

Transparantie & façade

Centraal staat het begrip transparantie in relatie tot het bouwdeel façade. Uitgangspunt hierbij is de maximale transparantie van de façade die wordt bereikt door de toepassing van verdiepingshoog (kleur) neutraal glas binnen verschillende façadeconcepten.

- door ir. T.L.J. den Boer en prof.ir. W. Zeiler***

WAT IS TRANSPARANTIE?

In het Van Dale Groot woordenboek zijn de termen *transparant* en *transparantie* als volgt gedefinieerd:

trans · pa · rant (bn.)

- 1 doorzichtig, doorschijnend

trans · pa · ran · tie (de - (v.))

- 1 het transparant zijn
- 2 (nat.) de verhouding van de intensiteit van het door een lichaam doorgelaten licht tot die van het eropvallende licht

Bouwkundig beschouwd, benoemen de begrippen transparant en transparantie het doorzichtig, dan wel doorschijnend zijn van een bepaald gebouwonderdeel, in dit geval het

glasdeel in de façade. De tweede definitie van de term transparantie is geformuleerd vanuit de fysica: de glasplaat laat een bepaald deel van het opvallende licht door. Het vermogen van glas om straling en in het bijzonder zichtbare straling door te laten, maakt dit materiaal uniek. Binnen de architectuur is lichtdoorlatendheid de belangrijkste eigenschap van glas. [1] Als gevolg van transparantie ontstaat een visuele relatie tussen de ruimte voor en achter de glasplaat. Deze relatie is tweeledig. Onderscheiden worden: het (door)zicht van binnen naar buiten, en vice versa.

De lichtdoorlatendheid, en daarmee de transparantie van het materiaal glas kan worden verklaard door de chemi-

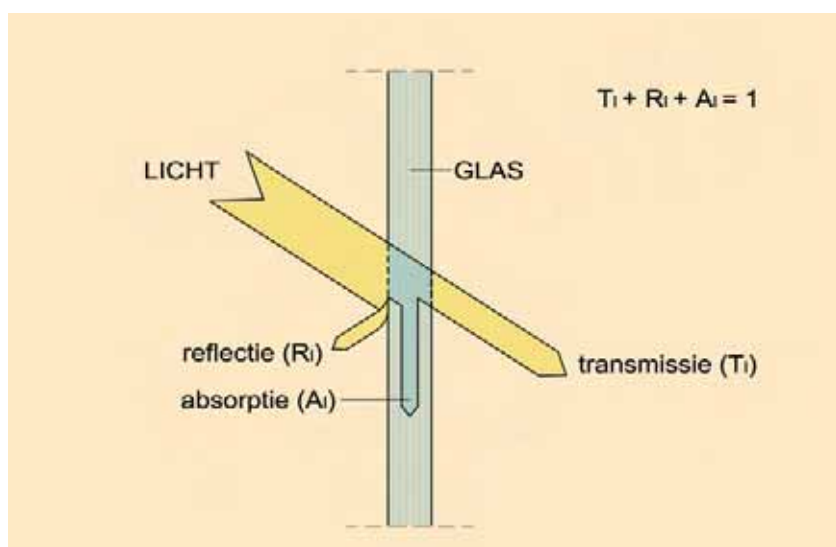
sche structuur van glas. Door het ontbreken van een kristallijne structuur kunnen opvallende lichtstralen het glas passeren zonder te worden verstrooid. Glassoorten met SiO₂ (siliciumoxide = zand) als grondstof, laten straling met een golflengte (λ) van 315 tot 3.000 nm door. [2]

Het voor de mens visueel waarneembare deel van straling, beslaat uitsluitend het golflengtegebied van 380 tot 780 nm en wordt kortweg *licht* genoemd (figuur 1). In analogie kan *zonlicht* worden beschreven als het licht dat door directe zonnestraling wordt geleverd. De lichtstroom die zowel door directe als diffuse zonnestraling wordt geleverd, noemt men *daglicht*.

