

Zonwering

Kennisbank Bouwfysica
Auteur: ir. A.C. van der Linden

1 Inleiding

In deze module zullen de eigenschappen van de diverse zonweringsystemen worden besproken. Ter inleiding hierop komen eerst de invloed van de oriëntatie, beschaduwing en het broeikaseffect aan de orde.

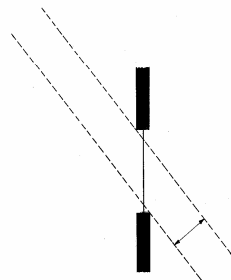
2 Oriëntatie

De intensiteit van de zonnestraling wordt niet alleen bepaald door de direct zonlicht, maar ook door diffuus zonlicht. Dit is zonlicht (daglicht) dat door de atmosfeer wordt verstrooid en via de grond wordt gereflecteerd.

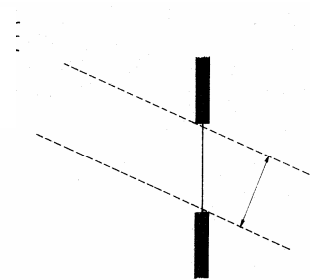
In tegenstelling tot de verwachting is in de zomermaanden (juli) de intensiteit op de west- en oostgevel hoger dan op de zuidgevel. Dit komt doordat de zon - wanneer hij midden op de dag de zuidgevel beschijnt - veel hoger staat, dan wanneer hij op de oost- of westgevel valt (begin en eind van de dag) (zie figuur 1). De intensiteit loodrecht op de richting van de zonnestralen is in beide gevallen vrijwel even groot. Echter, bij hoge zonnestanden is de effectieve opening voor het doorlaten van de directe straling relatief klein. De intensiteit van de zonnestraling berekend per m^2 geveloppervlak (verticale vlak) is dan relatief laag.

Anders wordt het wanneer men de maand september bekijkt. Dan is de zonnestand - ook voor een zuidgevel - veel lager. De zuidgevel ontvangt daardoor een hogere stralingsintensiteit dan in de zomermaanden (zie figuur 2). De westgevel krijgt in dit geval minder straling omdat de zonnestand voor deze gevel heel erg laag is en de intensiteit van de straling nu door de atmosfeer sterk wordt verminderd.

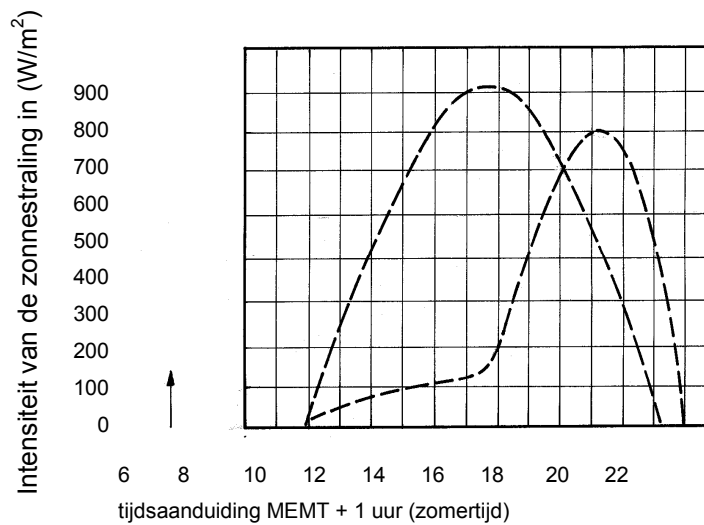
oost en westgevel
lage zonnestand
effectieve glasopening groter



zuidgevel
hoge zonnestand
effectieve glasopening klein



figuur 1. zonshoogte en schijnbaar oppervlak van een raamopening



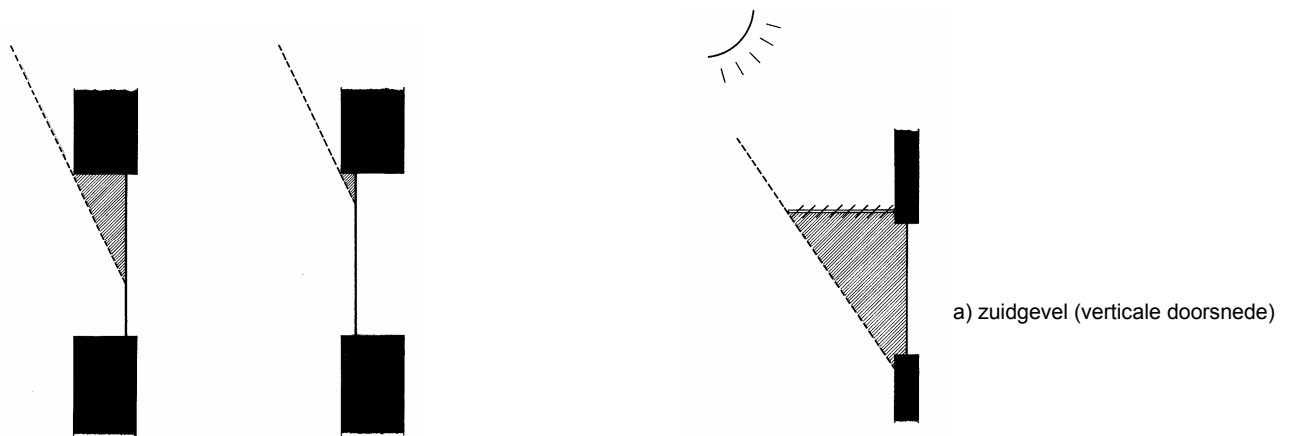
figuur 2. intensiteit totale zonnestraling op zuid- en westgevel in de maand september

Oriëntaties op het westen of zuidwesten geven de meeste problemen. De zonnestraling bereikt de hoge waarden juist op de uren dat ook de buitentemperatuur het hoogst is (in de middag). Overigens moet worden gezegd dat door het invoeren van de zomertijd de situatie gunstiger is geworden dan voorheen. De top van de zonbestraling en daarmee de top van de binnentemperatuur (die wat later optreedt) valt nu (als men over kantoorgebouwen praat) ruim buiten de werktijd. Dit houdt wel in, dat een zonwering ook buiten de kantoor tijd gesloten moet blijven om opwarming van het gebouw te voorkomen. Bij een buitenzonwering wordt automatische bediening dan feitelijk een noodzaak, omdat bij sterke wind de zonwering moet worden opgetrokken om beschadiging te voorkomen. Hetzelfde geldt voor oost- en zuidoostgevels waar de zonwering voor aanvang van de kantoor tijd neergelaten moet zijn om te verhinderen, dat men 's morgens in een al flink opgewarmd vertrek binnenkomt. Door het invoeren van de zomertijd is de "opwarmperiode" overigens wel een uur korter geworden.

