavolgende zal aan de hand van een berekeningsmethode nader worden ingegaan om de mate van zonwering voor diverse zonweringsystemen te kunnen bepalen.

### 3.2. Zonweringsberekeningen

Zoals nu duidelijk zal zijn heeft een zonweringsstelsel dus tot doel de binnenkomende zonnearmte te verminderen. Zo gedefinieerd behoren zowel de speciaal voor dat doel aangebrachte voorzieningen (zoals: jaloezieën, markiezen en zonwerende glassoorten) als dak en gevelkonstrukties tot de zonweringsstelsels.

Zonweringsberekeningen zouden eigenlijk volgens een niet-stationaire methode moeten worden gedaan, omdat de zonbelasting een niet-stationair verschijnsel is. Bij genoemde berekeningsmethode wordt ook de warmte-accumulatie van het zonweringsstelsel en de massa van de binnenruimte in de beschouwing betrokken. De invloed op de binnenluchttemperatuur wordt behalve door de zonwering dus ook beïnvloed door de massa van de wanden van de beschouwde binnenruimte. Omdat deze niet-stationaire berekeningen tamelijk gecompliceerd zijn en er in veel gevallen kan worden volstaan met een stationaire berekening, zal aan het niet-stationaire karakter verder geen aandacht worden besteed. Stationaire zonweringsberekeningen hebben een groot praktisch nut voor bijvoorbeeld vergelijken van diverse zonweringsstelsels, lange termijn berekeningen, waardoor gemiddelde waarden een rol spelen, schattingsberekeningen en de bepaling van extreme waarden.

Er zijn twee soorten zonweringsstelsels te onderscheiden en wel:

- . zonweringsstelsels zoals jaloezieën, markiezen en zonwerende glassoorten.
  - . zonweringsstelsels, gebaseerd op schaduwwerking, zoals overstekken in de gevels.
- Te bedenken is dat zonweringsstelsels behalve de hoeveelheid binnenkomende zonnearmte ook de hoeveelheid binnentredend daglicht reduceren. Met dit laatste feit moet rekening worden gehouden bij de keuze van een zonweringsstelsel.

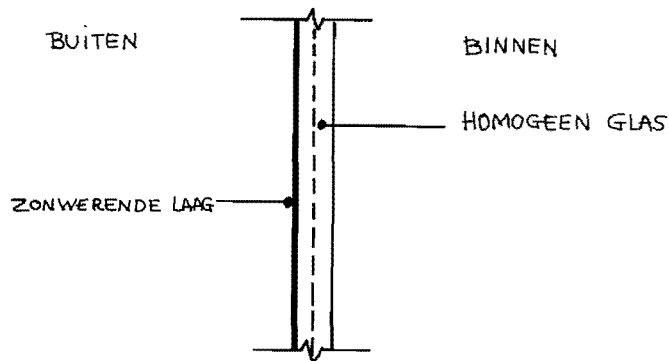
#### Berekeningsmethode van zonweringsstelsels, zoals zonwerend glas:

Deze zonweringsstelsels behoren tot de lichte konstrukties. De totale massa van de konstruktie per  $m^2$  is laag ( $< 100 \text{ kg/m}^2$ ), waardoor de warmtecapaciteit van de konstruktie eveneens laag is en een stationaire berekening is geoorloofd. Ter vereenvoudiging zullen een aantal aannamen worden gedaan, die de nauwkeurigheid van de berekening van de hoeveelheid binnenkomende zonnearmte nauwelijks beïnvloeden.

- . massa (warmtecapaciteit) van het zonweringsstelsel wordt verwaarloosd.
- . zonnearmte wordt slechts in één vlak in de doorsnede van het zonweringsstelsel

geabsorbeerd en gereflekteerd.

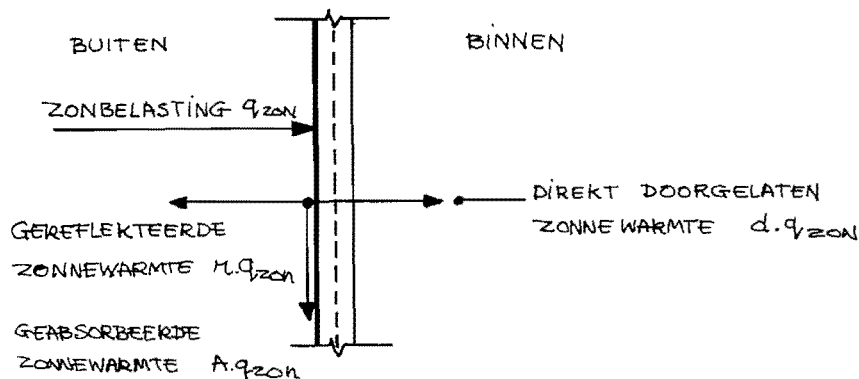
De hoeveelheid zonnewarmte per  $m^2$  vallend op een zonweringsysteem wordt de zonbelasting  $q_{\text{zon}}$  genoemd. De zonbelasting wordt gevormd door de globale zonbestraling (bestaande uit direkte- en diffuse zonnestrallen; zie paragraaf 1.1.4.). Aan de hand van de zonwerende glaskonstruktie uit *figuur 3.1* wordt de berekeningsmethode toegelicht:



Figuur 3.1. Homogeen zonwerend glas.

Het zonwerend glas wordt in dit geval gedacht te bestaan uit homogeen blank glas en een aan de buitenzijde aangebracht zonabsorberende laag.

1e. Warmtebalans, van de zogenaamde directe warmtestromen ter plaatse van de absorberende laag (zie *figuur 3.2*),



Figuur 3.2. Geabsorbeerde, gereflekteerde en direkt doorgelaten zonnewarmte.

De opvallende zonne-energie wordt verdeeld in drie warmtestromen:

$$\begin{array}{ccccccc}
 q_{\text{zon}} & = & A \cdot q_{\text{zon}} & + & d \cdot q_{\text{zon}} & + & r \cdot q_{\text{zon}} & (3.1) \\
 \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & \\
 \text{opvallende} & & \text{geabsorbeerde} & & \text{doorgelaten} & & \text{gereflekteerde} & \\
 \text{zonnearmte} & & \text{zonnearmte} & & \text{zonnearmte} & & \text{zonnearmte} & \\
 = \text{zonbelasting} & & & & = \text{direkt binnen-} & & & \\
 & & & & \text{komende zonne-} & & & \\
 & & & & \text{warmte} & & & 
 \end{array}$$

De binnenkomende warmtestroom uit de 1e energiebalans is de direkt binnenkomende zonnearmte:

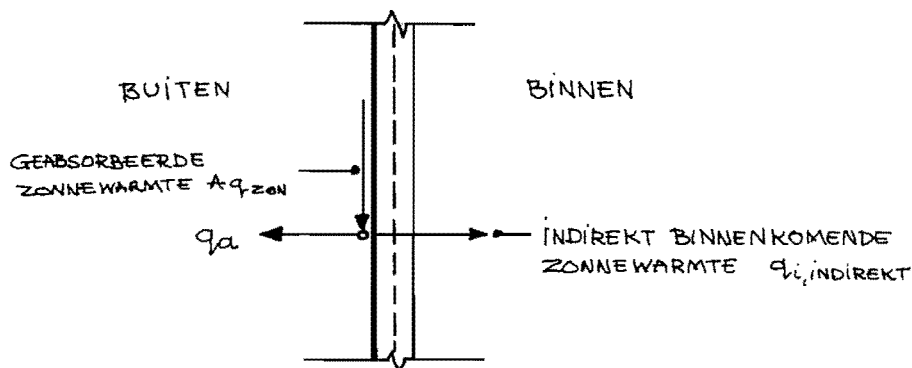
$$q_{i,\text{direkt}} = d \cdot q_{\text{zon}} \quad (3.2)$$

De geabsorbeerde zonnearmte zorgt voor een temperatuurstijging van de absorberende laag.

De temperaturen van de absorberende laag, de zonweringskonstruktie en de lucht aan weerszijden van de konstruktie worden door een tweede energiebalans bepaald, wederom opgesteld ter plaatse van de absorberende laag (zie figuur 3.3)

### 2e warmtebalans

$$\begin{array}{ccccccc}
 A q_{\text{zon}} & = & q_{a,\text{indirekt}} & + & q_{i,\text{indirekt}} & & (3.3) \\
 \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \\
 \text{geabsorbeerde} & & \text{zgn. indirekt} & & \text{zgn. indirekt} & & \\
 \text{zonnearmte} & & \text{naar buiten} & & \text{binnenkomende} & & \\
 & & \text{gaande zonne-} & & \text{zonnearmte} & & \\
 & & \text{warmte} & & & & 
 \end{array}$$



Figuur 3.3a. De indirekt binnenkomende zonnearmte  $q_{i,\text{indirekt}}$

Na uitwerking van het rechterlid gaat vergelijking (3.3) over in:

$$A \cdot q_{\text{zon}} = \frac{T_x - T_a}{R_a^*} + \frac{T_x - T_i}{R_i^*} \quad (3.4)$$

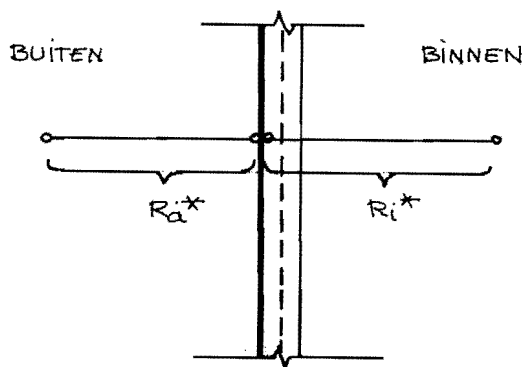
waarin:  $T_x$  = temperatuur van de absorberende laag

$T_a$  = buitenluchttemperatuur

$T_i$  = binnenluchttemperatuur

$R_a^*$  = warmteweerstand vanaf de absorberende laag tot de buitenlucht met temperatuur  $T_a$

$R_i^*$  = warmteweerstand vanaf de absorberende laag tot de binnenluchttemperatuur  $T_i$ .



Figuur 3.3b. De warmteweerstanden (gerekend vanaf de zonwerende laag) naar buiten en naar binnen.

Door omwerking van deze vergelijking kan voor de temperatuur  $T_x$  van de absorberende laag worden geschreven:

$$T_x = k(R_i^* \cdot R_a^* \cdot Aq_{\text{zon}} + R_i^* \cdot T_a + R_a^* \cdot T_i) \quad (3.5)$$

Als  $R_i^*$ ,  $R_a^*$ ,  $A$ ,  $q_{\text{zon}}$ ,  $T_a$  en  $T_i$  bekend zijn is  $T_x$  te berekenen.

De indirect binnekomende zonnearmte  $q_{i,\text{indirekt}}$  draagt ook bij tot de hoogte van de binnenluchttemperatuur. Uit de vergelijkingen is te zien dat voor  $q_{i,\text{indirekt}}$  kan worden geschreven:

$$q_{i,\text{indirekt}} = \frac{T_x - T_i}{R_i^*} \quad (3.6)$$

Substitutie van  $T_x$  uit vergelijking (3.5) in (3.6) levert:

$$q_{i,\text{indirekt}} = k(R_a^* A q_{\text{zon}} + T_a - T_i) \quad (3.7)$$

De totaal binnenkomende zonnewarmte  $q_{i,\text{totaal}}$  is:

$$q_{i,\text{totaal}} = q_{i,\text{direkt}} + q_{i,\text{indirekt}}$$

waarvoor met behulp van de vergelijkingen (3.2) en (3.7) kan worden geschreven:

$$q_{i,\text{totaal}} = d \cdot q_{\text{zon}} + k(R_a^* A q_{\text{zon}} + T_a - T_i) \quad (3.8)$$

#### Opmerkingen

1. De positieve richting van de  $q_{i,\text{totaal}}$  is gericht vanaf de absorberende laag naar de binnenruimte toe (zie figuren 3.2 en 3.3).

2. De vergelijking (3.8) voldoet ook in het geval dat er geen zonbestraling is. Door in vergelijking (3.8)  $q_{\text{zon}} = 0$  te stellen wordt weer de bekende vergelijking voor warmtetransmissie verkregen:

$$q_{i,\text{totaal}} = k(T_a - T_i)$$

3. Voor de dichte delen van de omhullende van een gebouw is natuurlijk de doorlaagcoëfficiënt  $d = 0$ , waardoor de vergelijking (3.8) met  $R_a^* = r_a$  wordt:

$$q_{i,\text{totaal}} = k(r_a A q_{\text{zon}} + T_a - T_i) = k(T_s - T_i)$$

waarin  $T_s = r_a A q_{\text{zon}} + T_a =$  Sonnenlufttemperatuur.

4. Voor het geval dat de absorberende laag niet aan de buitenzijde is aangebracht, maar bijvoorbeeld aan de binnenzijde, is  $q_{i,\text{totaal}}$  met vergelijking (3.8) eenvoudig te berekenen, door  $R_a^* = r_{\text{glas}} + r_a$  te stellen:

$$q_{i,\text{totaal}} = d \cdot q_{\text{zon}} + k[(r_{\text{glas}} + r_a) A q_{\text{zon}} + T_a - T_i]$$

### 3.3. Zontoetredingsfaktor

#### ZTA-waarde

Om zonweringsystemen, wat betreft hun zonwerende eigenschappen, met elkaar te kunnen vergelijken is de zogenaamde absolute zontoetredingsfaktor geïntroduceerd. Per definitie is deze:

$$ZTA = \frac{\text{totaal binnenkomende zonnearmte}}{\text{totaal opvallende zonnearmde}} = \frac{q_{i,\text{totaal}}}{q_{\text{zon}}} \times 100\% \quad (3.9)$$

Substitutie van  $q_{i,\text{totaal}}$  uit vergelijking (3.8) in (3.9) levert:

$$ZTA = d + kR_a^* A + k(T_a - T_i)/q_{\text{zon}} \quad (3.10)$$

De binnenluchttemperatuur  $T_i$  wordt door diverse thermische invloedsfactoren bepaald (ventilatie, transmissie, warmtebronnen, warmtecapaciteit, enz) en zal meestal niet gelijk zijn aan de buitenluchttemperatuur  $T_a$ . In de vergelijking (3.10) wordt de ZTA-waarde onder andere door  $(T_a - T_i)/q_{\text{zon}}$  bepaald. Dit betekent dat de effectiviteit van een zonweringsysteem mede afhangt van de thermische situatie waarin het systeem wordt toegepast.

Voor de vergelijking van de produkten van fabrikanten van zonweringsystemen wordt vaak uitgegaan van een situatie dat  $T_i = T_a$ , waardoor de ZTA-waarde onafhankelijk wordt van de situatie waarin het zonweringsysteem wordt toegepast.

In een dergelijke situatie gaat (3.10) over in:

$$ZTA' = (d + k \cdot R_a^* A) \cdot 100\% \quad (3.11)$$

ZTA' is dan nog slechts afhankelijk van de k-waarde en  $R_a^*$  en dus van de overgangswaarden, maar die zijn voor normale omstandigheden genormaliseerde waarden (zie NEN 1068).

#### Opmerkingen:

1. Voor onderlinge vergelijking van zonweringsystemen wordt vaak ZTA' gebruikt. Voor de berekening van de effectiviteit van een zonweringsysteem ZTA.
2. Naast de absolute zontoetredingsfactoren ZTA en ZTA' wordt ook nog de relatieve zontoetredingsfaktor gedefinieerd en wel:

$$ZTR = \frac{\text{ZTA beglazing met zonwering}}{\text{ZTA onafgeschermd beglazing}}$$



Hiermee is het mogelijk de zonnearmte, die bij een zekere beglazing en zonwering het vertrek binnenkomt, relatief te beschouwen ten opzichte van de zonnearmte die bij onafgeschermd (normaal enkel of dubbel) glas binnenkomt.

3. Uit de formules (3.10) en (3.11) is af te leiden dat de ZTA en ZTA' het kleinst zullen zijn, wanneer de absorberende laag aan de buitenzijde is gelegen:  $R_a^*$  is dan het kleinst en gelijk aan  $r_a$ .
4. De stationaire warmtebalans van een ruimte luidt in algemene vorm als volgt:

$$W_{\text{bron}} + W_{\text{zon}} = \underbrace{\Sigma k^* F^* (T_i - T_e)}_{\substack{\downarrow \\ \text{niet door zon beschenen} \\ \text{vlakken}}} + \underbrace{n\rho cV(T_i - T_a)}_{\substack{\downarrow \\ \text{ventilatieverlies}}} \quad (3.12)$$

Voor buitenscheidingskonstrukties is  $T_e = T_a =$  buitenluchttemperatuur, terwijl voor binnenscheidingskonstrukties  $T_e$  de luchttemperatuur van de aangrenzende ruimte is.

$W_{\text{bron}}$  is de som van interne bronnen zoals de warmteproductie door personen, verlichting, machines, verwarming of koeling (te beschouwen als negatieve warmteproductie) enz..

Voor  $W_{\text{zon}}$  kan geschreven worden:

$$W_{\text{zon}} = \Sigma (ZTA \cdot q_{\text{zon}} \cdot F) \quad (3.13)$$

Met (3.10) en (3.11) wordt (3.13):

$$W_{\text{zon}} = \Sigma (ZTA' \cdot q_{\text{zon}} \cdot F + kF(T_a - T_i)) \quad (3.14)$$

Substitutie van (3.13) in (3.12) levert:

$$W_{\text{bron}} + \Sigma (ZTA \cdot q_{\text{zon}} \cdot F) = \Sigma k^* F^* (T_i - T_e) + n\rho cV(T_i - T_a) \quad (3.15)$$

Hanteren we echter de zontoetredingsfaktor ZTA', die berekend is met de veronderstelling dat  $T_i = T_a$  dan geeft substitutie van (3.14) in (3.12):

$$W_{\text{bron}} + \Sigma (ZTA' \cdot q_{\text{zon}} \cdot F) = \Sigma kF(T_i - T_a) + \Sigma k^* F^* (T_i - T_e) + n\rho cV(T_i - T_a) \quad (3.16)$$

$\beta$ -waarde voor hoeveelheid convectief binnekomende hoeveelheid warmte.

Het convectieve deel van de binnekomende zonnewarmte heeft een direkte invloed op de binnenluchttemperatuur. Het stralingsaandeel van de binnekomende zonnewarmte wordt ten dele geaccumuleerd door de vloer en wanden.

Om onderscheid te kunnen maken tussen de binnekomende hoeveelheid convectieve warmte en de binnekomende hoeveelheid warmte door straling is de zogenaamde  $\beta$ -waarde ingevoerd. Deze is als volgt gedefinieerd:

$$\beta = \frac{\text{hoeveelheid binnekomende convectieve zonnewarmte}}{\text{totaal binnekomende hoeveelheid zonnestraling en -warmte}}$$

De hoeveelheid convectief binnekomende zonnewarmte is moeilijk te berekenen.

In *paragraaf 3.5* waar de zonweringssystemen worden behandeld en verder in (17) zijn voor een aantal systemen de  $\beta$ -waarden vermeld.