Lichtstraling wordt zichtbaar wanneer het in aanraking komt met materie. Naast een zichtbaar stralingsdeel in de vorm van licht, produceren lichtbronnen (de zon, kunstverlichting) tevens onzichtbare straling, waaronder warmte. Het is de interactie tussen het materiaal glas en het visueel waarneembare deel van straling die aan het fenomeen transparantie ten grondslag ligt. De kleurneutraliteit is van invloed op de beleving van transparantie.

Transmissie, reflectie en absorptie

Zoals opgemerkt, wordt een bepaald deel van het opvallende zichtbare licht door glas doorgelaten (transmissie), terwijl andere delen worden gereflecteerd, dan wel geabsorbeerd (figuur 1). De som van de afzonderlijke delen is gelijk aan de totale hoeveelheid opvallend licht: ($T_i + R_i + A_i$) = 1. Transmissie, reflectie en absorptie zijn functies van de golflengte van het licht en zijn bovendien productspecifiek. Elke glassoort heeft een unieke transmissie-, reflectie- en absorptie-factor

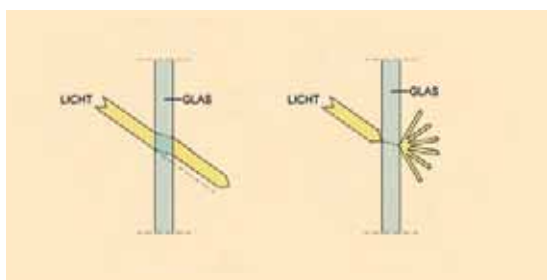


Transmissie, reflectie en absorptie van licht door glas.

- FIGUUR 1 -

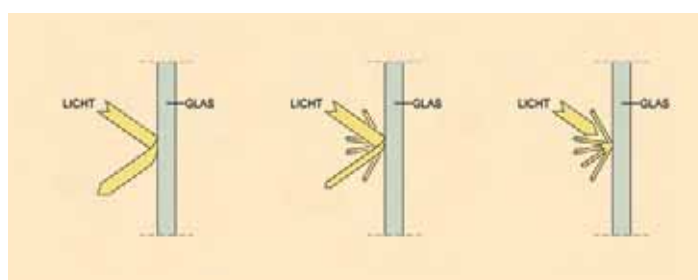
* Devroux & Purnell Architects. Planners, p.c., Washington, D.C.

** TU/e Bouwkunde, hoogleraar Installaties



De breking van licht (links) en diffuse transmissie door glas.

- FIGUUR 2 -



Van links naar rechts: spiegelende, gespreide en diffuse reflectie. [2]

FIGUUR 3 -

De transparantie van een (kleur) neutraal glasproduct zonder enige oppervlaktebehandeling wordt primair beïnvloed door effecten door de transmissie en reflectie van licht. Geabsorbeerde lichtstraling wordt omgezet in onzichtbare langgolvlige warmtestraling, die vervolgens aan de omgeving wordt afgegeven. Het deel van het opvallende licht dat door moderne neutrale beglazingen wordt geabsorbeerd is klein ten opzichte van het deel dat wordt getransmitteerd, of gereflecteerd.

De transmissie van licht wordt beïnvloed door de brekingsindex van het glas. Hoewel de uitgaande lichtstraal parallel is aan de invallende lichtstraal, vindt er een verschuiving plaats (figuur 2). Glasachtige materialen waarin toeslagmaterialen zijn verwerkt (bv. melkglas) of beglazingen met een oppervlaktebehandeling (bv. gezandstraald glas), laten een diffuse transmissie van het opvallende licht zien. Men spreekt van *translucente* materialen, het glas is niet langer transparant.

De hoeveelheid getransmitteerd licht (intensiteit) wordt uitgedrukt in de absolute lichttoetredingsfactor, oftewel de *LTA-waarde* (-). De LTA-waarde wordt gedefinieerd als het quotiënt van de door het glas doorgelaten hoeveelheid licht en de totale hoeveelheid opvallend licht (figuur 1). In de meeste gevallen wordt de LTA-waarde bepaald voor loodrecht opvallende straling. Bij

de bepaling van de LTA wordt rekening gehouden met de relatieve spectrale ooggevoeligheid van de mens. Dit fenomeen ligt besloten in het feit dat het menselijk oog verschillend reageert op de afzonderlijke kleuren binnen het zichtbare stralingsgebied van 380 tot 780 [nm]. Kleuren blijken bij een zelfde vermogen in helderheid van elkaar te verschillen. Het menselijk oog is maximaal gevoelig voor het geelgroene kleurgebied ($\lambda = 555$ nm).