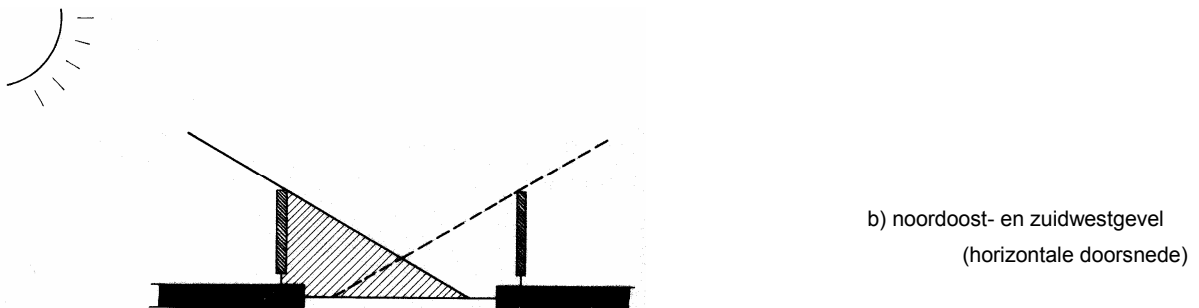
3 Beschaduwning, luifels en dergelijke

Het is duidelijk dat bij het bepalen van de zonbelasting op een gevel ook beschaduwning door andere gebouwen of objecten een rol speelt. Wanneer een gedeelte van een gebouw door de schaduw van een tegenoverliggend gebouw nooit of nauwelijks door de zon wordt beschenen, is een zonwering derhalve niet noodzakelijk.

Ook het ontwerp van de gevel vormt een belangrijke factor bij de zontoetreding. Bij diepliggende ramen ligt een gedeelte van het glas langdurig in de schaduw. Echter, wanneer het glas dicht bij het buitenvlak van de gevel ligt, wordt altijd een groot deel door de zon beschenen (figuur 3).

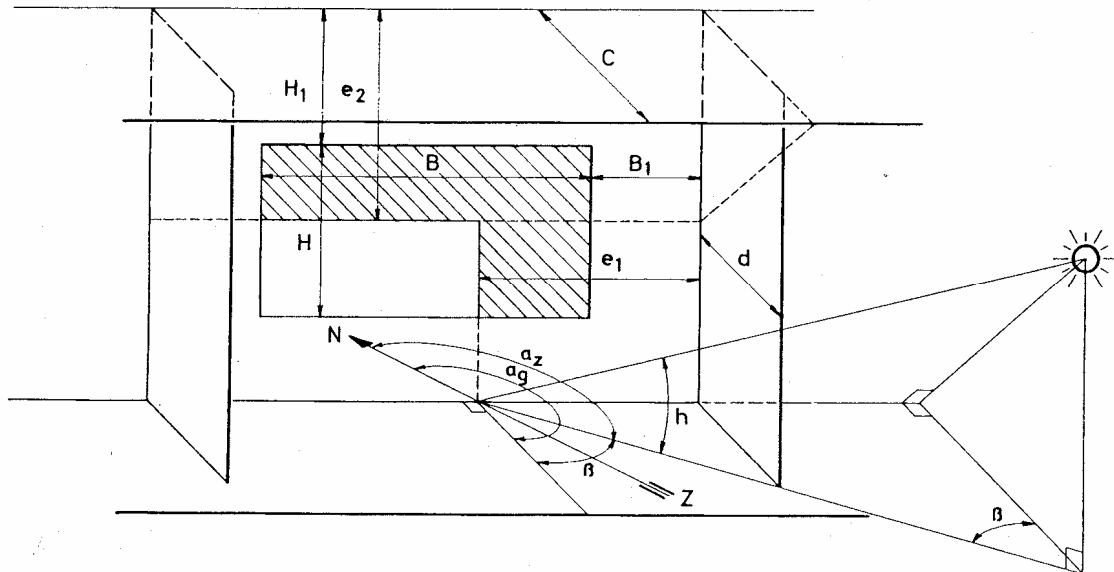


figuur 3. verschil in beschaduwing (zontoetreding) bij wel en niet diepliggende ramen



figuur 4. beschaduwing door luifels en verticale schermen

Ook luifels en verticale schermen kunnen een bijdrage leveren aan de zonwering. Echter, op een west- en oostgevel hoeft men van een luifel, door de lage zonnestanden, geen effect te verwachten. Een luifel is geschikt voor een zuidgevel, waarbij de zon tijdens de zomermaanden hoog aan de hemel staat. Op een noordoost- of een noordwestgevel kan men gebruik maken van verticale schermen omdat de zon hier nooit recht tegenover de gevel staat, maar altijd onder een hoek (figuur 4).



figuur 5. beschaduwning van een raam door uitspringende geveldelen

De mate waarin een raam door horizontale en/of verticale schermen of door de omringende muur bij diepliggende ramen wordt beschaduwd, kan als volgt worden bepaald (zie figuur 5) [1].

De verticale schaduwlengthe die volgt uit:

$$e = c \cdot \tan h' = c \cdot \frac{\tan h}{\cos \beta} \quad (1)$$

Hierin is:

- e verticale schaduwlengthe ten gevolge van een luifel of dergelijke in m
- c lengte waarover het schaduwgevende vlak uitsteekt buiten het beschaduwde vlak in m
- h' zonshoogte geprojecteerd in een vlak loodrecht op de gevel in graden
- h zonshoogte in graden
- β invalshoek van de zon op de gevel, geprojecteerd op het horizontale vlak in graden

De horizontale projectie van de invalshoek van de zon op de gevel wordt bepaald uit:

$$\beta = \alpha_g - \alpha_z \quad (2)$$

Hierin is:

- α_g azimut van de gevel in graden
- α_z azimut van de zon in graden

Als $\beta \geq 90^\circ$ of $\beta \leq -90^\circ$ valt er geen zon op de gevel.