LTA, de absolute lichttoetredingsfaktor

De absolute lichttoetredingsfaktor LTA is het verhoudingsgetal van de lichthoeveelheid die door een zonweringssysteem binnenkomt en de hoeveelheid zonlicht die op een zonweringssysteem valt (de ooggevoeligheid is in deze lichtgevoeligheden verwerkt:

In formulevorm:

$$LTA = \frac{\int_{380}^{780} V(\lambda) \cdot D(\lambda) \cdot E(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} V(\lambda) \cdot E(\lambda) d\lambda}$$

Hierin is:

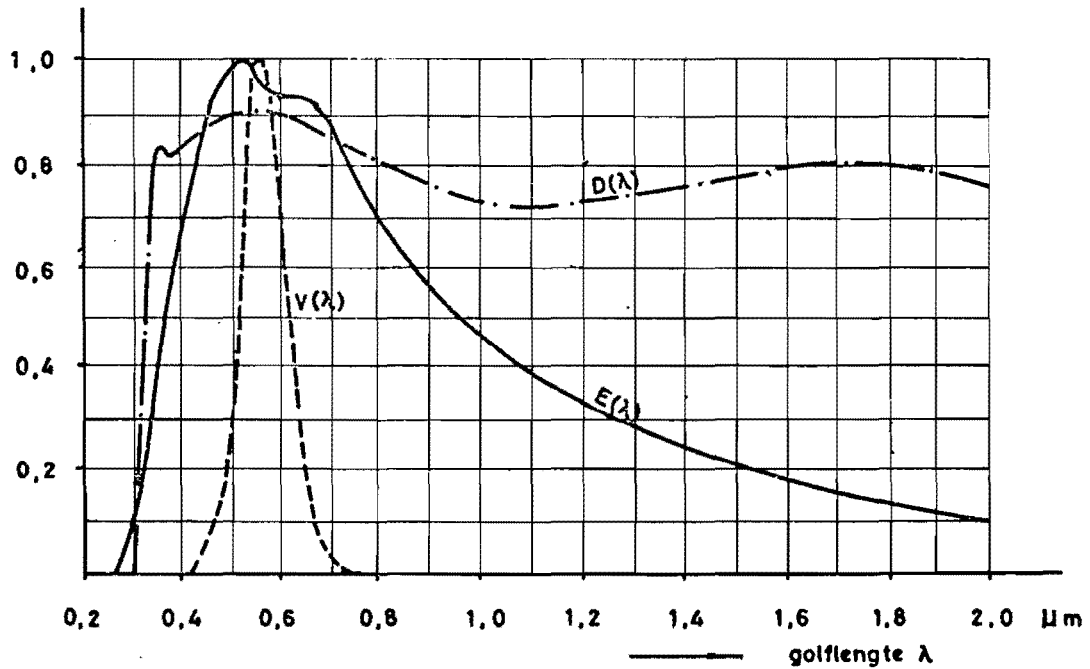
$E(\lambda)$  = spektraal verloop van de zonne-energie

$V(\lambda)$  = spektraal verloop van de ooggevoeligheid van het menselijk oog

$D(\lambda)$  = spektrale doorlatendheid van het zonweringssysteem

In *figuur 3.4* wordt een voorbeeld gegeven van het verloop van  $E(\lambda)$ ,  $V(\lambda)$  en  $D(\lambda)$ .

De LTA geeft alleen informatie over de hoeveelheid binnekomend licht. Eventuele kleurverschuivingen komen er niet in tot uiting.



Figuur 3.4. De spectrale energieverdeling van de directe zonnestraling  $E(\lambda)$ , de ooggevoeligheidskromme  $V(\lambda)$  en de spectrale doorlatendheid  $D(\lambda)$  van blank vensterglas (alle gestyleerd). (Ontleend aan (17)).

#### 3.4. Zonwering door beschadwing

Beschadwing van gevels en dak van een gebouw door omliggende bebouwing of uitkragingen aan het gebouw zelf zijn ook als een soort zonwering op te vatten. De ligging en oriëntatie van het gebouw bepalen de effectiviteit van deze vorm van zonwering.

In het algemeen geven horizontale uitkragingen, zoals balkons, veel schaduw bij hoge zonnestanden. Terwijl verticale uitkragingen meestal juist bij lage zonnestanden effectief zijn.

Uitkragingen kunnen, naast de bovengenoemde zonwering, verschillende functies hebben. Ze kunnen dienen voor onderhoud en schoonmaak van de gevel, als vluchtweg bij brand en als balkon. In de architectuur wordt de beschadwing door uitkragingen vaak gebruikt om het aanzien van het gebouw te verhogen en levendiger te maken.

Berekening van beschaduwing

De schaduwwerking van uitkragingen op een gevelvlak kan worden berekend, uitgaande van de volgende gegevens:

- De afmetingen en positie (horizontaal of vertikaal) van de uitkraging ten opzichte van het gevelvlak.
- De oriëntatie  $\xi$  van het gevelvlak. Onder de oriëntatie van een gevelvlak wordt verstaan de richting van de normaal op het vlak naar buiten toe gericht ten opzichte van het Zuiden (bijvoorbeeld Oostgevel met  $\xi = + 90^{\circ}$  of Zuid-Westgevel met  $\xi = - 45^{\circ}$ ).
- De zonnestand op een bepaald tijdstip, gekenmerkt door de zonhoogte  $h$  en het azimuth  $a$ .

Voor het schaduwpunt B in *figuur 3.5* van een horizontale en een verticale uitkraging kan worden afgeleid:

$$x = b \operatorname{tg}(a - \xi) \text{ en} \quad (3.17)$$

$$y = b \operatorname{tg}(h / \cos(a - \xi)) \quad (3.18)$$

$b$  = de breedte van de uitkragingen

$\xi$  = de oriëntatie van het gevelvlak

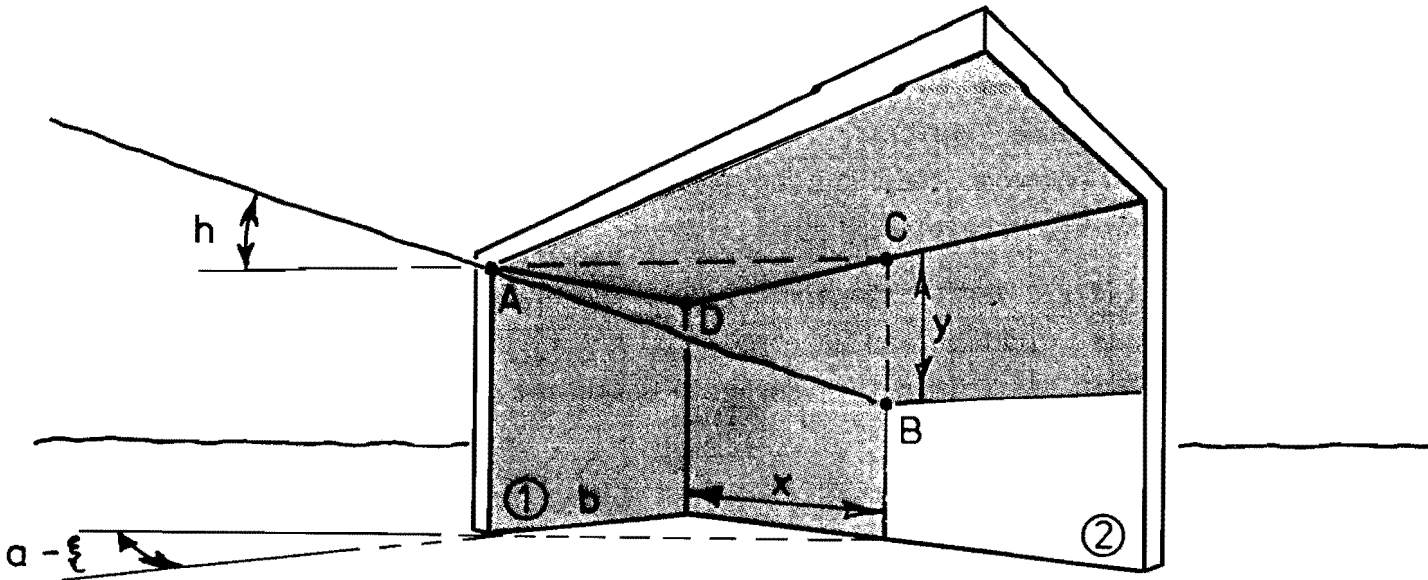
$h$  = de zonhoogte

$a$  = het azimuth

$a - \xi$  = de horizontale positie van de zon ten opzichte van het gevelvlak.

Vanuit het punt B kunnen de schaduwvlakken worden getekend.

Een handig hulpmiddel voor de berekening van de formules (3.17) en (3.18) is *figuur 3.6*.



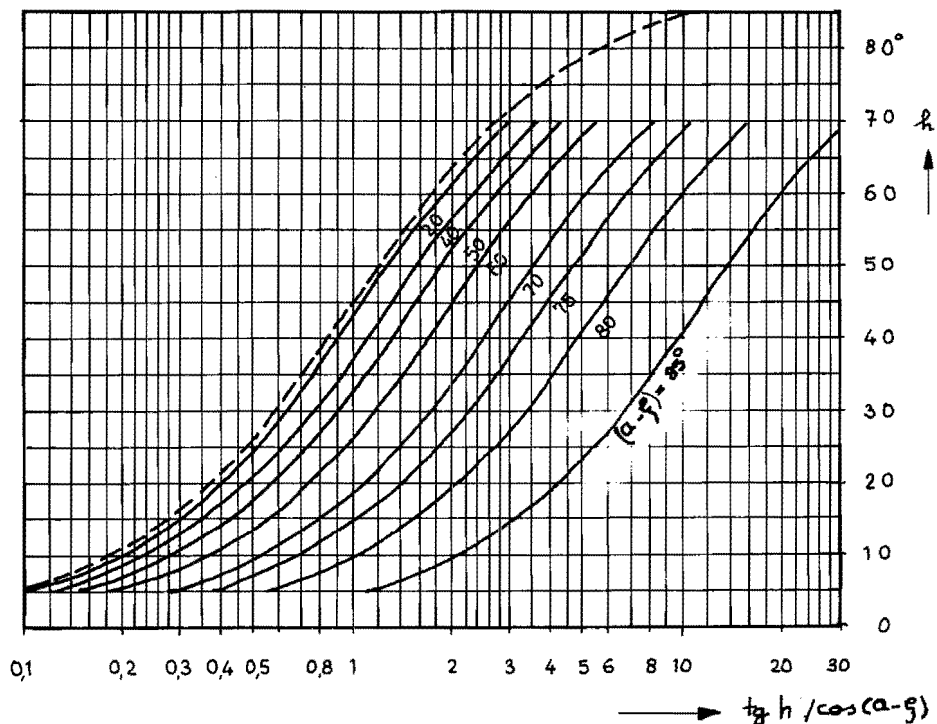
De verticale vlakken 1 en 2  
staan loodrecht op elkaar

Schaduw van een horizontale en verticale uitkraging.

$$\angle (a - \xi) = \angle DAC \rightarrow \text{tg}(a - \xi) = \frac{\overline{DC}}{\overline{AD}} = \frac{x}{b} \rightarrow \underline{x = b \cdot \text{tg}(a - \xi)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \angle (h) = \angle CAB \rightarrow \text{tg } h = \frac{\overline{BC}}{\overline{AC}} = \frac{y}{\overline{AC}} \\ \angle (a - \xi) = \angle DAC \rightarrow \cos(a - \xi) = \frac{\overline{AD}}{\overline{AC}} = \frac{b}{\overline{AC}} \end{array} \right\} \rightarrow y = b \cdot \text{tg } h / \cos(a - \xi)$$

Figuur 3.5.



Figuur 3.6. Hulpmiddel voor een snelle bepaling van het schaduwpunt.

### 3.5. Zonweringsystemen

Er bestaan vele zonweringsystemen. In deze paragraaf zullen de meest gangbare systemen worden behandeld. Voor meer informatie wordt verwezen naar (17) en brochures van fabrikanten.

Bij de behandeling van de zonweringsystemen komen de volgende facetten aan de orde:

1. "De verstelbaarheid en regelbaarheid" van het zonweringsstelsel. Zo mogelijk wordt dan ook aangegeven voor welke zonnestand (ten opzichte van het gevelvlak) de zonwering effectief toepasbaar is.
2. "De bouwkundige en inbouwmaatregelen", die genomen moeten worden ten behoeve van het zonweringsstelsel aan de gevel.
3. "De mechanische kwetsbaarheid" van het zonweringsstelsel: windkrachten moeten in elk geval opgenomen kunnen worden en rekening moet worden gehouden met mogelijkheden voor onderhoud en schoonmaak van de gevel. Het zonweringsstelsel kan daarbij hinder veroorzaken, waardoor de kans op beschadiging ervan ontstaat.
4. "De warmtewering" van het zonweringsstelsel. Hierbij zullen verschillende uitvoeringsvormen van het betreffende zonweringsstelsel worden genoemd. Zo mogelijk worden in deze rubriek ZTA'-waarden vermeld. De ZTA'-waarden van een aantal zonweringsystemen zijn echter sterk uitvoeringsgebonden, waardoor vermelding van de ZTA'-waarde een onbegonnen zaak is; in dergelijke gevallen zullen slechts waarden worden vermeld.
5. "De daglichttoetreding" via het zonweringsstelsel.  
De beïnvloeding van de kwaliteit van het daglicht door het zonweringsstelsel komt hier aan de orde. De hoeveelheid binnenkomend zonlicht - aangegeven door de LTA-waarde - is vaak gekoppeld aan de ZTA'-waarde. Om deze reden wordt de LTA-waarde vermeld bij de ZTA'-waarde in de vorige rubriek.

De zonweringsystemen, die achtereenvolgens aan de orde zullen komen zijn:

- jaloezieën of lamellen
- rolschermen, uitvalschermen en markiezen
- gordijnen
- schermen, louvres, uitkragingen
- blank glas: enkel- en dubbelglas
- zonabsorberend glas en zonreflekterend glas

- zonreflekterende folie
- bijzondere zonweringsystemen.

### Jaloezieën of lamellen

Lamellen worden horizontaal aangebracht of vertikaal (*zie figuur 3.7*).

De horizontale lamellen worden het meest toegepast.

De verticale lamellen zijn nuttig bij gevels, waarbij de zonbelasting afkomstig is van de zon met een lage zonnestand: afscherming van zonnewarmte met een mogelijkheid - door gedeeltelijk geopende lamellen - van daglichttoetreding en behoud van enig uitzicht.

#### 1. Verstelbaarheid en regelbaarheid:

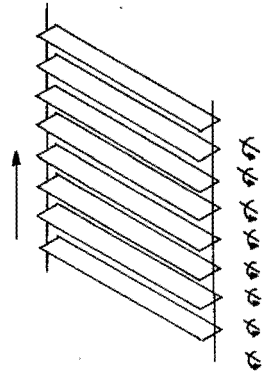
- . De stand van de lamellen is instelbaar van vrijwel geheel vrij doorzicht tot volledig gesloten toestand.
- . De lamellen kunnen - in geval van horizontale lamellen - in het geheel omhoog worden geschoven tot één pakket.  
Vertikale lamellen kunnen opzij worden geschoven.
- . De stand van de lamellen en het wegschuiven kan via handbediening geschieden of met behulp van electromotoren.  
In het laatste geval kan de bediening op afstand gebeuren, eventueel automatisch met voelers, die de zonbelasting en/of de windsnelheid aftasten; centrale regeling van de lamellen behoort tot de mogelijkheden.

#### 2. Bouwkundige en inbouwmaatregelen:

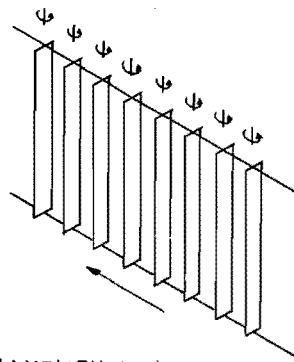
- . Geleide draden of stangen nodig voor geleiding en fixatie van de lamellen in een bepaalde stand.
- . Omkasting om geheel weggeschoven lamellen op te bergen ter bescherming tegen weersinvloeden en om esthetische redenen.
- . Draaistangen of treklinten nodig voor (hand-)bediening.
- . Doorvoerruimte en afdichting voor de bediening van buitenzonwering.
- . Inbouwruimte voor electromotoren.
- . Bij buitenzonwering met naar buiten draaibare ramen: zorgen voor ruimte tussen de lamellen en het gevelvlak.

#### 3. Mechanische kwetsbaarheid:

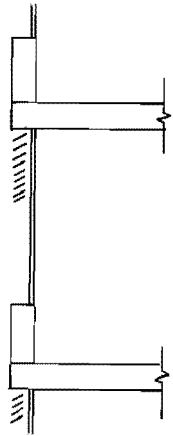
- . De lamellen knikken door bij hoge windsnelheden.
- . De geleidedraden- en stangen moeten de windkrachten kunnen opvangen.



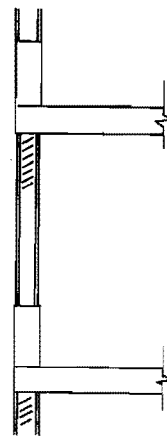
HORIZONTALE LAMELLEN VERTIKAAL OPTREKBAAR



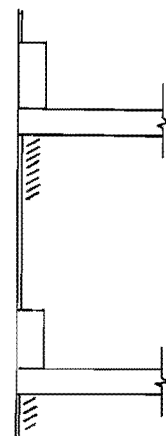
VERTIKALE LAMELLEN HORIZONTAAL VERSCHUIFBAAR



BUITEN JALOEZIËN



TUSSEN JALOEZIËN






BINNEN JALOEZIËN

Figuur 3.7



**Tabel 1.** De zontoetredingsfactor ZTA, de convectiefactor B en de lichttoetredingsfactor LTA van *enkel blank glas* voorzien van *binnenjaloeziën* respectievelijk *buitenjaloeziën*, en van *opafgeschermd blank glas*.  
 Invalsrichting directe zonnestraling  $\varphi = 0^\circ$  en  $45^\circ$ . Lamelstand  $\gamma = 10^\circ, 45^\circ$  en  $80^\circ$ . Absorptiefactor (kleur) van de lamellen 0,3 (gebroken wit) en 0,7 (donkergrijs). Glasdikte 6 mm. Binnentemperatuur = buitentemperatuur = constant.