De horizontale schaduwlengthe volgt uit:

$$e_1 = d_1 \cdot \tan \beta \quad \text{als } 0 \leq \beta < 90^\circ \quad (3a)$$

$$e_2 = -d_2 \cdot \tan \beta \quad \text{als } -90^\circ < \beta \leq 0 \quad (3b)$$

Hierin is:

e_1, e_2 horizontale schaduwlengthe als de zon van rechts, respectievelijk van links komt, van buiten gezien in m

d_1, d_2 lengte waarover het schaduwgevende vlak buiten het beschaduwde vlak uitsteekt in m

β horizontale invalshoek van de zon ten opzichte van de normaal op de gevels in graden

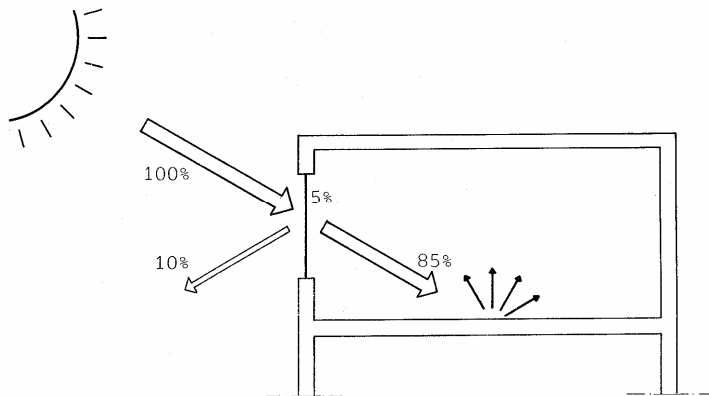
De horizontale schaduwlengthen kunnen overigens ook worden bepaald met behulp "schaduwdiagrammen".

Voor het bepalen van het gedeelte van het raam dat in de schaduw ligt, moeten de schaduwlengthen uiteraard worden verminderd met de afstand tot het schaduwgevende vlak boven en naast het raam H_1 en B_1 of B_2 .

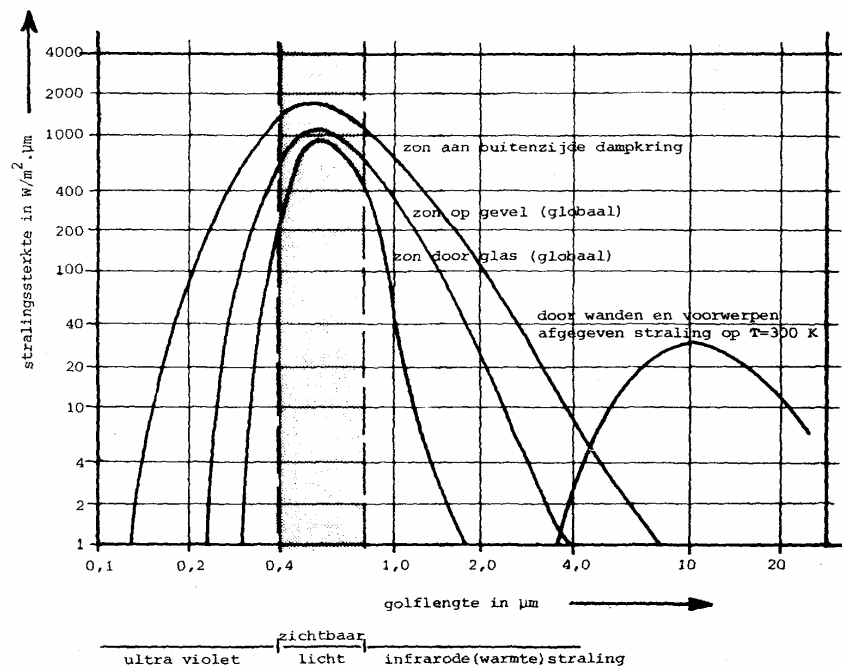
De waarden die voor de berekening van zonshoogte en azimuth nodig zijn, kunnen worden verkregen uit het zonnebaandiagram.

4 Broeikaseffect

Normaal enkelglas laat ongeveer 85% van de zonnestraling door, circa 10% (afhankelijk van de hoek van inval) wordt gereflecteerd en ongeveer 5% wordt geabsorbeerd (waardoor het glas warmer wordt) (zie figuur 6).



figuur 6. aanduiding broeikaseffect



figuur 7. verdeling van de energie over de verschillende golflengten, voor zonnestraling en voor warmtestraling in een vertrek

In figuur 7 is aangegeven hoe de zonne-energie is verdeeld over de verschillende golflengten van het licht. Een groot deel van de zonne-energie komt in de vorm van zichtbaar licht op aarde terecht. Een ander deel als infrarode (warmte)straling en een klein deel als ultraviolet (bruin worden).

Wanneer de door het glas doorgelaten straling op wanden, vloeren en voorwerpen in het vertrek valt, worden deze hierdoor verwarmd. De temperatuur die deze vlakken krijgen, is mede afhankelijk van hun massa (warmteaccumulatie). Doordat ze een hogere temperatuur krijgen, gaan ze warmtestraling uitzenden naar de andere wanden en voorwerpen in het vertrek. Echter, het maximum van deze straling ligt bij golflengten van ca 10 μm . Deze golflengten worden door het glas zeer slecht doorgelaten. De warmte is als het ware in het vertrek gevangen. Bij dubbelglas wordt dit effect nog sterker.

5 Zonwerende constructies

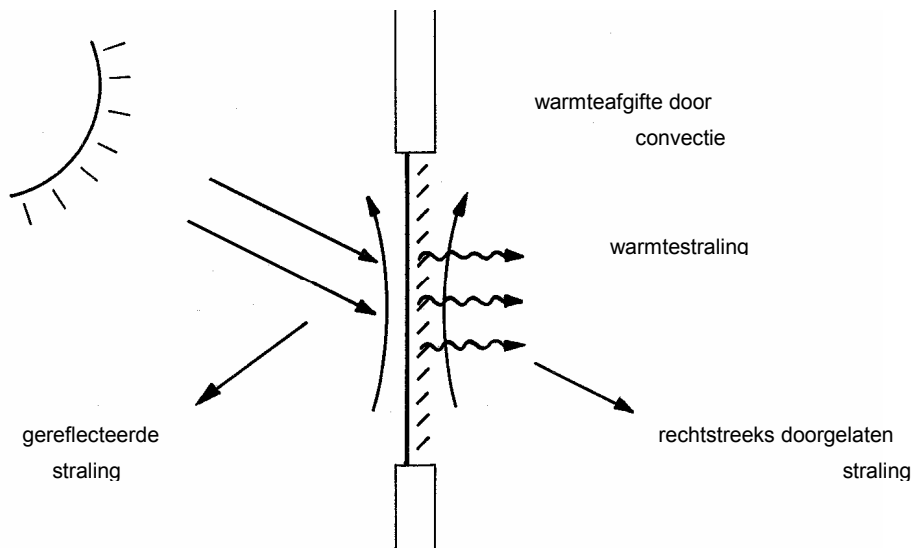
De kwaliteit van een zonwerende constructie kan worden aangegeven met de absolute zontoetredingsfactor (ZTA). Deze factor geeft aan welk gedeelte van de opvallende zonne-energie in het vertrek terechtkomt. $ZTA = 0,45$ wil dus zeggen dat 45% van de opvallende zonne-energie in het vertrek komt en 55% buiten blijft.