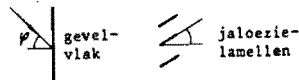
| Combinatie                                                                                                          | invalshoek directe zonnestraling $\varphi$ | lamelstand $\gamma$ | abs.factor lamellen | ventilatie tussen glas en jaloezie <sup>2)</sup> | zontoetreding      |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------------------|--------------------|------|------|
|                                                                                                                     |                                            |                     |                     |                                                  | ZTA                | B    | LTA  |
| buiten  binnen                     | 0                                          | -                   | -                   | ---                                              | 0,82 <sup>3)</sup> | 0,01 | 0,88 |
|                                                                                                                     | 45                                         | -                   | -                   | ---                                              | 0,80 <sup>4)</sup> | 0,01 | 0,84 |
| ventilatie naar:<br>buiten  binnen | 0                                          | 10                  | 0,3                 | geen                                             | 0,67               | 0,08 | 0,62 |
|                                                                                                                     | 0                                          | 45                  | 0,3                 | n.binnen, vrij sterk                             | 0,55               | 0,44 | 0,27 |
|                                                                                                                     | 0                                          | 45                  | 0,3                 | n.binnen, matig                                  | 0,53               | 0,36 | 0,27 |
|                                                                                                                     | 0                                          | 45                  | 0,7                 | geen                                             | 0,53               | 0,35 | 0,18 |
|                                                                                                                     | 45                                         | 45                  | 0,3                 | n.binnen, vrij sterk                             | 0,46               | 0,56 | 0,15 |
|                                                                                                                     | 45                                         | 45                  | 0,7                 | geen                                             | 0,47               | 0,43 | 0,08 |
|                                                                                                                     | 0                                          | 45                  | 0,3                 | geen                                             | 0,46               | 0,23 | 0,27 |
|                                                                                                                     | 45                                         | 45                  | 0,3                 | n.binnen, matig                                  | 0,44               | 0,46 | 0,15 |
|                                                                                                                     | 45                                         | 10                  | 0,3                 | geen                                             | 0,44               | 0,28 | 0,22 |
|                                                                                                                     | 0                                          | 45                  | 0,3                 | n.buiten, matig                                  | 0,41               | 0,21 | 0,27 |
|                                                                                                                     | 0                                          | 45                  | 0,3                 | n.buiten, vrij sterk                             | 0,41               | 0,24 | 0,27 |
|                                                                                                                     | 45                                         | 45                  | 0,3                 | geen                                             | 0,36               | 0,30 | 0,15 |
|                                                                                                                     | 0                                          | 80                  | 0,3                 | geen                                             | 0,32               | 0,33 | 0,12 |
|                                                                                                                     | 45                                         | 80                  | 0,3                 | geen                                             | 0,30               | 0,34 | 0,11 |
|                                                                                                                     | 45                                         | 45                  | 0,3                 | n.buiten, matig                                  | 0,31               | 0,29 | 0,15 |
|                                                                                                                     | 45                                         | 45                  | 0,3                 | n.buiten, vrij sterk                             | 0,30               | 0,33 | 0,15 |
| buiten  binnen                   | 0                                          | 10                  | 0,3                 | n. buiten, matig                                 | 0,60               | 0,02 | 0,60 |
|                                                                                                                     | 0                                          | 45                  | 0,3                 | n. buiten, matig                                 | 0,27               | 0,04 | 0,25 |
|                                                                                                                     | 0                                          | 45                  | 0,3                 | n. buiten, sterk                                 | 0,25               | 0,02 | 0,25 |
|                                                                                                                     | 45                                         | 10                  | 0,3                 | n. buiten, matig                                 | 0,23               | 0,05 | 0,21 |
|                                                                                                                     | 0                                          | 45                  | 0,7                 | n. buiten, matig                                 | 0,21               | 0,08 | 0,16 |
|                                                                                                                     | 45                                         | 45                  | 0,3                 | n. buiten, matig                                 | 0,16               | 0,07 | 0,13 |
|                                                                                                                     | 45                                         | 45                  | 0,3                 | n. buiten, sterk                                 | 0,14               | 0,04 | 0,13 |
|                                                                                                                     | 45                                         | 45                  | 0,7                 | n. buiten, matig                                 | 0,12               | 0,07 | 0,07 |
|                                                                                                                     | 0                                          | 80                  | 0,3                 | n. buiten, matig                                 | 0,11               | 0,08 | 0,09 |
|                                                                                                                     | 45                                         | 80                  | 0,3                 | n. buiten, matig                                 | 0,10               | 0,08 | 0,08 |

<sup>2)</sup> Gebaseerd op de volgende luchthoeveelheden gerekend per m<sup>2</sup> glasoppervlak en 1 m gevellengte:

zwak : 0,05 m<sup>3</sup>/s  
 matig : 0,075 - 0,10 m<sup>3</sup>/s  
 vrij sterk : 0,30 m<sup>3</sup>/s  
 sterk : 0,80 m<sup>3</sup>/s

opvallende  
zonnestraling

<sup>3)</sup> Verduidelijking van de hoeken  $\varphi$  en  $\gamma$ :


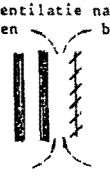




<sup>3)</sup> Voor straling samengesteld uit: 72% directe zonnestraling ( $\varphi = 0^\circ$ ), 18% diffuse hemelstraling en 10% gereflecteerde grondstraling.

<sup>4)</sup> Voor straling samengesteld uit: 72% directe zonnestraling ( $\varphi = 45^\circ$ ), 18% diffuse hemelstraling en 10% gereflecteerde grondstraling.

Tabel 3.1. Ontleend aan (17).

Tabel 2. De zontoetredingsfactor ZTA, de convectiefactor  $\beta$  en de lichttoetredingsfactor LTA van *dubbel blank glas* voorzien van *binnenjaloezieën*, *tussenjaloezieën* respectievelijk *buitenjaloezieën*, en van *onafgeschermd dubbel blank glas*. Invalsrichting directe zonnestraling  $\theta^{(1)} = 0$  en  $45^\circ$ . Lamelstand  $\gamma^{(1)} = 10, 45$  en  $80^\circ$ . Absorptiefactor (kleur) van de lamellen 0,3 (gebroken wit) en 0,7 (donkergrijs). Glasdikte 6 mm. Binnentemperatuur = buitentemperatuur = constant.

| Combinatie                                                                                                          | invalshoek directe zonnestraling $\theta$ | lamelstand $\gamma$ | absorptiefactor lamellen | ventilatie tussen glas en jaloezieën $z^{(1)}$ | zontoetreding      |         |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------------------------|--------------------|---------|------|
|                                                                                                                     |                                           |                     |                          |                                                | ZTA                | $\beta$ | LTA  |
| buiten  binnen                     | 0                                         | -                   | -                        | - - -                                          | 0,72 <sup>3)</sup> | 0,02    | 0,78 |
|                                                                                                                     | 45                                        | -                   | -                        | - - -                                          | 0,70 <sup>4)</sup> | 0,04    | 0,74 |
| ventilatie naar:<br>buiten  binnen | 0                                         | 10                  | 0,3                      | geen                                           | 0,61               | 0,12    | 0,50 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 45                  | 0,7                      | - - -                                          | 0,56               | 0,38    | 0,14 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 45                  | 0,3                      | n. binnen, vrij sterk                          | 0,54               | 0,52    | 0,23 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 45                  | 0,3                      | n. binnen, matig                               | 0,53               | 0,47    | 0,23 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 45                  | 0,7                      | geen                                           | 0,50               | 0,45    | 0,06 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 45                  | 0,3                      | geen                                           | 0,48               | 0,26    | 0,73 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 45                  | 0,3                      | n. binnen, vrij sterk                          | 0,47               | 0,62    | 0,13 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 10                  | 0,3                      | geen                                           | 0,46               | 0,32    | 0,17 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 45                  | 0,3                      | n. binnen, matig                               | 0,46               | 0,57    | 0,13 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 45                  | 0,3                      | geen                                           | 0,41               | 0,35    | 0,13 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 80                  | 0,3                      | geen                                           | 0,38               | 0,37    | 0,11 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 45                  | 0,3                      | n. buiten, matig                               | 0,38               | 0,24    | 0,23 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 45                  | 0,3                      | n. buiten, matig                               | 0,37               | 0,23    | 0,23 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 45                  | 0,3                      | n. buiten, vrij sterk                          | 0,37               | 0,25    | 0,13 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 45                  | 0,3                      | n. buiten, vrij sterk                          | 0,36               | 0,26    | 0,23 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 80                  | 0,3                      | geen                                           | 0,36               | 0,36    | 0,10 |
| ventilatie naar<br>buiten        | 0                                         | 10                  | 0,3                      | geen                                           | 0,56               | 0,06    | 0,49 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 45                  | 0,7                      | geen                                           | 0,36               | 0,19    | 0,13 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 45                  | 0,3                      | geen                                           | 0,35               | 0,12    | 0,22 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 10                  | 0,3                      | geen                                           | 0,33               | 0,15    | 0,17 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 45                  | 0,7                      | geen                                           | 0,30               | 0,24    | 0,06 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 45                  | 0,3                      | n. buiten, zwak                                | 0,26               | 0,07    | 0,22 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 45                  | 0,3                      | geen                                           | 0,26               | 0,17    | 0,12 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 80                  | 0,3                      | geen                                           | 0,23               | 0,17    | 0,10 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 45                  | 0,3                      | n. buiten, sterk                               | 0,23               | 0,04    | 0,22 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 80                  | 0,3                      | geen                                           | 0,21               | 0,18    | 0,09 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 45                  | 0,3                      | n. buiten, zwak                                | 0,16               | 0,09    | 0,12 |
| 45                                                                                                                  | 45                                        | 0,3                 | n. buiten, sterk         | 0,13                                           | 0,04               | 0,12    |      |
| buiten  binnen                   | 0                                         | 10                  | 0,3                      | n. buiten, matig                               | 0,54               | 0,37    | 0,51 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 45                  | 0,3                      | geen                                           | 0,27               | 0,07    | 0,22 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 45                  | 0,3                      | n. buiten, matig                               | 0,24               | 0,05    | 0,22 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 45                  | 0,3                      | n. buiten, sterk                               | 0,22               | 0,04    | 0,21 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 10                  | 0,3                      | n. buiten, matig                               | 0,20               | 0,05    | 0,17 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 45                  | 0,3                      | geen                                           | 0,16               | 0,11    | 0,11 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 45                  | 0,7                      | n. buiten, matig                               | 0,15               | 0,08    | 0,12 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 45                  | 0,3                      | n. buiten, matig                               | 0,13               | 0,07    | 0,12 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 45                  | 0,3                      | n. buiten, sterk                               | 0,12               | 0,05    | 0,11 |
|                                                                                                                     | 0                                         | 80                  | 0,3                      | n. buiten, matig                               | 0,09               | 0,06    | 0,08 |
|                                                                                                                     | 45                                        | 45                  | 0,7                      | n. buiten, matig                               | 0,08               | 0,11    | 0,04 |
| 45                                                                                                                  | 80                                        | 0,3                 | n. buiten, matig         | 0,08                                           | 0,07               | 0,07    |      |

<sup>2)</sup> Gebaseerd op de volgende luchthoeveelheden } zwak : 0,05 m<sup>3</sup>/s  
 gerekend per m<sup>2</sup> glasoppervlak en 1 m gevallengte: } matig : 0,075 - 0,1 m<sup>3</sup>/s  
 } vrij sterk : 0,3 m<sup>3</sup>/s  
 } sterk : 0,8 m<sup>3</sup>/s

0,075 - 0,10 m<sup>3</sup>/s betekent: vrije convectie bij gesloten ramen  
 0,30 m<sup>3</sup>/s betekent: inductie-apparaat onder de binnenlamellen.  
 0,80 m<sup>3</sup>/s betekent: mechanische ventilatie

Vervolg tabel 3.1. Ontleend aan (17).

- . Voor schoonmaak en onderhoud van de gevel moeten de geleidingen van de lamellen tevens ruimte vrijlaten.
- . De lamellen zijn moeilijk te reinigen.

#### 4. ZTA-waarde:

- . De ZTA-waarde van lamellen-zonwering is afhankelijk van:
  1. plaats van het vlak van de lamellen:
    - a. buitenzonwering
    - b. tussenlamellen (gelegen in de spouw van dubbelglas)
    - c. binnenzonwering.
  2. LTA-waarde:
    - geen lichtkleurverschuiving van direkt binnenkomend daglicht.

Voor numerieke waarden *zie tabel 3.1*. Ontleend aan (17).

#### Rolschermen, uitvalschermen, markiezen. (*zie figuur 3.8*).

Rolschermen kunnen aan beide zijden van het glas worden aangebracht.

Uitvalschermen en markiezen alleen aan de buitenzijde.

Bij markiezen en uitvalschermen blijft het uitzicht door het raam horizontaal en naar beneden behouden.

Bij lage zonnestanden zijn deze zonweringsystemen weinig effectief, doordat de zon onder de zonwering doorstraalt.

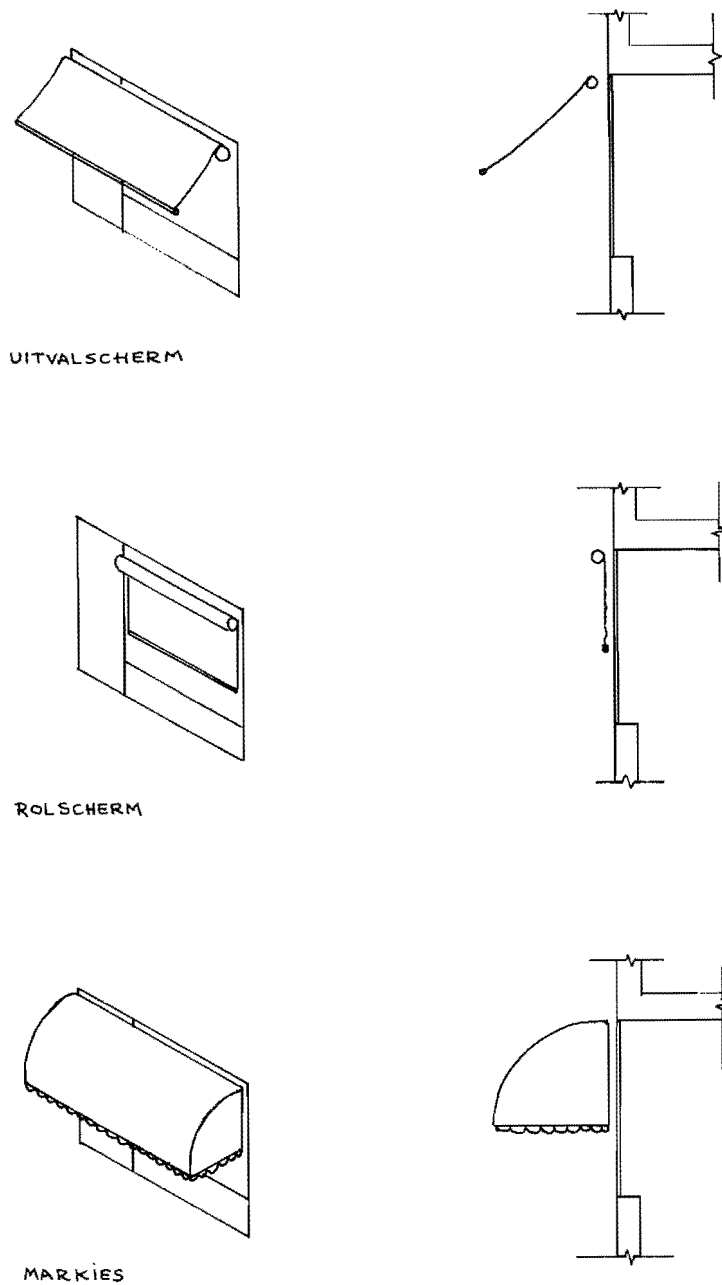
Tegenwoordig is het doekmateriaal verbeterd: fiberglasweefsels, die kleurecht, waterdicht en vuilafstotend zijn.

#### 1. Verstelbaarheid en regelbaarheid:

- . Geen onafhankelijke regeling van zonwering en daglichttoetreding mogelijk.
- . Regelbaarheid door neerlaten van het systeem.
- . Bij uitvalschermen ook nog te regelen door de mate van uitval.

#### 2. Bouwkundige inbouw maatregelen:

- . Geleidingsrails aan weerszijden van het doek bij uitvalschermen en rolschermen.
- . Draaiarmen voor uitvalschermen en markiezen.
- . Omkastingen voor het doek in opgerolde toestand, ter bescherming tegen weersinvloeden.
- . Doorvoerruimte en afdichting voor de bediening van buitenzonwering.
- . Eventuele inbouwruimte voor electromotoren van elektrisch bediende zonwering.



Figuur 3.8.

### 3. Mechanische kwetsbaarheid:

- . Bij uitvalschermen en markiezen kan de wind onder het zonweringsysteem komen, waardoor grote windkrachten op het systeem kunnen optreden: doek, armen en bevestigingen aan de gevel moeten de krachten kunnen verwerken.
- . In opgeklapte of opgerolde toestand leveren deze systemen weinig hinder bij schoonmaak en onderhoud van de gevel.

### 4. ZTA'-waarde:

- . Vooral bij de rolschermen is de ZTA'-waarde afhankelijk van de kleur en

dichtheid van het weefsel van het doek.

- . Natuurlijk is de hoeveelheid binnenkomende zonnewarmte sterk afhankelijk van de mate van afscherming door het systeem: met andere woorden van hoever de zonwering is neergelaten.
- . Voor het afgeschermd deel van het glas gelden de volgende globale waarden:

|                | ZTA'                 |                                                                                          |
|----------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| rolschermen    | 0,10<br>0,15<br>0,30 | goed reflekerend doek, gemiddelde omstandigheden, slecht reflekerend en doorlatend doek. |
| uitvalschermen | 0,15 à 0,25          | afhankelijk van de windsnelheid op het scherm                                            |
| markiezen      | 0,12                 |                                                                                          |

#### 5. LTA-waarde:

- . De kleur van het doek veroorzaakt een kleurverschuiving van het binnenkomende daglicht.
- . Het via het doek binnenkomende daglicht is diffuus.

#### Gordijnen

Oorspronkelijk zijn gordijnen bedoeld om inkijk te verhinderen. Daarnaast kunnen ze een decoratieve functie hebben. Tegenwoordig worden ze ook nog gebruikt om de transmissie door raamvlakken te beperken.

Dichtgeschoven gordijnen weren de zonnewarmte enigszins.

#### 1. Verstelbaarheid en regelbaarheid:

- . Geen onafhankelijke regeling van zonwering en lichtregeling mogelijk.
- . Regelbaar door zijwaarts schuiven van de gordijnen.

#### 2. Bouwkundige inbouwmaatregelen:

- . Rails om de gordijnen aan op te hangen.
- . Voor het gemak van de bevestiging van de rails kunnen zogenaamde gordijnplanken in het plafond worden ingebouwd.

#### 3. Mechanische kwetsbaarheid:

- . Geen

## 4. ZTA-waarde:

- . Doordat de gordijnen aan de binnenzijde van het glas worden aangebracht zijn geen lage ZTA-waarden te bereiken.
- . De ZTA-waarde is afhankelijk van de dichtheid van het weefsel en de kleur (zie tabel 3.2.).

| type gordijnstof | aan de binnenzijde van enkelglas ( $\varphi = 45^\circ$ ) |         |      |         | kwaliteit        | aan de binnenzijde van enkelglas ( $\varphi = 90^\circ$ ) |         |      |         |      |
|------------------|-----------------------------------------------------------|---------|------|---------|------------------|-----------------------------------------------------------|---------|------|---------|------|
|                  | ZTA                                                       | $\beta$ | LTA  | LTA/ZTA |                  | ZTA                                                       | $\beta$ | LTA  | LTA/ZTA |      |
| open wit         | 0,44                                                      | 0,04    | 0,42 | 0,95    | transpa-<br>rant | 0,54                                                      | 0,07    | 0,38 | 0,70    |      |
| gesloten wit     | 0,33                                                      | 0,12    | 0,18 | 0,53    |                  | half-<br>transpa-<br>rant                                 | 0,35    | 0,13 | 0,20    | 0,57 |
| open donker      | 0,57                                                      | 0,11    | 0,32 | 0,56    |                  | niet-<br>transpa-<br>rant                                 | 0,24    | 0,25 | 0,05    | 0,21 |
| gesloten donker  | 0,48                                                      | 0,24    | 0,05 | 0,10    |                  |                                                           |         |      |         |      |

Natex, glasweefsel gordijn.