Een andere factor die moet worden bekeken, is de convectiefactor (CF). Wat die inhoudt, wordt in het hierna volgende stuk over binnenzonwering uitgelegd.

De factor LTA geeft aan hoeveel van de opvallende hoeveelheid zichtbaar licht wordt doorgelaten. Een zo groot mogelijke waarde voor de verhouding LTA/ZTA is gunstig voor de lichttoetreding in het vertrek bij een bepaalde, na te streven warmtewering.

5.1 Binnenzonwering

Door de binnenzonwering wordt een groot deel van de zonnestraling gereflecteerd. Echter, een ander belangrijk deel wordt door de zonwering geabsorbeerd (figuur 8).



figuur 8. belangrijkste energiestromen bij een binnenzonwering

De zonwering heeft slechts een geringe massa, stijgt daardoor snel in temperatuur en gaat warmtestraling uitzenden. Echter, het grootste deel van de warmte wordt convectief aan de lucht afgegeven, als gevolg waarvan de luchttemperatuur in het vertrek snel stijgt, soms zelfs sneller dan in het geval dat de zonwering niet aanwezig zou zijn geweest.

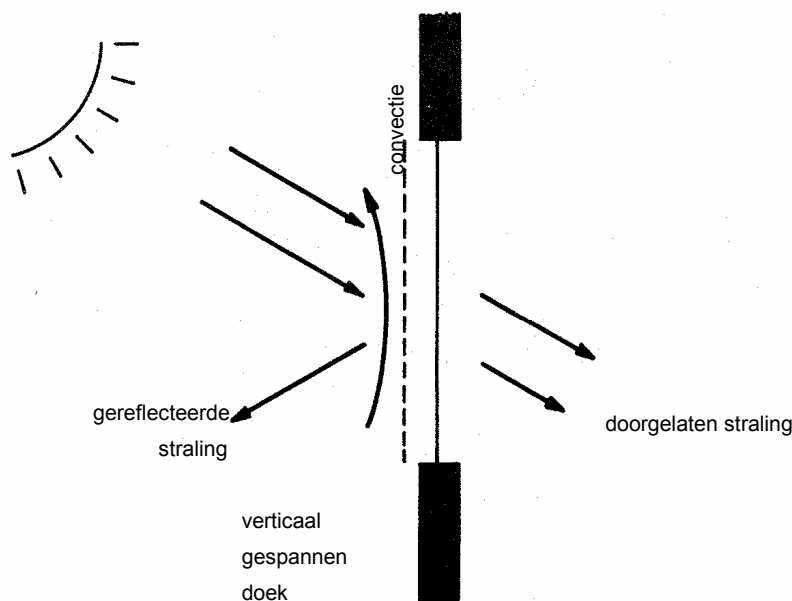
Het deel van de warmte dat als straling binnenkomt, wordt pas met een grote vertraging aan de vertreklucht meegedeeld. Eerst moeten namelijk de omwandelingen van het vertrek en de in het vertrek aanwezige voorwerpen door de straling worden opgewarmd, voordat deze de warmte weer door convectie aan de vertreklucht kunnen afstaan.

Een convectiefactor $CF = 0,50$ betekent dat van de totale hoeveelheid binnenkomende zonnewarmte onmiddellijk 50% door convectie aan de vertreklucht wordt afgegeven. Een hoge convectiefactor is ongunstig met betrekking tot het handhaven van een redelijk verloop van de vertrekluchttemperatuur.

Met binnenzonwering worden zelden betere zontoetredingsfactoren bereikt dan $ZTA = 0,40$ (zie ook tabel 1). Een fijnmazige vitrage heeft overigens ongeveer hetzelfde effect als een lamellen zonwering. Naast lamellen zonwering bestaan ook zonreflecterende gordijnen, weefsels die voorzien zijn van een reflecterend laagje (aluminium). Hierbij is de convectiefactor (CF) vaak lager dan bij lamellenzonwering, zodat de vertrekluchttemperatuur veel minder snel stijgt.

5.2 Buitenzonwering

Bij buitenzonwering wordt een groot deel van de zonnestralen weer gereflecteerd. Een ander (eveneens groot) deel wordt door de zonwering geabsorbeerd, maar door convectie (luchtbeweging, wind) weer aan de buitenlucht afgegeven (figuur 9).



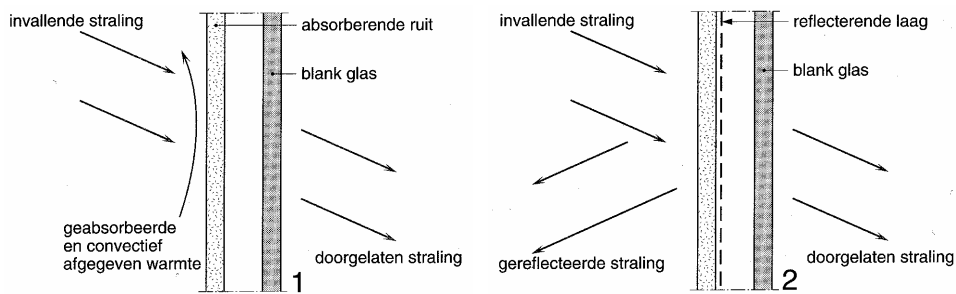
figuur 9. de belangrijkste energiestromen bij buitenzonwering

De zonnewarmte die binnenkomt (10 à 20%) bestaat voor het grootste gedeelte uit rechtstreeks doorgelaten straling, slechts een klein deel komt binnen door convectie en warmtestraling. Alleen met buitenzonwering kunnen zontoetredingsfactoren in de orde van $ZTA = 0,15$ à $0,20$ worden bereikt. Naast lamellenzonwering bestaan nog verticaal gespannen doeken, uitvalschermen, markiezen, rolluiken en vele bijzondere vormen.

In alle gevallen moet men oppassen voor het door (geopende) ramen binnenstromen van aan de zonwering opgewarmde lucht.