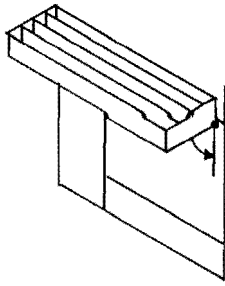
Verosol gordijn (aluminium laag aan buitenzijde).

Tabel 3.2. Ontleend aan (17).

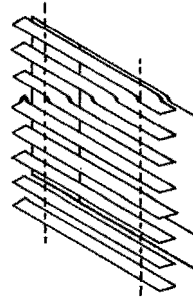
### Schotten, schermen, louvres en overstekken

Schotten en schermen zijn plaatvormige elementen, die horizontaal of vertikaal en loodrecht op of evenwijdig aan het gevelvlak worden bevestigd (zie figuur 3.9 en 3.10).

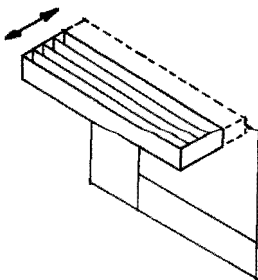
Louvres zijn schermen, die opgebouwd zijn uit lamellen, die in een frame zitten; de bevestigingsmogelijkheden zijn gelijk aan die van de schotten en schermen. Overstekken zijn plaatvormige uitsteeksels uit het vlak van de gevel, die een onderdeel vormen of horen bij de draagconstructie van het gebouw. De positie van de platen is horizontaal of vertikaal loodrecht op het vlak van de gevel.



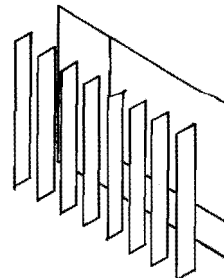
HORIZONTAAL LOUVRE VAST OF DRAAIBAAR



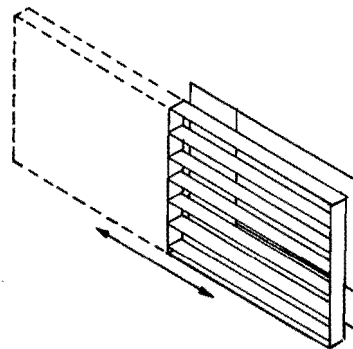
VERTIKAAL VAST LOUVRE LAMELLEN SOMS DRAAIBAAR



HORIZONTAAL VERSCHUIFBAAR LOUVRE



VERTIKAAL VAST LOUVRE LAMELLEN SOMS DRAAIBAAR



VERTIKAAL VERSCHUIFBAAR LOUVRE

Figuur 3.9.

Andere dan zonwerende functies van dit soort systemen zijn: scheppen van privacy en windafscherming.

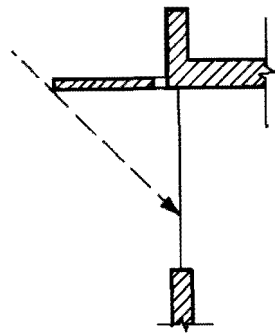
1. Verstelbaarheid en regelbaarheid:

. In enkele gevallen zijn schotten en louveres beweegbaar (*zie figuur 3.9 en 3.10*).

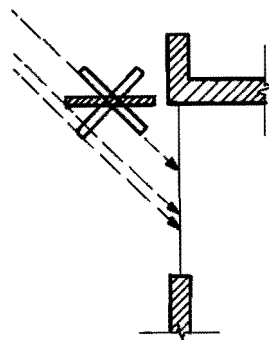
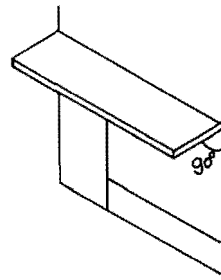
2. Bouwkundige en inbouwmaatregelen:

. Schotten, schermen en louveres moeten dusdanig worden bevestigd, dat windkrachten kunnen worden opgenomen.

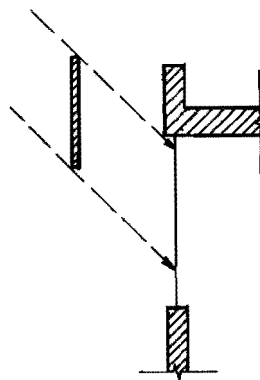
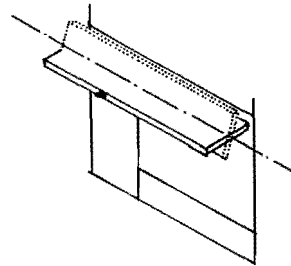
De horizontale overstekken moeten beloopbaar zijn; ze worden zo mogelijk als brandvluchtweg gebruikt.



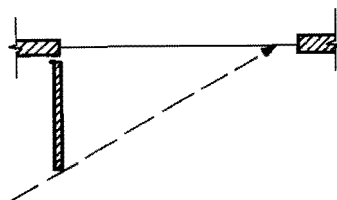
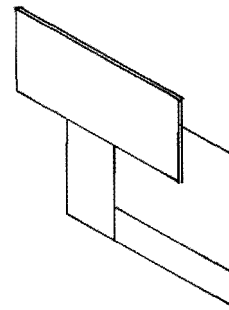
HORIZONTALE OVERSTEK



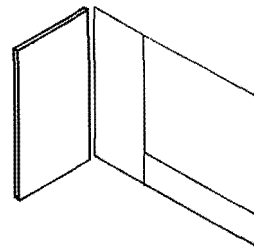
DRAAIBAAR HORIZONTALE SCHERM



VERTIKAAL SCHERM EVENWYDIG AAN DE GEVEL



VERTIKAAL SCHERM LOODRECHT OP DE GEVEL



Figuur 3.10



- . Spleten (+ 200 mm) tussen gevel en horizontale schermen en overstekken ter voorkoming van opeenhoping van warme lucht eronder.

### 3. Mechanische kwetsbaarheid:

- . Deze zonweringsystemen kunnen schoonmaak en onderhoud van de gevel hinderen (plaatsen van ladders tegen de gevel).
- . Windkrachten bij de maximale windsnelheid moeten kunnen worden opgevangen.

### 4. ZTA-waarde:

- . Deze systemen baseren hun zonwerende eigenschappen op schaduwwerking.
- . Afhankelijk van de positie van het vlak van het zonweringsstelsel ten opzichte van het gevelvlak moet de ZTA-waarde berekend worden (*zie paragraaf 3.4*).
- . Systeemvlak vertikaal  $\perp$  op gevelvlak : effectief bij laagstaande zon
- . Systeemvlak vertikaal // aan gevelvlak : effectief bij hoge zonnestand
- . Systeemvlak horizontaal  $\perp$  op gevelvlak : effectief bij hoge zonnestand

### 5. LTA-waarde:

- . Door deze systemen vermindert de daglichttoetreding.
- . Lichtdoorlatende, diffuse plaatmaterialen of draaibare lamellen bij louvres of geheel draaibare systemen worden weleens toegepast ten behoeve van de daglichttoetreding.
- . Bij ondoorzichtige materiaaltoepassing treedt geen lichtkleurverschuiving op.

### Normaal blank glas

Ook normaal blank glas heeft enigszins een zonwerende werking indien dit wordt toegepast in de vorm van enkelglas, dubbelglas of driedubbelglas.

Tegenwoordig wordt van enkel glas overgegaan op dubbelglas in verband met energiebeperking. Driedubbelglas is voor toepassing nu nog vaak te kostbaar.

Glas laat veel zonnewarmte door. Indien zonnestralen een gevel treffen, die voorzien is van enkel blank glas vindt het volgende plaats:

- een deel van de straling die het glas treft wordt aan het oppervlak gereflekteerd: ca. 10% (afhankelijk van de hoek van inval);
- een gedeelte wordt geabsorbeerd in het glas: ca. 5 % (afhankelijk van de glas-soort), hierdoor wordt het glas dus warmer;
- de rest van de straling: ca. 85% komt door het glas naar binnen. Er wordt in de lucht geen straling geabsorbeerd, dus alles treft vloer en wanden.

In de vloer wordt een gedeelte geabsorbeerd, er zal ook een zekere mate van reflectie optreden die in het algemeen een diffuus karakter bezit.

Van deze reflectie bereikt een klein gedeelte weer het glas, wordt doorgelaten en verdwijnt naar buiten.

Het glas stijgt verder in temperatuur en er zal in de zomer sekundaire warmteafgifte naar binnen plaatsvinden.

De in de vloer en/of de aangestraalde wanden geabsorbeerde warmte doet deze in temperatuur stijgen (*zie figuur 3.11*).

Een principieel verschil tussen de straling van de zon en van de binnenvlakken van het vertrek komt tot uiting in het grote verschil in golflengten en temperatuur.

$T_{\text{zon}} = \text{ca. } 6000 \text{ K}$  en  $T_{\text{vloer}} = \text{ca. } 300 \text{ K}$  (*zie figuur 3.12*).

Een deel van de totaal door de zon afgegeven energie bevindt zich in het zichtbare gedeelte van het zonnespektrum; de top van de door de vloer afgegeven straling bevindt zich in het ver infrarode gebied. Deze warmtestralen worden door het glas voor het grootste gedeelte geabsorbeerd.

Bij diepe vertrekken verdwijnt minder gereflekteerde energie naar buiten dan bij ondiepe vertrekken, men noemt dit wel de fuikwerking.

Ter voorkoming van te hoog oplopende binnenluchttemperaturen in de zomer kunnen de volgende maatregelen worden genomen:

- . toepassing van kleine glasvlakken (relatief ten opzichte van het volume van de binnenruimte)
- . toepassing van zorgvuldig gekozen zonweringsysteem
- . zorgen voor goede ventilatie (te openen ramen en/of mechanische ventilatie)
- . toepassing van airconditioning (alleen toepassen indien dit onvermijdelijk is, dus eerst de eerder genoemde maatregelen zo goed mogelijk benutten).

#### 1. Verstelbaarheid en regelbaarheid:

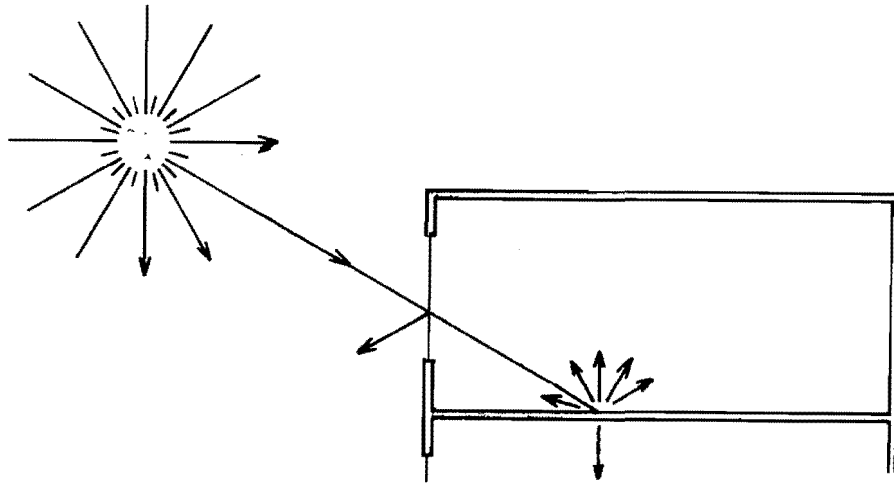
- . Wat zonwerende eigenschappen betreft bestaat er geen verstelbaarheid en regelbaarheid.

#### 2. Bouwkundige en inbouwmaatregelen:

- . Algemeen bekende raamkonstrukties.

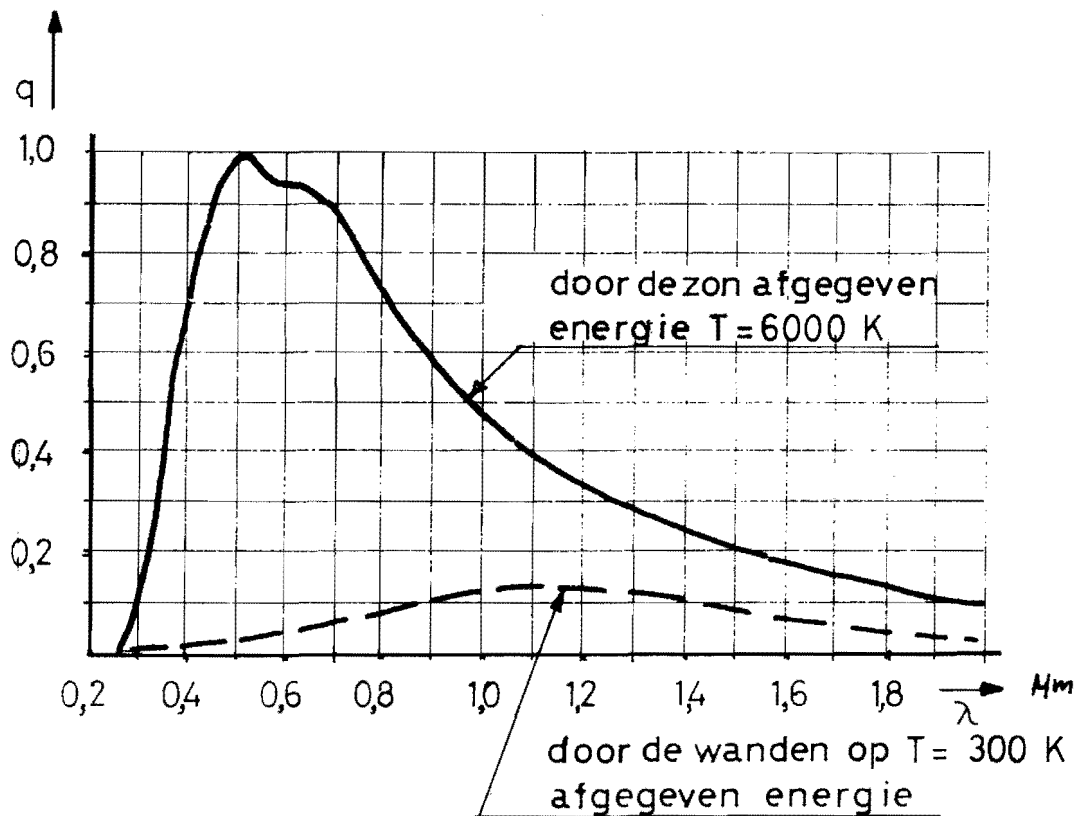
#### 3. Mechanische kwetsbaarheid:

- . Algemeen bekend.



Figuur 3.11

Fuikwerking ten gevolge van zonstraling door glas in een vertrek.



Figuur 3.12

Energiespektrum van directe zonnestraling en gereflekteerde straling van de vloer.

## 4. ZTA-waarde:

Absorptie speelt vrijwel geen rol.

Reflektie en doorlating zijn sterk afhankelijk van de hoek van inval van de zonnestrallen op het glasvlak.

Bij scherpe invalshoeken ( $\phi = 70 \text{ à } 90$ ) loopt de reflectiecoëfficiënt sterk op - en dus de doorlaatcoëfficiënt af -; onder deze omstandigheden is de ZTA-waarde laag.

|                        | ZTA' (voor gemiddelde omstandigheden) |
|------------------------|---------------------------------------|
| enkel glas 6 mm        | 0,80                                  |
| dubbelglas 6 mm - 6 mm | 0,70                                  |

## 5. LTA-waarde:

|            | LTA  |
|------------|------|
| enkel glas | 0,85 |
| dubbelglas | 0,75 |

Zonwerend glas

Zonwerend glas kan worden onderscheiden in:

- . zonabsorberend glas en
- . zonreflekterend glas

Zonabsorberend glas bestaat uit:

- . homogeen gekleurd glas, dat sterker absorbeert dan normaal blank glas,
- . of uit: blank glas, voorzien van een absorberende oppervlaktelaag.

In absorberend glas wordt een groter percentage zonnestraling geabsorbeerd dan in normaal vensterglas. De hoeveelheid gereflecteerde straling is in beide gevallen gelijk, maar wel afhankelijk van de hoek van inval. Voor invalshoeken tot  $50^{\circ}$  is de reflectie gering en weinig afhankelijk van de invalshoek.

Door het grotere absorberende aandeel ontstaat een reductie van de direct doorgelaten energie.

De geabsorbeerde hoeveelheid energie zal de ruittemperatuur doen stijgen, waardoor er in de vorm van straling en convectie weer warmte zal worden afgegeven naar binnen en naar buiten.

Bij sterke wind is ook de  $\alpha_a$  groot en zal het gedeelte van de warmte dat naar buiten wordt afgevoerd veel groter zijn dan het deel dat naar binnen komt.

Absorberend glas kan dus met succes worden toegepast op de hogere verdiepingen

van een flatgebouw. In gevels die grenzen aan een binnenplaats zoals patio's is het effect veel minder groot.

Zonreflekterend glas bestaat uit:

- . homogeen blank glas of gekleurd absorberend glas voorzien van een reflekterende oppervlaktelaag, die ervoor zorgt dat een groot gedeelte van de opvallende straling wordt gereflecteerd.

Voor reflecterende beglazingen van ongekleurd glas is de hoekafhankelijkheid van de reflectiefactor in eerste instantie te verwaarlozen.

Alleen bij invalshoeken  $> 60^{\circ}$  loopt de reflectie snel op tot volledige reflectie.

Het absorberend vermogen wordt verkregen door metaaloxiden toe te voegen aan de glassmelt.

Reflekterende laagjes worden gemaakt door toevoeging van metalen of metaaloxiden. De stralingseigenschappen van de laagjes kunnen zorgen voor een verlaging van de k-waarde.

#### 1. Verstelbaarheid en regelbaarheid:

Geen

#### 2. Bouwkundige en inbouwmaatregelen:

- . Absorberend glas moet uitzettingsmogelijkheden hebben in de raamkozijnen. Bij zonbestraling kan de temperatuur van het glas hoog oplopen.

#### 3. Mechanische kwetsbaarheid:

- . Absorberend glas is gehard glas ter voorkoming van breuk door hoge temperatuurspanningen.  
Gehard glas is niet te snijden en moet dan ook op maat worden vervaardigd.
- . Sommige coatings zijn gevoelig voor mechanische beschadiging.

#### 4. ZTA-waarde:

De zonwerende eigenschappen zijn afhankelijk van de toegevoegde metalen of metaaloxiden, de hoeveelheid daarvan en bij homogeen glas van de dikte van het glas.

De ZTA-waarde is sterk afhankelijk van het vervaardigingsprocédé en de gebruikte materialen. (zie (17)).

### 5. LTA-waarde:

Afhankelijk van welke metalen of metaaloxiden worden toegevoegd, van de concentratie ervan en bij homogeen gekleurd glas ook van de dikte van het glas worden de LTA-waarde en de kleur van het glas bepaald (zie (17)).

### Zonreflekerende folie

Zonreflekerende folie bestaat uit een polyester folie met aan de ene zijde een opgedampte aluminiumlaag en aan de andere zijde een kleeflaag.

Met de kleeflaag wordt het folie aan de binnenzijde tegen het glas bevestigd.

Dit is een mogelijkheid om achteraf blank glas van een zonwerende laag te voorzien.

Het materiaal is niet krasvast.

In (17) zijn ZTA'-waarden opgenomen bij toepassing van reflekerende folie aangebracht op enkel- en dubbelglas (type Scotchtint).

### Bijzondere zonweringsystemen

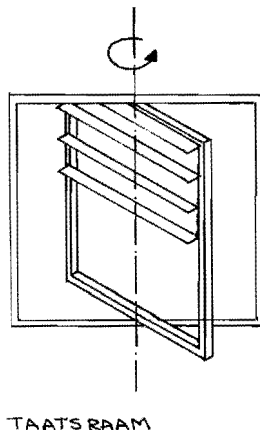
- . Taatsramen
- . Screens
- . Fototropisch glas.

Dit zijn minder vaak voorkomende zonweringsystemen. Ze worden hier slechts in het kort behandeld.

### Taatsramen: (zie figuur 3.13)

Taatsramen zijn ramen, die  $180^{\circ}$  om een verticale as draaibaar zijn. Lamellen zijn aan één zijde van het glas aan te brengen. Door de draaimogelijkheid is hier sprake van zowel binnen- als buitenzonwering. De ZTA-waarde is dus aanpasbaar. De beide zijden van het glasvlak zijn bereikbaar, dit betekent een gemak voor de reiniging van de glasvlakken.

De ZTA-waarde is afhankelijk van de uitvoering van de lamellen.



Figuur 3.13

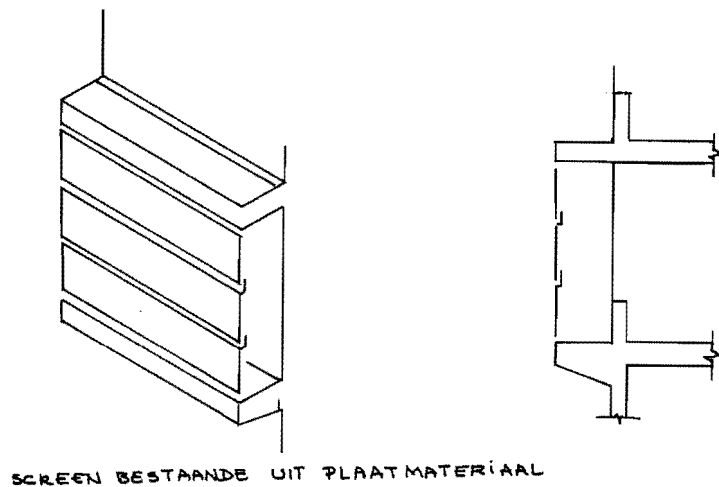
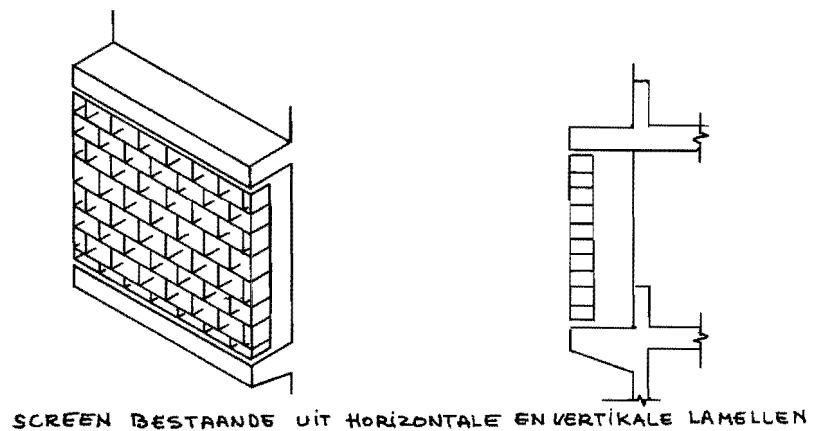
Screens: (zie figuur 3.14)

Screens zijn zonweringsystemen, die op enige afstand van het gevelvlak zijn geplaatst en die het gehele gevelvlak beslaan. Ze kunnen uit verschillende materialen bestaan:

- . gecombineerde horizontale en verticale lamellen.
- . doorzicht plaatmateriaal.
- . glazen bouwstenen.

Deze zonweringsystemen zijn vaste systemen: niet instelbaar.

In warme landen worden ze veel toegepast. Door stevig materiaal toe te passen fungeren deze zonweringsystemen als inbraakpreventie.



Figuur 3.14

### Fototropisch glas

Bij deze glassoorten is de doorlating en absorptie afhankelijk van de zonbelasting, als gevolg van een omkeerbaar fotochemische omzetting.

Bij toenemende zonbelasting neemt de doorlating af.

## 4. VOCHTTRANSPORT

### 4.1. Dampdiffusieweerstand

Tot nog toe zijn alleen problemen behandeld waarin het gaat om de vraag, of er al dan niet oppervlaktecondensatie op een willekeurige constructie zal plaatshebben bij gegeven binnen- en buitencondities.

Op het gevaar van *inwendige condensatie* in constructies (vooral bij geklimatiseerde ruimten) t.g.v. damptransport door de constructie zal nu verder worden ingegaan.

Waterdamp verplaatst zich in bouwmaterialen o.a. onder invloed van dampdruk- (of concentratie-)verschillen. De damp diffundeert van plaatsen met hoge dampdruk naar plaatsen met lagere dampdruk. Aangezien binnenshuis de dampdruk vrijwel steeds hoger is dan buiten, zal de normale richting van damptransport van binnen naar buiten zijn.

Brengt men een "dampdichte laag" aan op de binnenzijde van een steens-buitenmuur, dan kan de damp van binnenuit moeilijk de muur binnendringen. In de muur zal hierdoor een dampdruk optreden ongeveer gelijk aan die van de koude droge buitenlucht. Deze dampdruk geeft in de "warme" buitenmuur geen aanleiding tot condensatie. Brengt men echter de dampdichte laag buiten op de muur aan, dan is in de hele muur tot aan de dampdichte laag de dampdruk ongeveer gelijk aan de dampdruk binnen. Doordat de temperatuur over de constructie van binnen naar buiten daalt, bestaat er grote kans dat de binnendampdruk groter is dan de maximale dampdruk behorende bij de temperatuur van de koude steen. Met andere woorden, doordat de dampdichte laag tegen de koude zijde zit, kan het dauwpunt bereikt worden, waardoor de muur nat wordt.

Daar elk materiaal remmend werkt op het dampdiffusieproces, is men gekomen tot de invoering van het begrip *dampdiffusieweerstand* (of kortweg dampweerstand) van een laag, als maat voor de weerstand van die laag tegen het transport van waterdamp.

Op identieke wijze als bij het warmtetransport kan bij het vochttransport met vrucht gebruik gemaakt worden van de analogie met de Wet van Ohm:

$i = \frac{v}{R}$  ofwel: stroom = drijvende kracht : weerstand.

Als zich een stationaire toestand heeft ingesteld, kan de dampdiffusie door een materiaallaag beschreven worden door de betrekking:

$$g = \frac{\Delta p}{R_d} \quad (4.1)$$



waarin:

$g$  = waterdampstroomdichtheid in  $\text{kg/m}^2\text{s}$

$\Delta p$  = dampdrukverschil in  $\text{N/m}^2$

$R_d$  = dampdiffusieweerstand in  $\text{m/s}$  (onder invloed van een dampdrukverschil)

In plaats van met een dampdrukverschil, kan men ook nu weer werken met een concentratieverschil. In dat geval wordt het damptransport beschreven door:

$$g = \frac{\Delta c}{Z} \quad (4.2)$$

waarin:

$g$  = waterdampstroomdichtheid in  $\text{kg/m}^2\text{s}$

$\Delta c$  = waterdampconcentratieverschil in  $\text{kg/m}^3$

$Z$  = dampdiffusieweerstand in  $\text{s/m}$  (onder invloed van een concentratieverschil)

Om de dampdiffusieweerstand voor een materiaallaag te kunnen berekenen, is het nog nodig een voor elk materiaal karakteristieke grootte in te voeren en wel het *dampdiffusieweerstandsgetal*  $\mu$ , een dimensieloze grootte.

Dit dampdiffusieweerstandsgetal is gedefinieerd als:

$$\mu = \frac{\text{dampdiffusieweerstand van een materiaal met dikte } d}{\text{dampdiffusieweerstand van een luchtlaag met dezelfde dikte}}$$

Uit de formules (4.1) en (4.2) volgt dat deze  $\mu$ -waarde ook gelijk is aan de omgekeerde van de verhouding tussen de hoeveelheid waterdamp die door een laag van het betreffende materiaal diffundeert en de hoeveelheid damp die zou diffunderen door een luchtlaag van dezelfde dikte onder dezelfde omstandigheden. Omdat alle bouwmaterialen een grotere weerstand tegen vochttransport hebben dan lucht, zal dus in de praktijk altijd  $\mu > 1$  zijn.

Enkele globale numerieke waarden voor de grootte van  $\mu$  zijn:

| <u>materiaal</u>                       | <u><math>\mu</math></u> |
|----------------------------------------|-------------------------|
| minerale wol                           | 1-2                     |
| baksteenmetselwerk (rood)              | 9                       |
| beton ( $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$ ) | 33                      |

| <u>materiaal</u>         | <u><math>\mu</math></u> |
|--------------------------|-------------------------|
| gipskartonplaten         | 13                      |
| dakleer                  | 10.000                  |
| polyetheenfolie (0,1 mm) | 65.000                  |
| polyetheenfolie (0,3 mm) | 34.000                  |
| aluminiumfolie           | 100.000                 |

Voor andere materialen wordt verwezen naar (1).

Behalve met het dampdiffusieweerstandsgetal  $\mu$  is de dampdiffusieweerstand ook evenredig met de dikte  $d$  in meters. Immers, een tweemaal zo dik materiaal levert ook een tweemaal grotere weerstand. De evenredigheidsfactor is niet dimensieloos en de numerieke waarde ervan hangt af van de aard van de drijvende kracht (drukverschil of concentratieverschil).

#### Afleiding formules dampdiffusieweerstand

Uit de *Wet van Fick* volgt dat de waterdampstroomdichtheid ten gevolge van diffusie in een materiaal in stationaire toestand bepaald wordt door de volgende relatie:

$$g = - D_{w,m} \left( \frac{dc}{dx} \right) \quad (4.3)$$

waarin:

- $g$  = waterdampstroomdichtheid in  $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$
- $D_{w,m}$  = waterdampdiffusiecoëfficiënt voor het materiaal in  $\text{m}^2/\text{s}$
- $c$  = concentratie in  $\text{kg}/\text{m}^3$
- $x$  = afstand loodrecht op het materiaal in m
- $\frac{dc}{dx}$  = concentratiegradiënt ter plaatse; de concentratieverandering per strekkende meter

In de stationaire toestand is  $g$  overal en altijd even groot. Is het materiaal homogeen, dan zal ook  $D_{w,m}$  overal en altijd even groot zijn. Als  $g$  en  $D$  onafhankelijk van  $x$  en  $t$  zijn, zal op grond van formule (4.3) ook  $\frac{\partial c}{\partial x}$  overal en altijd even groot zijn, d.w.z. het concentratieverloop zal lineair zijn en niet veranderen in de tijd.

Dan geldt echter ook voor een materiaal met dikte  $d$ :

$$g = - D_{w,m} \frac{c_2 - c_1}{d} = D_{w,m} \cdot \frac{c_1 - c_2}{d} = D_{w,m} \frac{\Delta c}{d} \quad (4.4)$$

waarin  $\Delta c$  het concentratieverschil in  $\text{kg/m}^3$  over het materiaal is .  
 Uit (4.2) en (4.4) volgt dan):

$$Z = \frac{d}{D_{w,m}} = \frac{d}{\frac{D_{w,l}}{\mu}} = \frac{\mu d}{D_{w,l}}$$

Hierbij is gebruik gemaakt van het feit dat  $D_{w,m} = \frac{D_{w,l}}{\mu}$ , waarin  $D_{w,l}$  = waterdampdiffusiecoëfficiënt voor lucht in  $\text{m}^2/\text{s}$ . Immers:  $\mu$  geeft aan hoeveel maal moeilijker diffusie plaatsvindt in een materiaal, vergeleken met dampdiffusie in lucht.

De diffusiecoëfficiënt van waterdamp in lucht ( $D_{w,l}$ ) hangt af van de luchtdruk en de temperatuur. Bij normale druk en in het voor de bouw wereld interessante temperatuurgebied maakt men geen grote fout indien men met de volgende constante waarde voor  $D_{w,l}$  rekent:  $D_{w,l} = 23 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .  
 Substitutie hiervan in de formule voor  $Z$  levert dan:

$$Z = 4,35 \cdot 10^4 \mu d \text{ [s/m]} \quad (4.5)$$

Voor het geval dat men met dampdrukverschillen werkt, verkrijgt men door substitutie van  $c = p/BT$  in (4.3):

$$g = - \frac{D_{w,m}}{B \cdot T} \left( \frac{dp}{dx} \right) = \frac{D_{w,m}}{B \cdot T} \frac{\Delta p}{d} = \frac{\Delta p}{R_d}$$

zodat:

$$R_d = \frac{B T d}{D_{w,m}} = \frac{B T}{D_{w,l}} \mu d$$

Substitutie van de waarden voor  $B$  en  $D_{w,l}$  levert voor temperaturen van  $-10^\circ\text{C}$  tot  $+20^\circ\text{C}$  een gemiddelde waarde op van:

$$R_d = 5,3 \cdot 10^9 \mu d \text{ [m/s]} \quad (4.6)$$

De verkregen formules worden met de bijbehorende dimensies nog eens weergegeven in *TABEL 4.1*.

| formule                    | d i m e n s i e s       |                  |              | formule voor de weerstand                   | eenhedenstelsel |
|----------------------------|-------------------------|------------------|--------------|---------------------------------------------|-----------------|
|                            | vochtstroom             | drijvende kracht | weerstand    |                                             |                 |
| $g = \frac{\Delta p}{R_d}$ | $\text{kg/m}^2\text{s}$ | $\text{N/m}^2$   | $\text{m/s}$ | $R_d = 5,3 \times 10^9 \times \mu \times d$ | SI              |
| $g = \frac{\Delta c}{Z}$   | $\text{kg/m}^2\text{s}$ | $\text{kg/m}^3$  | $\text{s/m}$ | $Z = 4,35 \times 10^4 \times \mu \times d$  | SI              |

TABEL 4.1.

Voorbeeld 4.1.

We berekenen de dampdiffusieweerstand van de volgende materialen:

$$200 \text{ mm beton, } \mu = 33 : R_d = 5,3 \times 10^9 \times 6,6 \text{ SI}$$

$$0,1 \text{ mm polyetheen, } \mu = 65000 : R_d = 5,3 \times 10^9 \times 6,5 \text{ SI}$$

$$0,3 \text{ mm polyetheen, } \mu = 34000 : R_d = 5,3 \times 10^9 \times 10,2 \text{ SI}$$

Hieruit volgt dat 0,1 mm polyetheen even weinig doorlaat als 20 cm beton. De waarde van  $\mu$  alleen zegt dus nog niets, wèl is het produkt van  $\mu \times d$  bepalend voor het damptransport.

Hoewel de  $\mu$ -waarde van 0,1 mm polyetheen groter is dan die van 0,3 mm polyetheen, is toch de vochtweerstand  $R_d$  van 0,3 mm hoger dan die van 0,1 mm.

Als vuistregel kan worden aangehouden dat voor een goede dampremmende laag moet gelden:  $\mu \times d \geq 20$ .

Voorbeeld 4.2.

Gegeven: Een steensmuur met dampdiffusieweerstandsgetal  $\mu = 9$ .

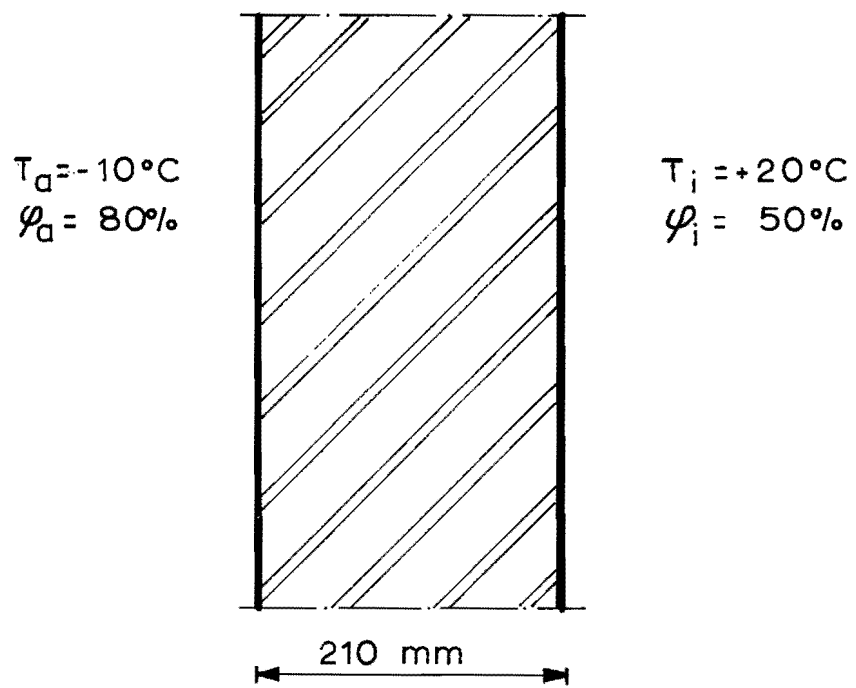
$$T_i = +20^\circ\text{C} \quad \phi_i = 50\%$$

$$T_a = -10^\circ\text{C} \quad \phi_a = 80\%$$

stationaire toestand.

Gevraagd: Bereken de dampstroom die door de constructie diffundeert.

Oplossing: Zie figuur 4.1.



Figuur 4.1.

De heersende waterdampdruk binnen is  $p_i = 0,50 \times 2340 = 1170 \text{ N/m}^2$

De heersende waterdampdruk buiten is  $p_a = 0,80 \times 260 = 208 \text{ N/m}^2$

$$\Delta p = 962 \text{ N/m}^2$$

$$R_d = 5,3 \times 10^9 \times \mu \times d = 5,3 \times 10^9 \times 9 \times 0,21 = 10 \times 10^9 \text{ m/s}$$

De dampstroombichtheid  $g$  volgt dan uit:

$$g = \frac{\Delta p}{R_d} = \frac{962}{10^{10}} = 962 \cdot 10^{-10} \text{ kg/m}^2\text{s} =$$

$$962 \times 10^{-10} \times 3600 \times 10^3 = \underline{\underline{0,35 \text{ g/m}^2\text{h}}}$$

Het is goed hierbij op te merken dat de berekende dampstroombichtheid alleen in stationaire toestand zal optreden, indien er geen inwendige condensatie ergens in de constructie plaatsvindt. In het geval dat er wel condensatie optreedt, is de dampstroom die de constructie ingaat immers niet meer gelijk aan de dampstroom die de constructie uitkomt.