5.3 Zonwerend glas

Er bestaan twee hoofdtypen zonwerend glas: absorberend en reflecterend. Meestal worden deze ruiten toegepast in combinatie met een blanke ruit aan de binnenzijde (als prefab dubbelglas) (zie figuur 10). In deze figuur zijn - evenals in de figuren 7, 8 en 9 - slechts de belangrijkste energiestromen met pijlen aangegeven. Bij absorberend glas wordt door een toevoeging (meestal metaaloxiden) een ruit gemaakt die een bijzonder groot deel van de zonnestraling absorbeert. Daardoor wordt de ruit erg warm. Deze warmte wordt door convectie (luchtstroming, wind) afgegeven aan de buitenlucht en voor een klein gedeelte aan de binnenlucht (door straling en convectie).



figuur 10. de belangrijkste energiestromen bij zonabsorberend en zonreflecterend dubbelglas

Een absorberende ruit is donker van kleur. Ook de lichtdoorlating is derhalve gering. De absolute lichttoetredingsfactor (LTA) is meestal nog kleiner dan de zontoetredingsfactor. Bij een warmteabsorberende ruit met een ZTA = 0,45 (wat nog niet eens zo best is) hoort een lichttoetredingsfactor van LTA = 0,35 à 0,40. Dit betekent dat slechts 35 - 40% van het zichtbare licht wordt doorgelaten.

Bij reflecterend glas wordt de zonnestraling voor een heel groot gedeelte rechtstreeks gereflecteerd. Slechts een klein deel wordt geabsorbeerd. De zonnewarmte die binnenkomt, bestaat voornamelijk uit rechtstreeks doorgelaten straling. De reflecterende lagen bestaan meestal uit een opgedampte laag metaal, metaaloxide of een coating. Deze lagen zijn doorgaans vrij kwetsbaar en om beschadiging te voorkomen, worden ze derhalve aangebracht aan de binnenzijde van de buitenruit. Er komen ook reflecterende lagen voor die wel sterk zijn (ingebrand keramisch materiaal enz.) zodat de laag ook aan de buitenzijde kan zijn aangebracht. Met de reflecterende glassoorten zijn toetredingsfactoren tot ZTA = 0,20 mogelijk. De lichttoetredingsfactor is meestal groter dan de zontoetredingsfactor. Bij een ZTA = 0,30 kan de lichttoetredingsfactor nu wel LTA = 0,60 zijn.

Reflecterend glas kan het gebouw een sterk spiegelen karakter geven. Absorberend glas veroorzaakt slechts een meer donkere aanblik van de ruimten. Ook wordt bij beide soorten een bepaald kleureffect waargenomen. Bij het doorkijken van binnen naar buiten treedt meestal een kleurverschuiving op.

Bij veel reflecterende glassoorten heeft de reflectielaag tevens een invloed op de warmteoverdracht door straling. Hierdoor kan de warmtedoorgangscoefficiënt soms aanmerkelijk worden verminderd, tot $U = \text{ca } 1,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ toe (voor dubbelglas). Dit is gunstig voor het beperken van warmteverlies door transmissie in de winter. Echter, zomers kan de lagere transmissie tot hogere vertrektemperaturen leiden.

In tabel 1 is voor een aantal zonweringsystemen een indicatie gegeven van de zontoetredingsfactor, de convectiefactor en de lichttoetredingsfactor. Tevens wordt de k-waarde van het systeem gegeven.

raamsysteem	ZTA	CF	LTA	U (W/m ² K)
enkelglas (6 mm), onafgeschermd	0.80	0.01	0.84	5.7
enkelglas, binnenjaloezieën (lichte kleur)	0.45	0.50	0.15	5.4
enkelglas, buitenjaloezieën	0.15	0.05	0.12	4.9
dubbelglas, onafgeschermd	0.70	0.04	0.74	3.2
dubbelglas, binnenjaloezieën (lichte kleur)	0.47	0.55	0.12	3.1
dubbelglas, binnenweefsel – licht	0.50	0.30	0.30	3.0
met opgedampte metaallaag – zwaar	0.30	0.50	0.05	2.9
dubbelglas, buitenjaloezieën	0.12	0.05	0.10	2.8
dubbelglas verticaal gespannen doek - licht	0.20	0.10	0.15	2.8
- zwaar	0.13	0.15	0.05	2.8
dubbelglas, uitvalscherf (niet aaneengesloten)	0.15	0.15	0.14	2.8
dubbelglas, markies	0.11	0.18	0.05	2.8
zonreflecterend dubbelglas - licht	0.45	0.02	0.65	*
- zwaar	0.25	0.05	0.35	*
zonabsorberend dubbelglas - licht	0.45	0.06	0.35	3.2
- zwaar	0.25	0.10	0.10	3.2
dubbelglas met spectraal selectieve coating en aangepaste spouwvulling (warmte-isolatie)	0.65	0.05	0.55	1.6
drievoudig glas	0.57	0.07	0.50	2.2

tabel 1. richtwaarden voor de zonweringsgegevens, de lichttoetreding en de k-waarde voor verschillende raamsystemen, zie ook [2], [3] en [4].

* bij ruiten waarbij de reflectie wordt verkregen door een opgedampte metaallaag aan de binnenzijde van de buitenruit, wordt ook de warmteoverdracht in de spouw beperkt en kan de U-waarde dalen tot 1,8 á 2,0 W/m²K en zelfs tot 1,4 á 1,6 W/m²K als ook nog een andere spouwvulling dan lucht wordt toegepast.

N.B. De in de tabel gegeven waarden moeten worden beschouwd als richtwaarden; specifieke producten kunnen sterk afwijkende eigenschappen hebben. Verder is bij veel constructies (glasvlakken) de hoek van inval van de directe zonnestraling van invloed op de reflectie aan het buitenoppervlak. In deze tabel is uitgegaan van een invalshoek van 45°. Bij jaloezieën is de zonwering daarnaast nog sterk afhankelijk van de lamelstand. In deze tabel is uitgegaan van 45°, dus loodrecht op de zonnestraling.

5.4 Zonwerende folies

Op dezelfde manier als hiervoor bij zonwerend glas beschreven kan men een zekere mate van zonwering bereiken door een folie (met daarin een zonreflecterende laag) op een ruit aan te brengen.

Meestal wordt voor de reflectielaag in de folies een metaal met een betrekkelijk laag smeltpunt, zoals aluminium gebruikt. Dit wordt in een vacuümkamer verdampt, waarbij het neerslaat op de folie. Om te voorkomen dat het aluminiumlaagje corrodeert, wordt hier overheen nog een tweede laagje kunststof gelegd. Aan dit tweede laagje voegt men vaak wat pigmenten toe om de kleur van de folie, in doorzicht, wat aan te passen. Mede hierdoor is de lichtdoorlaat (LTA) van de meeste folies minder gunstig dan bij een goede reflecterende glassoort met dezelfde zonweringseigenschappen (ZTA).

Een andere techniek voor het opbrengen van de reflectielaag is de zogenaamde "sputtering"-methode.

Hierbij maakt men metaalatomen los uit een monster door een bombardement met positieve ionen, opgewekt met behulp van een hoog spanningsveld. Dunnere lagen kunnen zo gemaakt worden, waarvan er diverse lagen over elkaar heen kunnen worden gemaakt.

soort folie	soort glas	ZTA	CF	LTA	U (W/m ² K)
matig zonwerend + isolerend	e.g.	0,30	0,15	0,25	3,7
	d.g.	0,40	0,25	0,20	2,5
sterk zonwerend + isolerend	e.g.	0,15	0,15	0,10	3,7
	d.g.	0,30	0,20	0,08	2,5
sterk isolerend + zonwerend	e.g.	0,30	0,20	0,20	2,9
	d.g.	0,35	0,30	folies	2,3
sterk isolerend	e.g.	0,40	0,25	0,35	2,9
	d.g.	0,35	0,30	0,30	2,3
absorberende folie/coating	e.g.	0,55	0,25	0,25	5,7

tabel 2. globale indicatie van de zonweringeigenschappen, de lichttoetreding en de k-waarde van enkele folies, aangebracht op enkel- en dubbelglas

NB: De eerste vier folies ontleen hun zonwerende en isolerende eigenschappen aan een reflectielaag (opgedampt metaal); in alle gevallen is er van uitgegaan dat de folie aan de binnenzijde van de ruit is aangebracht.

Doordat men onafhankelijk is van het smeltpunt, kan men ook met andere metalen dan aluminium werken, en door het kiezen van verschillende materialen ook kleuren mengen. Deze methode levert reflectielagen op die zeer gelijkmatig van dikte zijn. Mede doordat in de meeste gevallen de afdeklaag kan vervallen, is met deze folies een hogere lichtdoorlaat te bereiken bij een zelfde zontoetredingsfactor. In tabel 2 zijn voor enkele folies waarden van ZTA, LTA en k gegeven.

6 Het bepalen van ZTA en CF

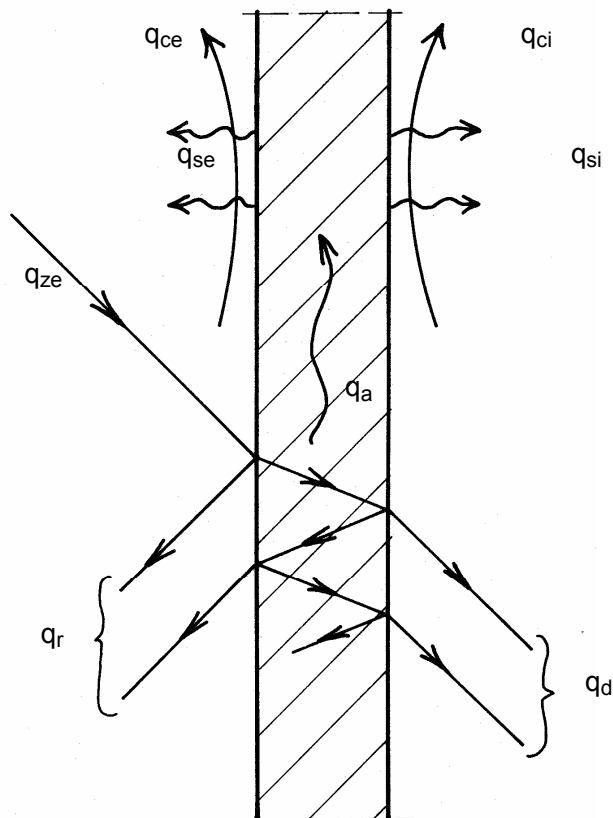
De factoren ZTA, CF en LTA zijn hiervoor al aan de orde geweest. Hier volgen nog eens de juiste definities.

De absolute zontoetredingsfactor ZTA van een raamsysteem volgt uit:

$$ZTA = \frac{\text{binnenkomende zonnearmte}}{\text{opvallende zonne-energie}}$$

Daarbij wordt onder raamsysteem verstaan de totale constructie; glas en eventuele zonwering of gordijnen, etc.

De binnenkomende zonnearmte bestaat enerzijds uit rechtstreeks doorgelaten straling en na eventuele interne reflecties doorgelaten straling, anderzijds uit warmte die aan het binnenoppervlak van de constructie door convectie en straling aan het vertrek wordt afgegeven. Een en ander wordt nog eens verduidelijkt in figuur 11.



q_r	gereflecteerde straling
q_{ze}	opvallende zonne-energie
q_d	doorgelaten straling
q_a	geabsorbeerde straling
q_{ce}	naar buiten convectief afgegeven warmte
q_{se}	naar buiten afgegeven warmtestraling
q_{ci} en q_{si}	idem, naar binnen

figuur 11. optredende energiestromen bij een raamsysteem, ten gevolge van opvallende zonnestraling.
De absolute lichttoetredingsfactor is gedefinieerd analoog aan de absolute zontoetredingsfactor

Op basis van de in deze figuur getekende energiestromen kan de absolute zontoetredingsfactor als volgt worden omschreven.

$$ZTA = \frac{q_d + q_{si} + q_{ci}}{q_{ze}} \quad (4)$$

De convectiefactor CF geeft aan welk deel van de binnenkomende warmte rechtstreeks via convectie in de vertreklucht terechtkomt.

$$CF = \frac{\text{convectief binnenkomende warmte}}{\text{totaal binnenkomende warmte}} = \frac{q_{ci}}{q_d + q_{si} + q_{ci}} \quad (5)$$

Bij raamsystemen met een hoge convectiefactor zal de vertrekluchttemperatuur bij zonbestraling sneller stijgen dan bij raamsystemen met een zelfde ZTA maar met een lage convectiefactor.