### Voorbeeld 4.3.

#### Gegeven:

Een constructie is opgebouwd uit twee lagen en vormt de scheiding tussen binnen en buiten. De buitenste laag A heeft een dampweerstand  $R_{dA}$  en de binnenste laag B heeft een dampweerstand  $R_{dB}$ .

#### Gevraagd:

Om condensatie op het scheidingsvlak X tussen A en B te voorkomen, wil men een dampdichte laag met dampweerstand  $R_{dD}$  aanbrengen. Waar kan men dit het beste doen? Gegeven:  $R_{dD}$  is veel groter dan de afzonderlijke weerstanden  $R_{dA}$  en  $R_{dB}$ .

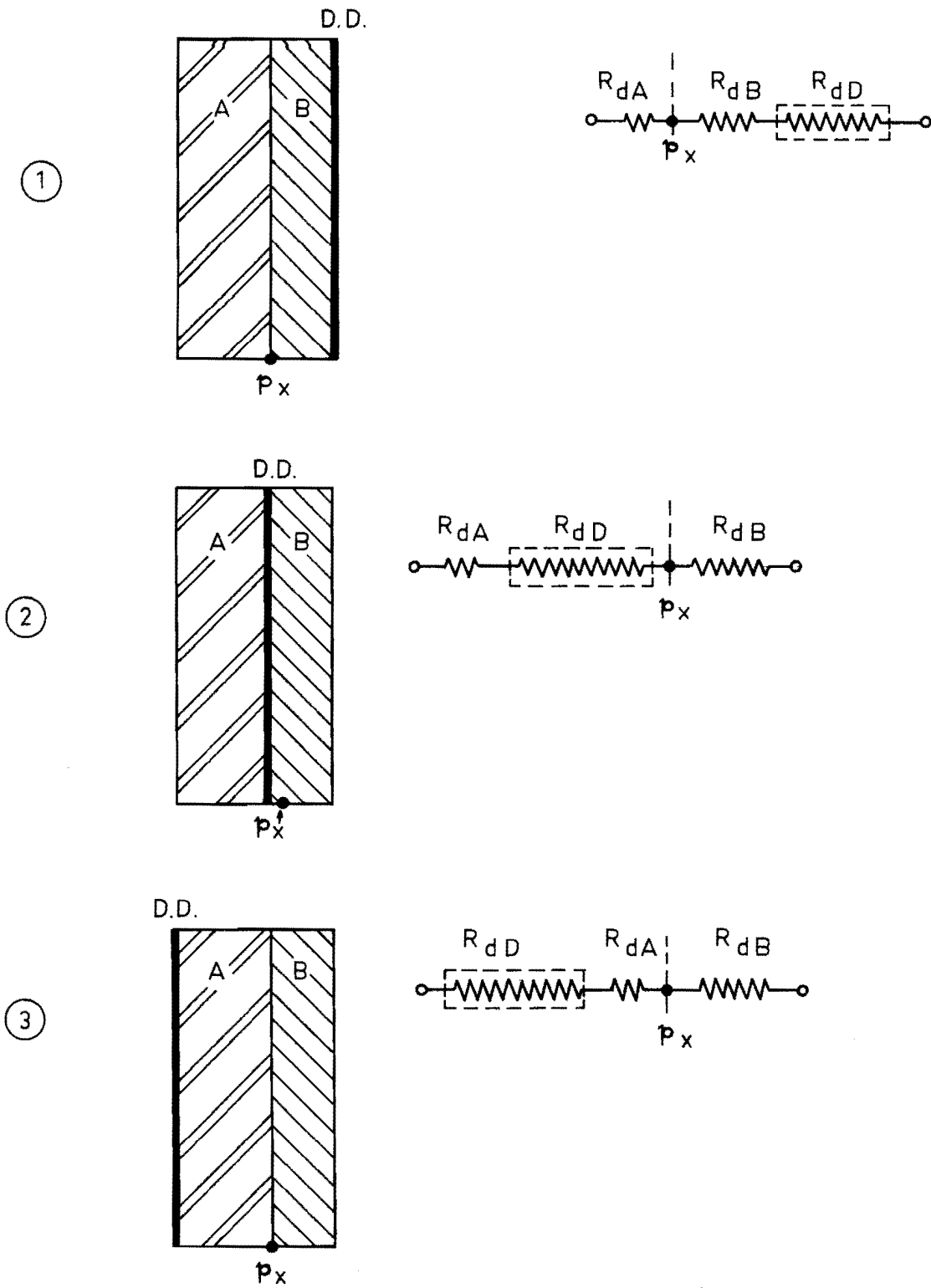
Oplossing: Zie figuur 4.2.

Geval 1:  $\frac{p_i - p_x}{p_i - p_a} = \frac{R_{dD} + R_{dB}}{\Sigma R_d} \approx 1$ , dus  $p_x \approx p_a$ .

Daar  $T_x$  beslist altijd hoger is dan het dauwpunt van de buitenlucht, zal er nooit condensatie optreden op het scheidingsvlak tussen beide lagen.

Geval 2:  $\frac{p_i - p_x}{p_i - p_a} = \frac{R_{dB}}{\Sigma R_d} \approx 0$ , dus  $p_x \approx p_i$ .

Uit  $p_i$  kan de dauwpuntstemperatuur  $T_d$  van de binnenlucht worden berekend. Zolang  $T_x > T_d$  zal er geen condens optreden.



Figuur 4.2.

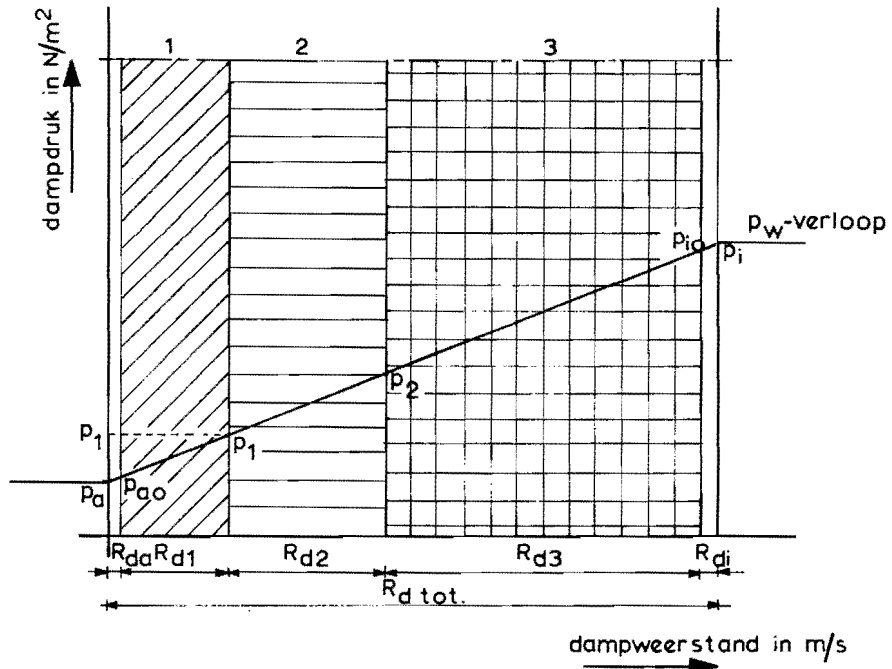
Dus afhankelijk van de warmteweerstand van de lagen zal de temperatuur  $T_x$  lager dan  $T_d$  kunnen zijn, en is dus condensatie mogelijk.

Geval 3:  $\frac{p_i - p_x}{p_i - p_a} = \frac{R_{dB}}{\Sigma R_d} \approx 0$ , dus  $p_x \approx p_i$ .

Deze situatie is dus eender als geval 2.

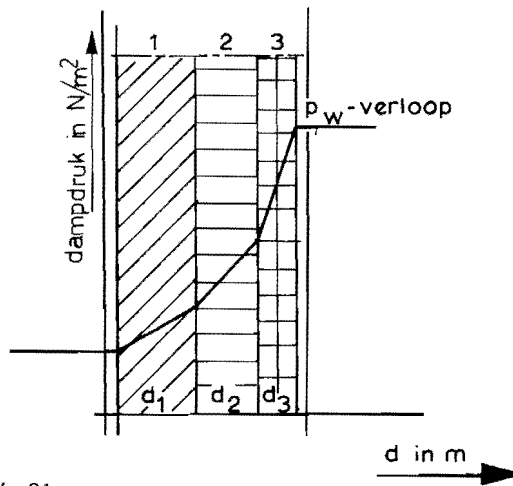
Conclusie: Indien mogelijk moeten dampremmende lagen zoveel mogelijk aan de warme kant worden aangebracht.





de dampstroom  $g = \frac{p_i - p_a}{R_{d \text{ tot.}}} = \frac{p_2 - p_1}{R_{d2}} = \text{etc.}$

figuur 4.3a



figuur 4.3b

#### 4.2. Dampspanningsverloop

Bij het warmtetransport zijn, behalve de warmteweerstand van een constructie  $r_c$ , ook de begrippen warmteovergangsweerstand binnen  $r_i$  en warmteovergangsweerstand buiten  $r_a$  ingevoerd.

Analoog hieraan moeten in principe voor het damptransport, naast de dampdiffusieweerstand van een constructie  $R_d$ , de dampovergangsweerstanden  $R_{di}$  (voor binnen) en  $R_{da}$  (voor buiten) worden gedefinieerd. De waarden die voor deze grootheden worden gevonden zijn:

$$R_{di} = 0,04 \times 10^9 \text{ m/s}$$

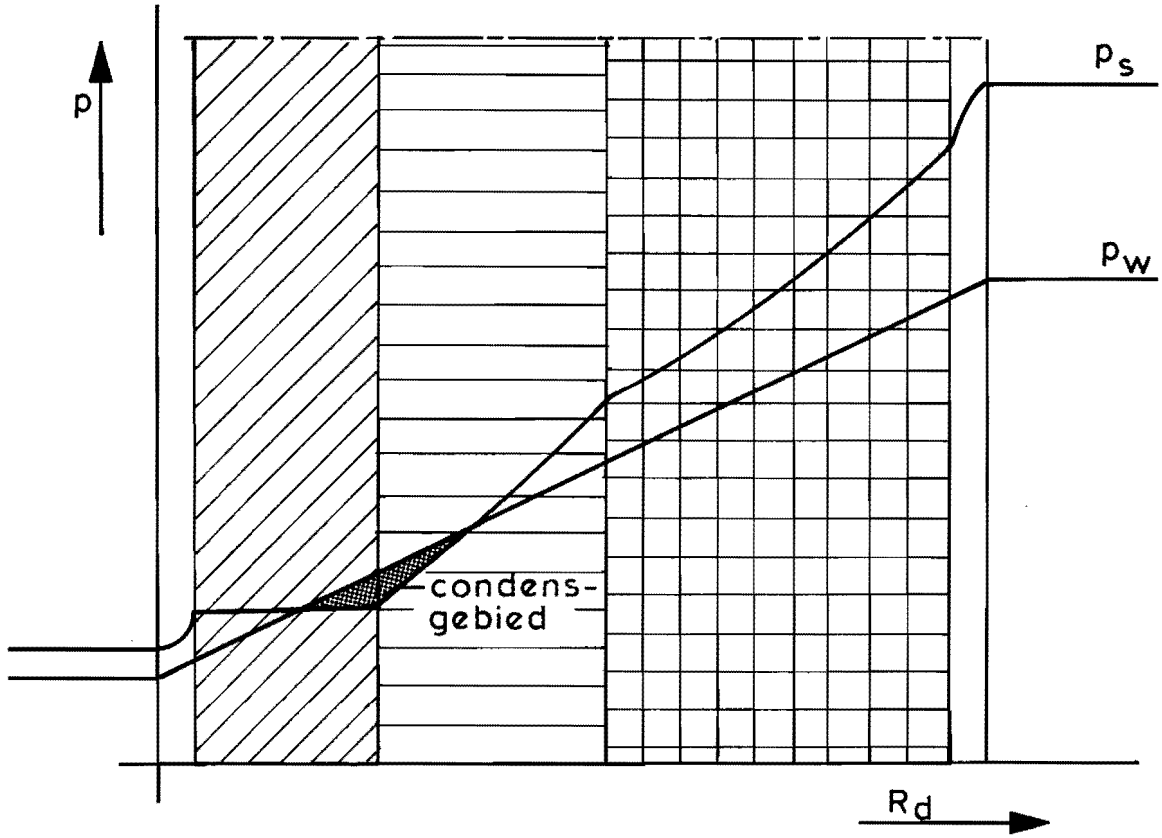
$$R_{da} = 0,007 \times 10^9 \text{ m/s}$$

Aangezien deze waarden echter zeer veel kleiner zijn dan de laagste waarden die voor  $R_d$  worden gevonden (bijvoorbeeld uit voorbeeld 4.2:  $R_d = 10 \times 10^9 \text{ m/s}$ ), mogen deze overgangsweerstanden in het algemeen worden verwaarloosd. Bij het dampdrukverloop zal dus geen merkbare sprong aan het oppervlak optreden, wat bij het temperatuurverloop wél het geval is.

Analoog aan de bepaling van het temperatuurverloop in een constructie is het nu ook mogelijk om het dampspanning- (resp. concentratie-)verloop in een meerlagen-constructie op grafische wijze te bepalen. Hiertoe zet men op de abscis de afzonderlijke weerstanden ( $R_{da}$ ,  $R_{d1}$ ,  $R_{d2}$ , ...,  $R_{di}$ ) numeriek achter elkaar uit, en op de ordinaat een dampspanning- (resp. concentratie-)schaal (*figuur 4.3a*). De punten ( $p_a$ , 0) en ( $p_i$ ,  $R_{d_{tot}}$ ) worden door een rechte lijn met elkaar verbonden. Door nu bijvoorbeeld vanuit het punt op de abscis (met numerieke waarde)  $R_{d1}$  loodrecht omhoog te gaan, wordt een snijpunt verkregen met bovengenoemde verbindingslijn. Hieruit kan de heersende dampdruk  $p_1$  (resp. concentratie) op het scheidingsvlak tussen laag 1 en laag 2 worden afgelezen.

Op soortgelijke wijze kunnen de diverse dampdrukken behorend bij de overige scheidingsvlakken worden verkregen, waarna het dampspanningsverloop in de constructie (*figuur 4.3b*) kan worden ingetekend.

In tegenstelling met het temperatuurverloop is echter aan de bovenbeschreven manier om het werkelijk optredende dampspanningsverloop te vinden één voorwaarde verbonden: de gevonden dampspanning moet overal in de constructie kleiner zijn dan, of hoogstens gelijk aan, de maximale dampspanning die bij de temperatuur ter plaatse mogelijk is.

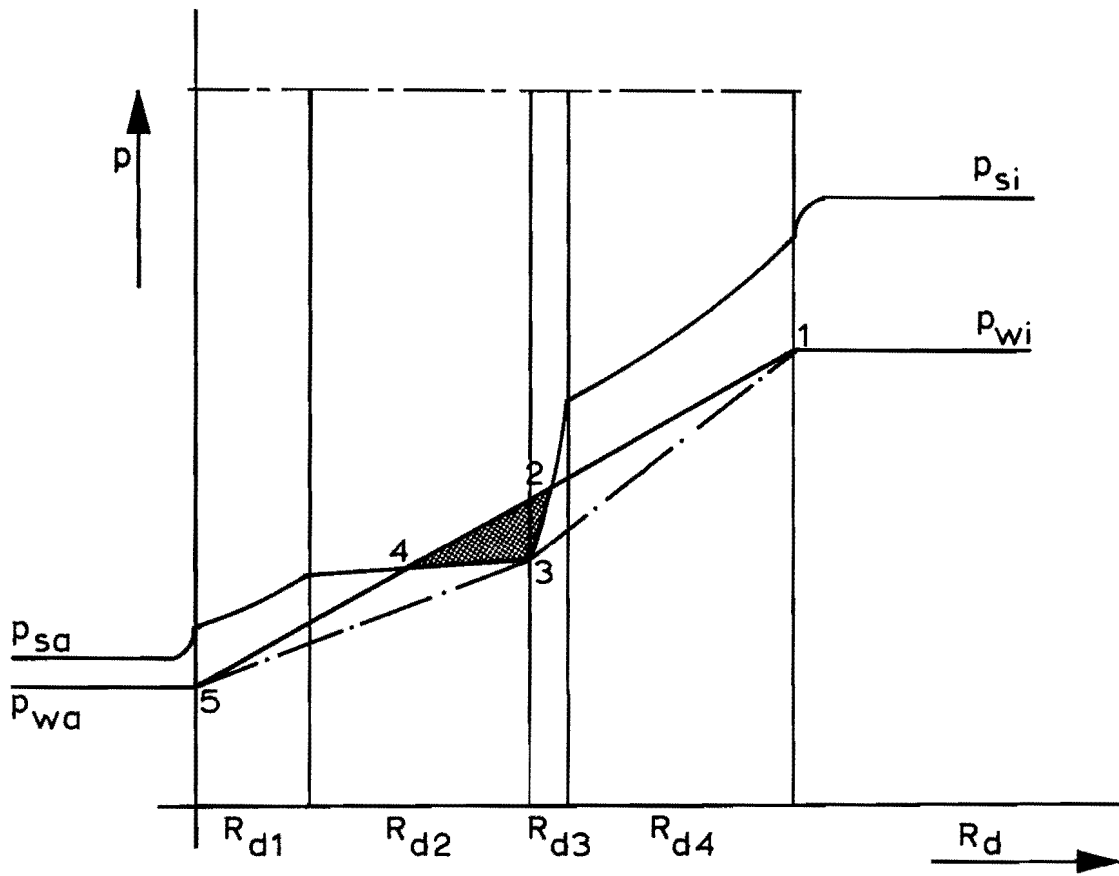


figuur 4.4

Om dit na te gaan is het daarom noodzakelijk in *figuur 4.3a* ook het verloop van de maximale dampspanning te tekenen, zoals weergegeven in *figuur 4.4*. Het verloop van  $p_s$  wordt verkregen uit het temperatuurverloop, door bij de verschillende temperaturen voor een aantal punten de bijbehorende maximale dampspanning op te zoeken. Deze  $p_s$ -waarden worden in de constructie op de scheidingsvlakken uitgezet en met elkaar verbonden. Het  $p_s$ -verloop is, in een dergelijke grafiek uitgezet, niet-lineair.

Uit *figuur 4.4* blijkt dat over een bepaald gebied  $p_w > p_s$  zou worden, hetgeen onmogelijk is, zodat daar inwendige condensatie zal plaatsvinden.

Door op bovenbeschreven wijze voor een constructie het  $p_w$ - en  $p_s$ -verloop te tekenen, kan dus worden nagegaan of in een constructie onder bepaalde omstandigheden inwendige condensatie zal optreden. Hoeveel vocht er zal condenseren is dan echter nog niet bekend. Met behulp van de *Methode van Glaser* kan nu voor de meeste constructies worden berekend hoe groot de gecondenseerde hoeveelheid waterdamp in een bepaalde periode zal zijn.



figuur 4.5

### 4.3. Methode van Glaser

Beschouw *figuur 4.5*, waarin voor een constructie opgebouwd uit vier lagen het berekende en het maximale dampspanningsverloop zijn getekend.

Aangezien  $p_w$  nooit groter kan zijn dan  $p_s$ , zal in werkelijkheid het  $p_w$ -verloop anders moeten zijn dan de hier getrokken rechte lijn. Het ligt voor de hand te veronderstellen dat het verloop dan zal worden weergegeven volgens de lijn 1-2-3-4-5. Dit blijkt echter principieel onmogelijk te zijn.

Uit theoretische overwegingen zijn voor het werkelijke dampspanningsverloop de volgende voorwaarden te formuleren:

#### Voorwaarde 1:

Voor de dampstroom door de constructie zal altijd en overal moeten gelden:  $g = -\frac{dp_w}{dR_d}$ , d.w.z. de dampstroom op een bepaalde plaats in de constructie is gelijk aan de tangens van de hoek die het dampspanningsverloop ter plaatse maakt met de abscis, waarop  $R_d$  is uitgezet.

#### Voorwaarde 2:

Indien in de constructie *geen* vochtbronnen aanwezig zijn, zal in de constructie van binnen naar buiten:

- òf a) de dampstroom constant blijven,
- òf b) de dampstroom afnemen (condensatie).

Mathematisch geformuleerd betekent deze voorwaarde dat:

$$\frac{dg}{dR_d} = \frac{d^2 p_w}{dR_d^2} \geq 0$$

#### Voorwaarde 3:

De heersende  $p_w$  kan nooit groter zijn dan de  $p_s$  die bepaald is door de temperatuur ter plaatse, of:

$$p_w \leq p_s$$

Uit deze drie voorwaarden volgt dat de lijn 1-2-3-4-5 *niet* het gezochte  $p_w$ -verloop kan zijn, aangezien dan in punt 2 en 4 de dampstroom zou veranderen in strijd met voorwaarde 2.

De enige mogelijkheid om aan alle drie de voorwaarden te voldoen blijkt te zijn de lijn 1-3-5, waarmee het werkelijk optredende dampspanningsverloop is gevonden (zie figuur 4.5).

De helling van de lijn 1-3 geeft aan de hoeveelheid damp die de constructie binnenkomt per  $m^2$  per tijdseenheid.

De helling van de lijn 3-5 geeft aan de hoeveelheid damp die de constructie uitgaat per  $m^2$  per tijdseenheid.

Uit het verschil van deze twee hoeveelheden is nu dus ook te berekenen hoeveel vocht in een bepaalde periode door condensatie in de constructie achterblijft.

Aan de beschreven methode zijn echter nog wel de volgende beperkingen opgelegd:

1) Capillaire invloeden zijn niet meegerekend. Onder invloed van capillaire werking kan het vocht zich gaan verdelen in alle richtingen.

Het kan daarbij aan het binnenoppervlak komen, waar het kan "herverdampen" naar de binnenruimte. Hierdoor stelt zich een nieuw evenwicht in tussen condenserend en verdampend vocht. Voorbeelden hiervan zijn gasbeton en baksteen.

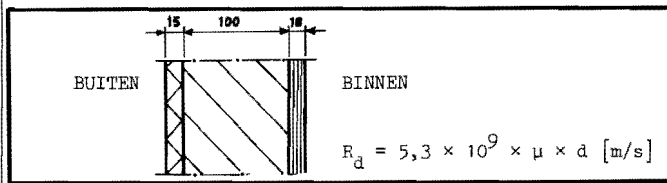
Berekening van de hoeveelheid condenserend vocht volgens de Methode Glaser zou dus te hoge uitkomsten geven. Men moet daarbij wel bedenken dat, wanneer men met dit soort materialen werkt en men heeft berekend dat volgens de Methode Glaser geen condensatie optreedt, er in werkelijkheid zeker geen condensatie zal plaatsvinden.

Wanneer de capillaire invloeden wèl moeten worden meegenomen, moet men gebruik maken van de *Theorie van Philip en De Vries*, die mathematisch erg ingewikkeld en omvangrijk is en ver buiten het bestek van dit college valt.

2) Stationaire toestand in de zomer en in de winter is verondersteld voor temperatuur en vochtigheid. Glaser neemt hiervoor:

winter: 60 dagen met  $T_i = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_i = 50\%$   
 $T_a = -10^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_a = 80\%$   
zomer: 90 dagen met  $T_i = 12^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_i = 70\%$   
 $T_a = 12^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_a = 70\%$

BOUWFYSISCHE BEREKENING VAN EEN CONSTRUCTIE



$T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $\phi_i = 50\%$

$T_a = -10 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $\phi_a = 80\%$

$\Delta p_w = \frac{\Delta p}{R_{d \text{ tot}}} \cdot R_d$

$\Delta T = \frac{\Delta T_{\text{tot}}}{R_{\text{tot}}} \cdot r$

| CONSTRUCTIELAAG                                             | d     | $\lambda$      | r                | $\Delta T$              | T                | $p_s$           | $\mu$ | $R_d$                          | $\Delta p_w$            | $p_w$           |
|-------------------------------------------------------------|-------|----------------|------------------|-------------------------|------------------|-----------------|-------|--------------------------------|-------------------------|-----------------|
|                                                             | m     | $\frac{W}{mK}$ | $\frac{m^2K}{W}$ | $^\circ\text{C}$        | $^\circ\text{C}$ | $\frac{N}{m^2}$ |       | $\frac{m}{s}$<br>$\times 10^9$ | $\frac{N}{m^2}$         | $\frac{N}{m^2}$ |
| lucht buiten                                                |       |                |                  |                         | -10,00           | 260             |       |                                |                         | 208             |
| $r_a$                                                       |       |                | 0,043            | 0,41                    |                  |                 |       | 0                              | 0                       |                 |
|                                                             |       |                |                  |                         | - 9,59           | 269             |       |                                |                         | 208             |
| afdekplaten, 16 kg/m <sup>2</sup><br>Spaltwand Plattenbelag | 0,015 | 1,0            | 0,015            | 0,14                    |                  |                 | 62    | 4,93                           | 159                     |                 |
|                                                             |       |                |                  |                         | - 9,45           | 272             |       |                                |                         | 367             |
| polystyreen (1/4)<br>2 kg/m <sup>2</sup>                    | 0,025 | 0,035          | 0,714            | 6,84                    |                  |                 | 46    | 6,09                           | 196                     |                 |
|                                                             |       |                |                  |                         | - 2,61           | 492             |       |                                |                         | 563             |
| " (1/4)                                                     | 0,025 | 0,035          | 0,714            | 6,84                    |                  |                 | 46    | 6,09                           | 196                     |                 |
|                                                             |       |                |                  |                         | + 4,23           | 828             |       |                                |                         | 759             |
| " (1/4)                                                     | 0,025 | 0,035          | 0,714            | 6,84                    |                  |                 | 46    | 6,09                           | 196                     |                 |
|                                                             |       |                |                  |                         | +11,07           | 1319            |       |                                |                         | 955             |
| " (1/4)                                                     | 0,025 | 0,035          | 0,714            | 6,84                    |                  |                 | 46    | 6,09                           | 196                     |                 |
|                                                             |       |                |                  |                         | +17,91           | 2053            |       |                                |                         | 1151            |
| gipskartonplaat<br>16 kg/m <sup>2</sup>                     | 0,018 | 0,2            | 0,090            | 0,86                    |                  |                 | 6     | 0,57                           | 19                      |                 |
|                                                             |       |                |                  |                         | +18,77           | 2166            |       |                                |                         | 1170            |
|                                                             |       |                |                  |                         |                  |                 |       |                                |                         |                 |
| $r_i$                                                       |       |                | 0,129            | 1,23                    |                  |                 |       | 0                              | 0                       |                 |
| lucht binnen                                                |       |                |                  |                         | +20,00           | 2340            |       |                                |                         | 1170            |
|                                                             |       |                | $R_{\text{tot}}$ | $\Delta T_{\text{tot}}$ |                  |                 |       | $R_{d \text{ tot}}$            | $\Delta p_{\text{tot}}$ |                 |
|                                                             |       |                | 3,133            | 30,00                   |                  |                 |       | 29,86                          | 962                     |                 |

Tabel 4.2.



Het is natuurlijk ook goed mogelijk om met andere getallen te werken.

- 3) Opwarming van de constructie onder invloed van zonbestraling is niet in de beschouwing opgenomen. Ook hierdoor geven de uitkomsten volgens Glaser een te ongunstig beeld.
- 4) De hoeveelheid gecondenseerd vocht wordt in één vlak geconcentreerd gedacht (vlak door punt 3 in *figuur 4.4.*), terwijl in werkelijkheid deze hoeveelheid zich over een eindig gebied zal uitstrekken.
- 5) De warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  is constant verondersteld, terwijl bekend is dat  $\lambda$  een functie is van het vochtgehalte en de temperatuur.
- 6) Bij condensatie komt condensatiewarmte vrij, die het temperatuurverloop kan beïnvloeden.

Ondanks deze beperkingen geeft de Methode van Glaser voor de meeste constructies bruikbare uitkomsten. Door de eenvoudige wijze van berekening is deze methode daarom ook van groot belang voor de praktijk om dak- en wandconstructies op hun vochttechnisch gedrag te beoordelen. In Duitsland wordt, naast sterkteberekeningen van de constructie, vaak een berekening volgens de beschreven Glaser-methode verlangd.

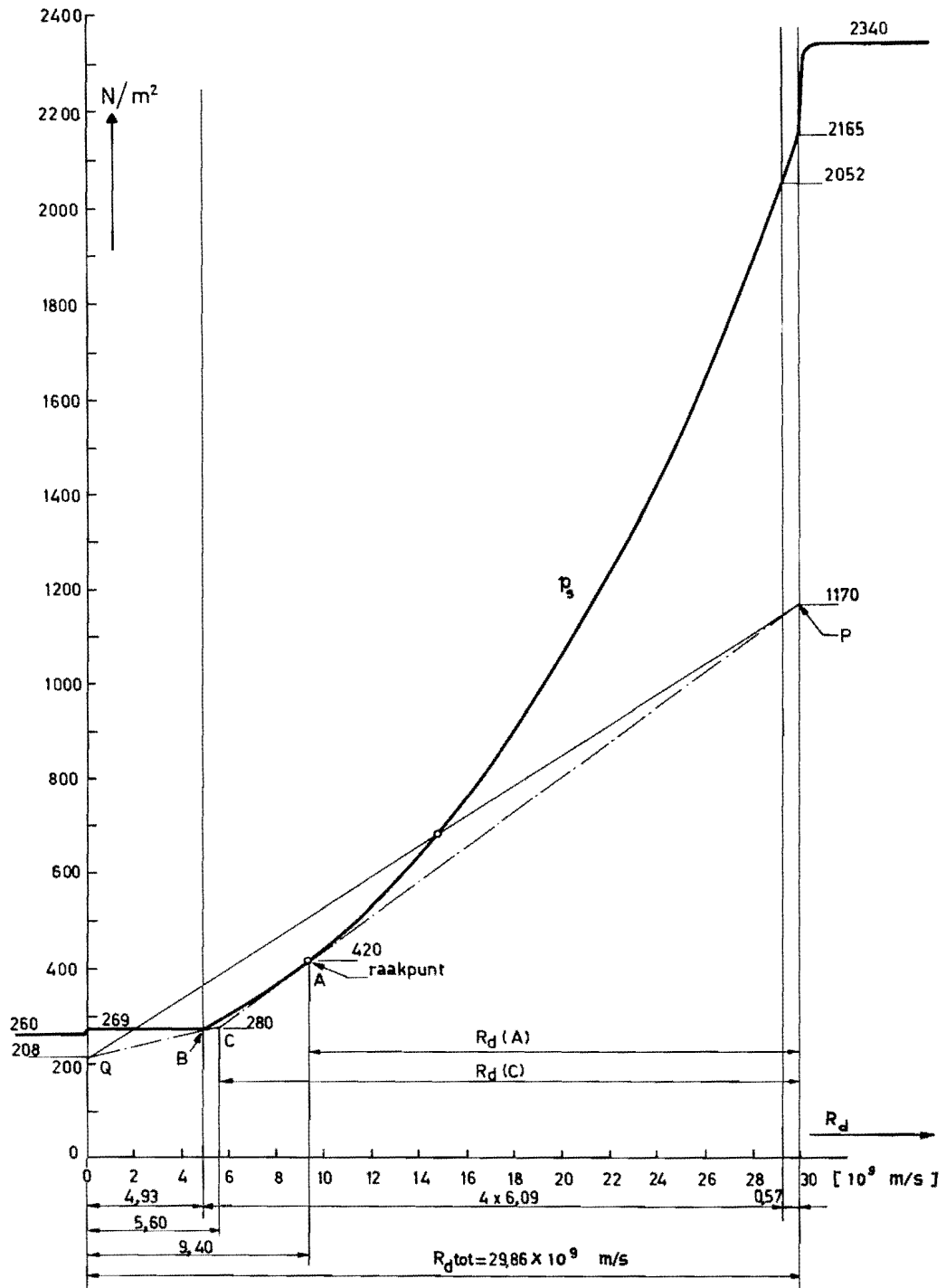
Aan de hand van enkele numerieke voorbeelden zal de Methode van Glaser worden toegelicht.

Voorbeeld 4.4: Methode van Glaser toegepast op een wandconstructie.

In *TABEL 4.2* zijn de waarden voor de temperatuur  $T$ , de maximale dampspanning  $p_s$  en de werkelijk optredende dampspanning  $p_w$  voor een aantal punten van de constructie uitgerekend.

In *figuur 4.6* zijn de  $p_s$ - en  $p_w$ -lijnen weergegeven. Vanuit de punten P en Q worden nu raaklijnen aan de  $p_s$ -lijn getrokken. De raaklijnen met raakpunten A en B snijden elkaar in C. Het dampspanningsverloop  $p_w$  in de constructie wordt nu gegeven door de kromme P-A-B-Q.

In het gebied tussen de punten A en B zal in werkelijkheid zeker vocht condenseren. De hoeveelheid condens kan dan als volgt berekend worden:



figuur 4.6.

dampdiffusie naar binnen:

$$\frac{1170 - 420}{(29,86 - 9,4)10^9} = 36,62 \cdot 10^{-9} \text{ kg/m}^2\text{s} = 0,1318 \text{ g/m}^2\text{h}$$

dampdiffusie naar buiten:

$$\frac{272 - 208}{4,93 \cdot 10^9} = 12,98 \cdot 10^{-9} \text{ kg/m}^2\text{s} = \frac{0,0467 \text{ g/m}^2\text{h}}{0,0851 \text{ g/m}^2\text{h}}$$

Het verschil tussen beide dampstroomdichtheden geeft de hoeveelheid vocht die in de constructie achterblijft, dus hoeveelheid condens = 0,0851 g/m<sup>2</sup>h.

In een periode van twee maanden (= 60 dagen = 1440 uren) wordt dit:

$$1440 \times 0,0851 = \underline{\underline{122,5 \text{ g/m}^2}}$$

Omdat  $\frac{\Delta p(P-A)}{R_d(A)} = \frac{\Delta p(P-C)}{R_d(C)}$  kan de dampdiffusie naar binnen ook geschreven worden als:

$$\frac{1170 - 280}{(29,86 - 5,6)10^9} = 36,69 \cdot 10^{-9} \text{ kg/m}^2\text{s}$$

Hierbij wordt al het vocht dus in één vlak geconcentreerd gedacht. De afwijking met het eerder verkregen resultaat komt door onnauwkeurigheid in het aflezen.

Voor de dampdiffusie naar buiten wordt op dezelfde wijze verkregen:

$$\frac{280 - 208}{5,6 \cdot 10^9} = 12,86 \cdot 10^{-9} \text{ kg/m}^2\text{s}$$

In twee maanden blijft er achter:

$$23,83 \cdot 10^{-9} \times 1440 \times 3600 \times 1000 = \underline{\underline{123,5 \text{ g/m}^2}}$$

Op dezelfde wijze kan men nu berekenen voor de zomercondities, hoeveel vocht in die periode weer uit de constructie zal verdwijnen. Het is beter nu alleen met punt C te rekenen en niet meer met de punten A en B, omdat bij droging van de constructie de vochtfronten bij A en B zich in de richting van punt C zullen bewegen, net zolang tot al het aanwezige vocht weer is afgevoerd. Om deze reden heeft Glaser gesteld dat de hoeveelheid gecondenseerd vocht in één vlak geconcentreerd *moet* worden gedacht.

Bovendien hoeft men bij de berekening voor punt C slechts éénmaal een waarde voor de druk en dampweerstand af te lezen, waardoor minder afleesfouten worden geïntroduceerd en een nauwkeuriger resultaat zal worden verkregen. Voor de berekening wordt ervan uitgegaan dat in de zomer in het vlak van

condensatie (vlak door punt C) zal gelden:

$$T_C = 12^\circ\text{C}$$

$$\phi_C = 100 \%$$

zodat  $p_s (= p_C) = 1403 \text{ N/m}^2$  en  $p_i = p_a = 0,7 \times 1403 = 982 \text{ N/m}^2$ .

Vanuit het vlak van condensatie diffundeert dan in de zomerperiode weer:

$$\text{naar binnen: } g_i = \frac{1403 - 982}{(29,86 - 5,6)10^9} = 17,35 \cdot 10^{-9} \text{ kg/m}^2\text{s} = 0,0625 \text{ g/m}^2\text{h}$$

$$\text{naar buiten: } g_a = \frac{1403 - 982}{5,6 \cdot 10^9} = 75,18 \cdot 10^{-9} \text{ kg/m}^2\text{s} = \frac{0,2706 \text{ g/m}^2\text{h}}{0,3331 \text{ g/m}^2\text{h}} +$$

In 90 dagen zou dus weer verdwijnen:  $90 \times 24 \times 0,3331 = \underline{\underline{719,50 \text{ g/m}^2}}$

In de zomerperiode zal dus meer vocht uit de constructie willen diffunderen dan er in de winterperiode is ingekomen, zodat er geen gevaar bestaat dat de constructie steeds vochtiger wordt. Wel is er kans op afvriezen van de afdekplaten, aangezien bij  $T_a = -10^\circ\text{C}$  de temperatuur onder de afdekplaten  $-9,45^\circ\text{C}$  zal worden. Het is duidelijk dat bij inwendige condensatie dit soort afdekplaten ten aanzien van afvriezen gevaar lopen. Dit gevaar kan bezworen worden door tussen het polystyreen en de gipskartonplaat nog een goede dampremmende laag aan te brengen.