7 Het bepalen van de lichttoetredingsfactor

$$LTA = \frac{\text{binnenkomende lichthoeveelheid}}{\text{opvallende hoeveelheid zonlicht}}$$

Hierbij moet bij opvallende en doorgelaten stralingsenergie uiteraard rekening gehouden worden met de ooggevoeligheid.

$$LTA = \frac{\int D(\lambda).V(\lambda)}{\int E(\lambda).V(\lambda)} \quad (6)$$

Hierin is:

$D(\lambda)$	doorlatendheid van het raamsysteem bij de verschillende golflengten
$E(\lambda)$	sterkte van het zonlicht bij de verschillende golflengten (spectrale verdeling van de zonne-energie) in W/m^2
$V(\lambda)$	gevoeligheid van het menselijk oog voor de verschillende golflengten in W/m^2 .

Bovenstaande definities zijn duidelijk; echter, zonder nadere omschrijving van de gehanteerde randvoorwaarden heeft men niet veel aan een opgave van een bepaalde ZTA, CF en LTA van een raamsysteem. Er dient eenduidig te worden vastgelegd welke waarden zijn aangehouden voor:

- binnen- en buitentemperatuur;
- hoek van inval van de zonnestraling;
- overdrachtscoëfficiënten voor straling en convectie.

In 1983 is men gestart met een internationaal onderzoekprogramma, dat onder andere ten doel heeft eenduidige, algemeen geaccepteerde randvoorwaarden en methoden vast te stellen bij het bepalen van de thermische eigenschappen van raamsystemen.

In Nederland wordt bij de bepaling van ZTA en CF meestal uitgegaan van een gelijke binnen- en buitentemperatuur en een invalshoek van de zonnestraling van 45° .

$$T_i = T_e = 25^\circ \text{ C}$$

$$\theta = 45^\circ \text{ (hoek van inval, zonnestraling)}$$

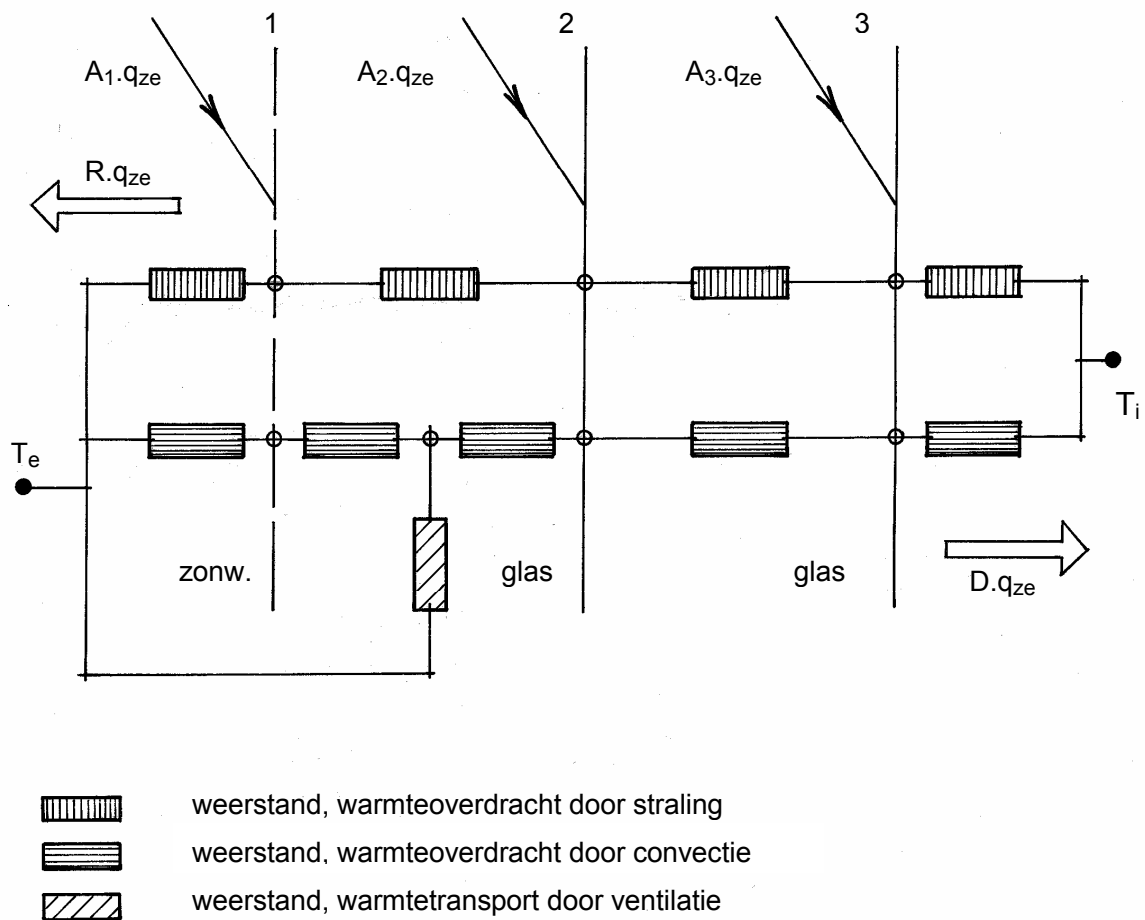
Daarbij worden voor de overgangscoëfficiënten vaak de volgende waarden gebruikt:

$\alpha_{se} = 9 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\alpha_{si} = 5,1 \text{ W/m}^2\text{K}$
$\alpha_{ce} = 14 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\alpha_{ci} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

Soms moeten andere waarden worden gebruikt als het om oppervlakken met een lagere emissiecoëfficiënt dan normaal gaat of als de luchtbeweging door de vorm of hoedanigheid van het oppervlak anders is dan bij een normaal, vlak, glad oppervlak.

Ook de overdrachtscoëfficiënten in spouwen zijn van veel factoren afhankelijk.

Als regel worden ZTA en CF bepaald via een berekening. Daarbij worden de eigenschappen van de verschillende lagen (reflectie, doorlating en absorptie) gebruikt zoals die uit metingen volgen. In ons land wordt dit onder andere door TNO Bouw gedaan voor door het bedrijfsleven vervaardigde producten. De gebruikte rekenmodellen zien er in principe uit zoals in figuur 12 is gegeven.



- A_1, A_2, A_3 in de diverse lagen (na meervoudige reflectie) geabsorbeerd gedeelte van de opvallende zonnestraling
 R gereflecteerd gedeelte van de zonnestraling
 D doorgelaten gedeelte van de zonnestraling

figuur 12. rekenmodel dubbelglas met buitenzonwering

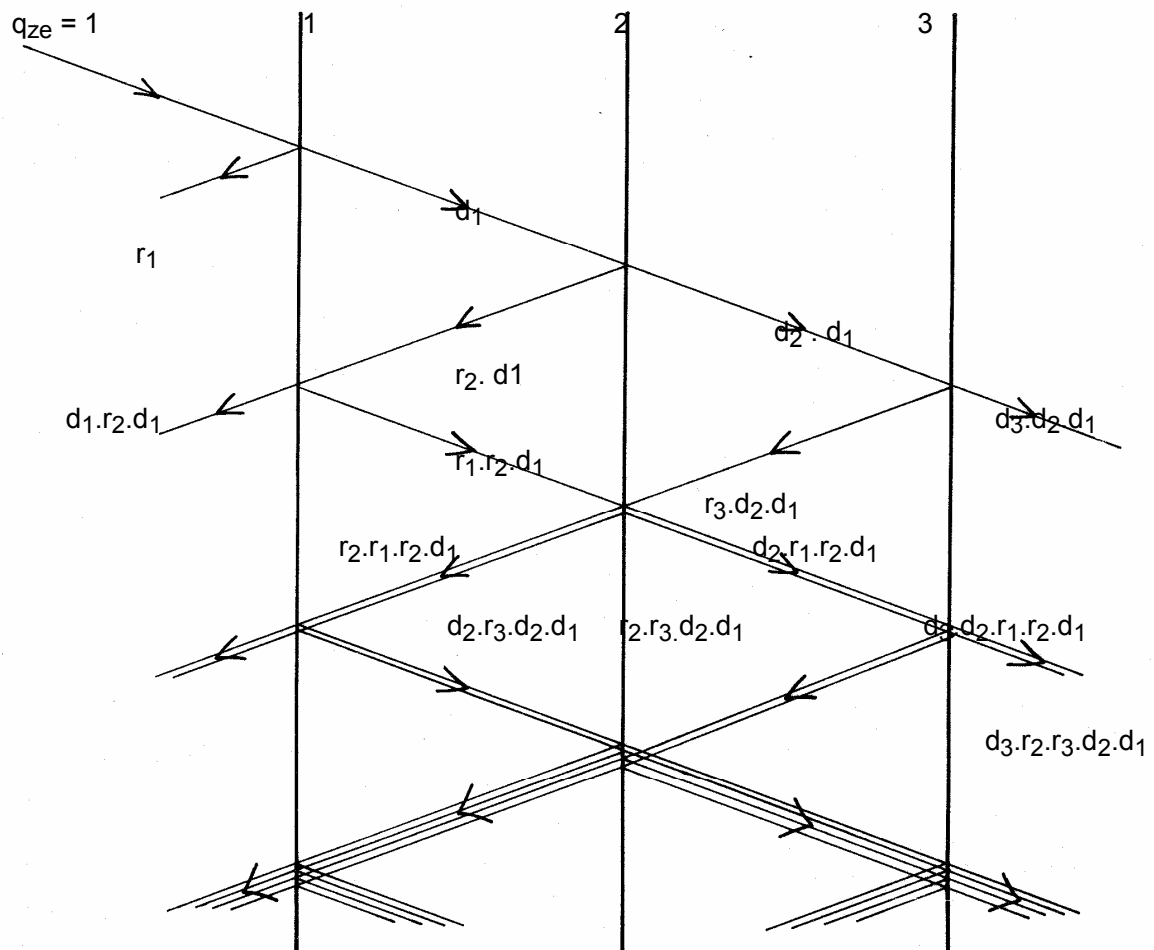
Het getekende model heeft vier knooppunten met onbekende temperaturen, die van de zonwering, de spouw tussen zonwering en glas en de twee ruiten. Voor ieder knooppunt wordt een energiebalans opgesteld. Uit de vier vergelijkingen kunnen de onbekende temperaturen

worden opgelost en daaruit onder andere de warmtestromen q_{si} en q_{ci} die te zamen met q_d ($D \cdot q_{ze}$) de binnenkomende zonnewarmte vormen.

Vooraf moeten nog de absorptiecoëfficiënten A_1 , A_2 en A_3 worden bepaald. Dit doet men door - uitgaande van reflectie, absorptie en doorlating van de verschillende lagen (r , a en d) - een aantal reflecties te volgen (figuur 13). Uit deze berekening volgt tevens de doorlaatcoëfficiënt van het gehele systeem. Hoewel het rekenwerk met behulp van een computerprogramma te natuurlijk gemakkelijker gaat, is het voor systemen met niet meer dan drie lagen ook best met de hand te doen. Als men in het voorbeeld van figuur 13 voor alle drie lagen de waarden $r = 0,1$, $a = 0,1$ en $d = 0,8$ invult, heeft men aan de daar uitgeschreven termen al genoeg als men de bijdragen kleiner dan 0,001 niet meer meeneemt. In dit voorbeeld vindt men dan $A_1 = 0,4$, $A_2 = 0,09$, $A_3 = 0,07$ en $D = 0,52$.

Het bepalen van de lichtdoorlaat LTA kan rechtstreeks via metingen gebeuren omdat men hierbij alleen in de uiteindelijke (na eventuele reflecties) doorgelaten hoeveelheid licht is geïnteresseerd en niet in wat er onderweg op een bepaalde plaats achter blijft.

$$D = d_3 \cdot d_2 \cdot d_1 + d_3 \cdot d_2 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot d_1 + d_3 \cdot r_2 \cdot r_3 \cdot d_2 + \dots$$



$$A_1 = a_1 + a_1 \cdot r_2 \cdot d_1 + A_2 = a_2 \cdot d_1 + A_3 = a_3 \cdot d_2 \cdot d_1 +$$

$$a_1 \cdot r_2 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot d_1 + a_2 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot d_1 + a_3 \cdot d_2 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot d_1 +$$

$$a_1 \cdot d_2 \cdot r_3 \cdot d_2 \cdot d_1 + a_2 \cdot r_3 \cdot d_2 \cdot d_1 + a_3 \cdot r_2 \cdot r_3 \cdot d_2 \cdot d_1 +$$

figuur 13. systemen van meervoudige reflecties, dat de absorptiecoëfficiënten van de verschillende lagen bepaalt en de doorlaatcoëfficiënt van de gehele constructie

LITERATUUR

1. "Koellastberekening voor gebouwen", NEN 5067, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1984.
2. "Zonwering bij gebouwen", Stichting Bouwresearch, publicatie 42, Rotterdam.
3. "Zontoetredingsfactoren", ISSO, publicatie 2, Rotterdam, augustus 1975.
4. "Het weren en benutten van zonnewarmte door raamsystemen", Technisch Fysische Dienst TNO/TH, rapport 800.225, Delft, januari 1982.