#### Opmerking:

Hoewel de toegepaste afdekplaten in *TABEL 4.2*, een  $\mu$ -waarde hebben van  $\mu = 500$ , is in de tabel de waarde  $\mu = 62$  gebruikt. Deze waarde geldt namelijk voor afdekplaten met inbegrip van de cementvoegen, die veel minder dampdicht zijn ( $\mu = 13$ ). Voor beide materialen samen kan men dan een gemiddelde  $\mu$ -waarde berekenen. Deze berekening gaat als volgt (*zie figuur 4.7.*):

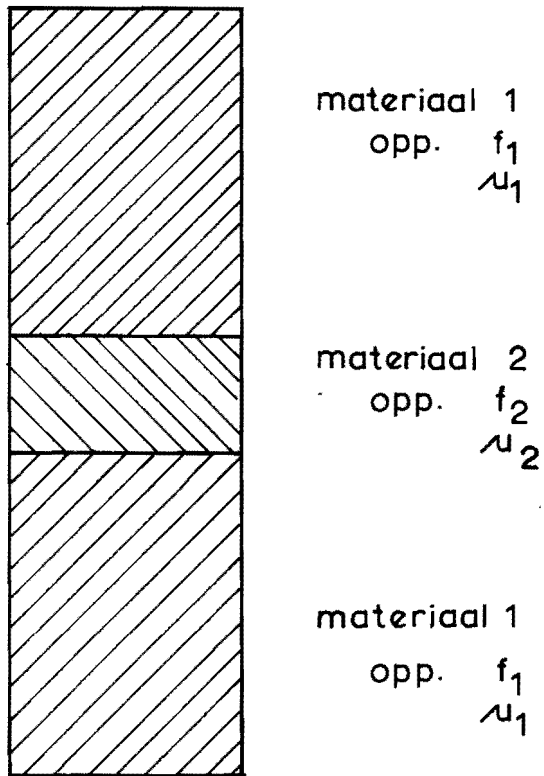
Voor de totale dampstroom door beide materialen kan men schrijven:

$$G = g \cdot f_{\text{tot}} = \frac{\Delta p f_{\text{tot}}}{5,3 \cdot 10^9 \bar{\mu} \cdot d}$$

waarin  $\bar{\mu}$  de gemiddelde  $\mu$ -waarde is.

Deze dampstroom is dus gelijk aan de som van de dampstromen door de afzonderlijke materialen  $G_1 + G_2$ .

$$G_1 = \frac{\Delta p f_1}{5,3 \cdot 10^9 \mu_1 d} \quad \text{en} \quad G_2 = \frac{\Delta p f_2}{5,3 \cdot 10^9 \mu_2 d}$$



figuur 4.7.

Gelijkstellen van  $G = G_1 + G_2$  levert dan:

$$\frac{f_1}{\mu_1} + \frac{f_2}{\mu_2} = \frac{f_1 + f_2}{\bar{\mu}}$$

waaruit na enige berekening volgt:

$$\bar{\mu} = \frac{1}{\frac{f_1}{f_1 + f_2} \frac{1}{\mu_1} + \frac{f_2}{f_1 + f_2} \frac{1}{\mu_2}} \quad (2.9)$$

Passen we dit toe op ons voorbeeld, waarbij we aannemen dat 81 % van het oppervlak wordt gevormd door de afdekplaten en de overige 19 % door cementspecie, dan vinden we:

$$\bar{\mu} = \frac{1}{\frac{0,81}{500} + \frac{0,19}{13}} \approx 62.$$

Voorbeeld 4.5.: Methode van Glaser toegepast op een dakconstructie.

Op dezelfde wijze als in *Tabel 4.2.* uit *voorbeeld 4.4.* kan ook hier het verloop van  $T$ ,  $p_s$  en  $p_w$  worden uitgerekend (*Tabel 4.3.*). Voor de winteromstandigheden zijn hier echter andere waarden gekozen dan waarmee Glaser rekent, en wel:

$$\begin{aligned} T_i &= 22^\circ\text{C} & \phi_i &= 80\% \\ T_a &= 10^\circ\text{C} & \phi_a &= 80\% \end{aligned}$$

In *figuur 4.8.* is weer het verloop van de  $p_s$ - en  $p_w$ -lijnen getekend als functie van  $\mu d$ . Uiteraard is dit precies hetzelfde als wanneer als abscis  $R_d$  gekozen zou zijn, daar  $R_d = 5,3 \times 10^9 \times \mu \times d$ . De gestippelde lijn geeft dan het verloop van  $p_w$  volgens Glaser.

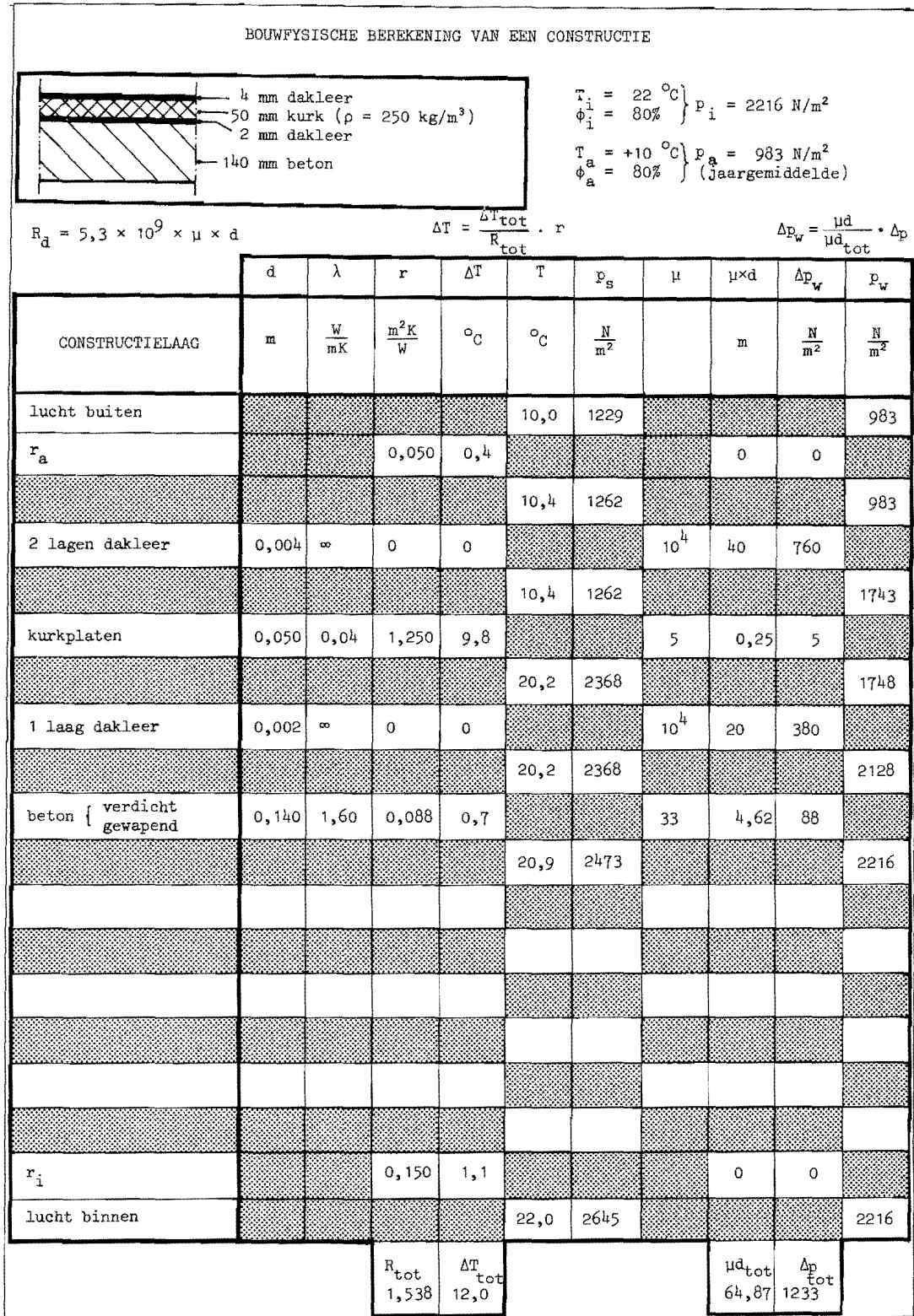
Voor de winter berekenen we hieruit:

dampdiffusie naar binnen:

$$\frac{2216 - 1262}{5,3 \times 10^9 \times 24,87} \times 3600 \times 1000 = 0,028 \text{ g/m}^2\text{h}$$

dampdiffusie naar buiten:

$$\frac{1262 - 983}{5,3 \times 10^9 \times 40} \times 3600 \times 1000 = \frac{0,005 \text{ g/m}^2\text{h}}{0,023 \text{ g/m}^2\text{h}}$$



Tabel 4.3.

Wanneer in de winter condensatie optreedt, zal dit gebeuren in de kurkplaten van 50 mm dikte. Deze kurkplaten kunnen 12 volumeprocenten vocht opnemen, dat is dus:  $\frac{12}{100} \times 50 \text{ liter/m}^2 = 6 \text{ liter/m}^2 = 6000 \text{ g/m}^2$ .

Wanneer in de zomer helemaal niets zou worden afgevoerd en het gehele jaar de genoemde wintercondities zouden heersen, zou het nog  $\frac{6000}{0,023} \approx 260.000$  uren  $\approx 30$  jaren duren voordat het kurk zou zijn verzadigd.

Hierbij dient wel te worden vermeld dat ervan is uitgegaan, dat het kurk aanvankelijk geheel geen vocht bevatte, hetgeen in de praktijk zeker niet waar is.

Wanneer we aannemen dat het kurk bij aanbrengen al voor 75% met vocht verzadigd is, dan duurt het altijd nog 7 jaar voordat onder *genoemde omstandigheden* het verzadigingspunt bereikt wordt.

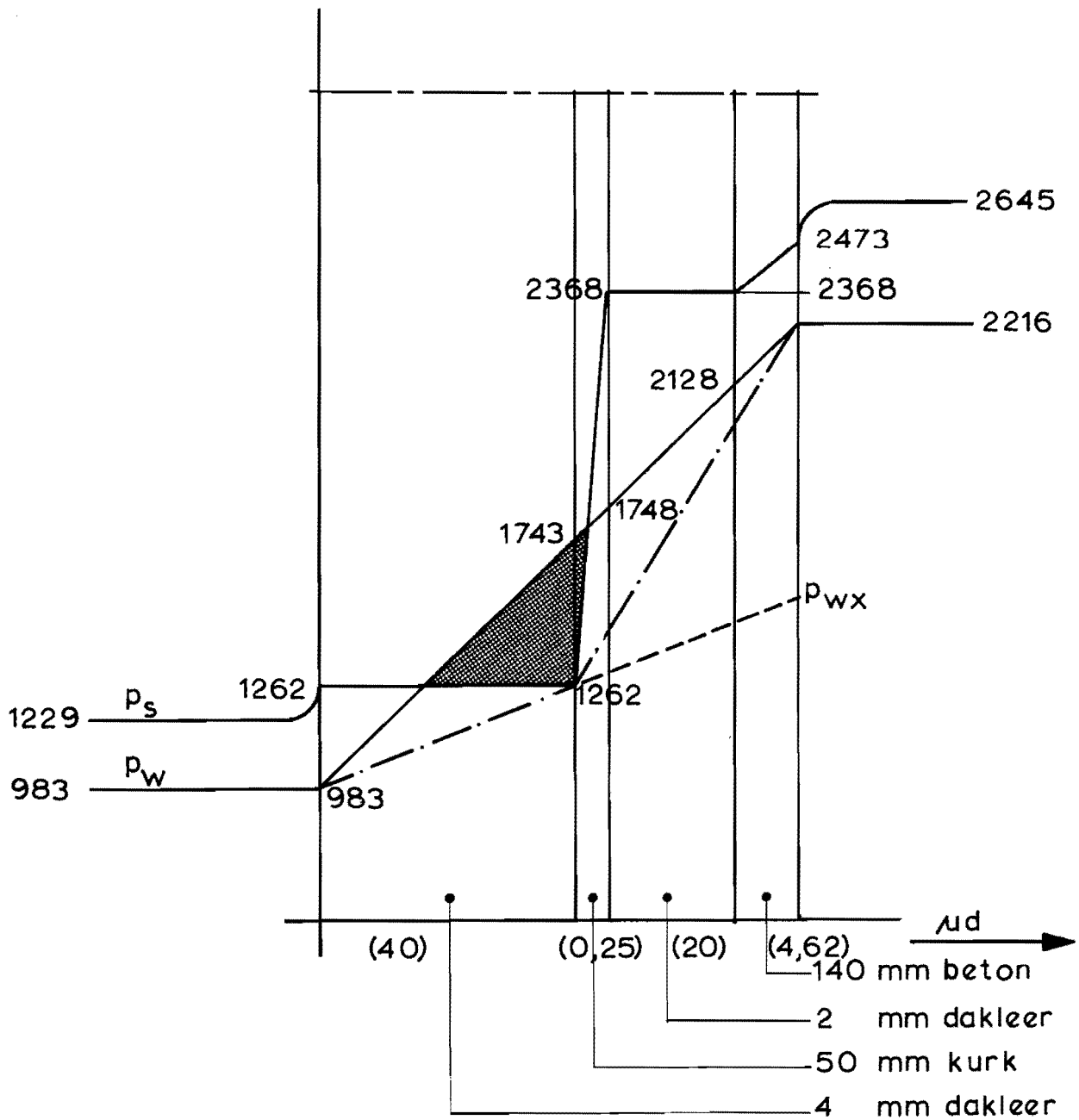
Het is met behulp van *figuur 4.8*, natuurlijk ook mogelijk te berekenen bij welke  $\phi_i$  nooit inwendige condensatie in de constructie zal optreden bij  $T_i = 22^\circ\text{C}$ ,  $T_a = 10^\circ\text{C}$  en  $\phi_a = 80\%$ . Hiertoe trekt men de linker stippellijn door en berekent  $p_{wx}$  eenvoudig uit:

$$\frac{1262 - 983}{40} = \frac{p_{wx} - 983}{64,87}$$

Hieruit volgt  $p_{wx} = 1435 \text{ N/m}^2$ , zodat  $\phi_i = \frac{1435}{2645} \times 100\% = \frac{54,3\%}{\text{=====}}$

Voor verdere toepassingen en voorbeelden wordt verwezen naar (17).





figuur 4.8.

#### 4.4. Vochtabsorptie, hygroscopisch vochtgehalte

De meeste materialen bevatten een geringe hoeveelheid vocht, die daar gewoon in thuishoort. Dit noemt men hygroscopisch vocht.

De hoeveelheid hiervan is afhankelijk van de relatieve vochtigheid van de lucht waarin het materiaal zich bevindt. In lucht met een relatieve vochtigheid van 40% bevat hout ca. 6 volume procent vocht, bij een relatieve vochtigheid van 65% wordt dit ca. 10 volume procent.

In *tabel 4.4.* wordt voor enkele materialen het hygroscopisch vochtgehalte in vol. % gegeven bij verschillende relatieve luchtvochtigheden.

| materiaal     | $\phi = 40\%$ | 65% | 95% |
|---------------|---------------|-----|-----|
| grindbeton    | 2             | 3   | 7   |
| hout          | 6             | 10  | 18  |
| baksteen enz. | -             | -   | -   |
| kalkzandsteen | 2             | 4   | 10  |
| pleisterlagen | 1             | 2   | 4   |
| houtwolcement | 2             | 3   | 6   |

Tabel 4.4.

In de tabel zijn voor baksteen geen waarden ingevuld. Baksteen is niet hygroscopisch.

Dat wil zeggen: het hygroscopisch vochtgehalte is te verwaarlozen klein.

Van het verschil in hygroscopisch vochtgehalte bij verschillende luchtvochtigheden heeft men in bijvoorbeeld een keuken een zeker voordeel. Het pleisterwerk op de wanden zal bij stijgende relatieve vochtigheid een groter vochtgehalte krijgen, het kan waterdamp opnemen en het op een later tijdstip weer afgeven.

Voorbeeld: Stel het wandoppervlak is  $40 \text{ m}^2$  en stel dat een dikte van 0,5 cm van de pleisterlaag meedoet in de vochtuitwisseling. Bij stijging van de relatieve vochtigheid van 40 naar 65% stijgt het hygroscopisch vochtgehalte van het pleisterwerk met 1 volume procent. Dit houdt in dat

$$\frac{1}{100} \cdot 40 \cdot 0,005 = 0,002 \text{ m}^3 \text{ ofwel 2 liter water door het pleisterwerk}$$

kan worden opgenomen. Dit is juist de hoeveelheid die bij het koken ongeveer vrijkomt.

## LITERATUUR

1. Hoen, P.J.J. en R.V.L.M. Thijs: Verbeterde graaddagenmethode, vakgroep FAGO, TH Eindhoven, juni 1981.
2. Stuurgroep Energie en Gebouwen: Samenvatting "Design-Aids" voor energiebewust ontwerpen, 's-Gravenhage, oktober 1981.
3. Lühr, H.P.: Werkzeug für Architekten: Eine einfache Berechnungsmethode für passiv-Sonnenbeheizte Wohngebäude, Bauphysik 3/juni 1981.
4. Esdorn, H. en G. Wentzlauff: Zur Berücksichtigung der Sonnenstrahlung bei der Berechnung des Jahreswärmeverbrauchs, HLH 32(1981)nr.9.
5. Bruggen, R.J.A. van der : Energy consumption for heating and cooling in relation to building design, dissertatie TH Eindhoven, 1978.
6. Commissie van de Europese Gemeenschappen Directoraat-Generaal XII Onderzoek, Wetenschappen en Onderwijs; Berekeningen en gegevensboekje bij de Tweede Europese Wedstrijd voor passief gebruik van zonne-energie, 1982.
7. Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk Aktiengesellschaft: RWE Bau-Handbuch Ausbau 1981/1982, T-3 Bauphysikalische und bautechnische Grundlagen, 14 Bivalente Wärmepumpen-Heizung, 17 Sonnenenergie.
8. Gids, de W.F. en P.J. Schippers: Luchtdichtheid en onnodig energieverlies van woningen, IMG-TNO Bouwfonds Nederlandse Gemeenten.
9. Voorden, van der M: Collegedictaat Stedebouwfysica (gc49) deel: Bezinning. Vakgroep Bouwfysica, afdelingen Civiele Techniek en Bouwkunde (1980).
10. NEN 1068: Thermische isolatie van gebouwen. Delft, Nederlands Normalisatie Instituut, 1981.
11. Vos, B.H.: Criteria voor de warmte-isolatie van gebouwen, PT-Bouwkunde 34(1979)nr. 4, pag. 194-199.
12. Tammes, E.: De thermische isolatie-index voor gebouwen in de norm NEN 1068, PT-Bouwkunde 35(1980)nr. 7, pag. 413-416.
13. NEN 1087: Ventilatie van woongebouwen, Rijswijk, Nederlands Normalisatie Instituut, 1975.
14. NPR 1088: Ventilatie van woongebouwen, aanwijzingen voor en voorbeelden van de constructie uitvoering van ventilatievoorzieningen. Rijswijk, Nederlands Normalisatie Instituut, 1975.
15. TPD-TNO-TH en Tebodin Advies- en Constructiebureau.: Onderzoek naar de relatie tussen k-gebouw, energiegebruik en globale bouwkosten, alsmede de samenhang met de behaaglijkheid. Rapport samengesteld in opdracht van de Stuurgroep Energie en Gebouwen. Delft (1978). THD-rapport no. 700-207.
16. Perquin, G.M.A. en K. Hoogendoorn: Vochthuishouding in gebouwen. Polytechnisch Tijdschrift-bouwkunde 83(1978)11, pag. 663-668.
17. SBR-publicatie 42: Zonwering bij gebouwen, Samson uitgeverij, Alphen aan den Rijn, 1974.
18. Seiffert, K: Wasserdampdiffusion im Bauwesen. Wiesbaden, Bauverlag, 1967.