Naast transmissie en absorptie vindt er reflectie plaats: een deel van het opvallende licht wordt door het glasoppervlak gereflecteerd. De reflectiviteit is afhankelijk van de afwerking van het glasoppervlak. Wanneer het glasoppervlak glad is (bijvoorbeeld floatglas) dan wordt de invallende lichtstraling onder dezelfde hoek teruggekaatst, men spreekt in dat geval van spiegelende reflectie. Diffuse en gespreide reflectie treden op bij transluente glassoorten met bewerkte oppervlakken zoals figuur- en draadglas (figuur 3).

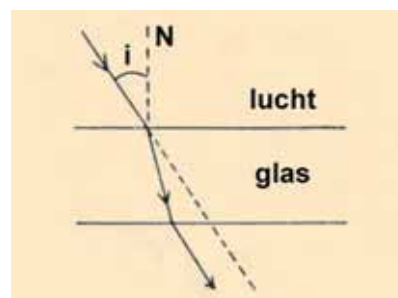
De hoeveelheid gereflecteerd licht wordt uitgedrukt in de lichtreflectiefactor (LR). Dit is het quotiënt van de gereflecteerde hoeveelheid licht en de hoeveelheid opvallend licht (figuur 1). De reflectiefactor is een functie van de golflengte (λ). Sommige oppervlakken reflecteren voornamelijk één bepaalde golflengte en transmitteren of absorberen de overige. Het opper-

vlak neemt de kleur aan die overeenkomt met de golflengte van het gereflecteerde licht. De reflectie van daglicht is vastgelegd in de buitenlichtreflectiefactor (BLR). In tabel 2 zijn enkele glassoorten met bijbehorende BLR-factoren weergegeven.

Lichtreflecties zijn afhankelijk van de hoek waaronder het glas wordt waargenomen. De reflectie van de meeste typen glas neemt toe naarmate de hoek (i) ten opzichte van de normaal van het glas (N) groter wordt (figuur 4). De grenshoek (g) kan worden bepaald met de formule: [4]

$\sin g = n / n'$, waarin:

- g : de grenshoek ($^\circ$);
- n : de brekingsindex van medium 1 (lucht) (-);
- n' : de brekingsindex van medium 2 (glas) (-).



Hoek en reflectie.

- FIGUUR 4 -

Type beglazing	LTA-waarde [-]
Blanke enkele beglazing, 4 (mm)	0,90
Blanke isolerende dubbele beglazing, 4-12-4 (mm)	0,81
Neutrale isolerende dubbele beglazing met low-E (HR ⁺⁺), 4-15/16-4 (mm)	0,76
Neutrale isolerende drievoudige beglazing met low-E, 4-8-4-8-4 (mm)	0,66
Neutrale isolerende dubbele beglazing met zonwerende coating, 6-15-6 (mm)	0,60

LTA-waarden voor verschillende glassoorten, bepaald volgens EN 410. [3]

- TABEL 1 -

Type beglazing	BLR – buitenlichtreflectiefactor [-]
Blanke enkele beglazing, 4 (mm)	0,08
Blanke isolerende dubbele beglazing, 4-12-4 (mm)	0,14
Neutrale isolerende dubbele beglazing met low-E (HR ⁺), 4-15/16-4 (mm)	0,13
Neutrale isolerende drievoudige beglazing met low-E, 4-8-4-8-4 (mm)	0,14
Neutrale isolerend dubbele beglazing met zonwerende coating, 6-15-6 (mm)	0,15

BLR-factoren voor verschillende glassoorten, bepaald volgens EN 410. [56]

- TABEL 2 -

Totale reflectie treedt op wanneer de hoek van het invallende licht groter is dan de grenshoek ($i > g$). In dat geval 'verliest' het glas zijn transparantie. Dit is een belangrijk esthetisch gegeven: een transparant oppervlak kan ondoorzichtig lijken door reflectie. De brekingsindex van lucht is 1,00 (-). Voor glas bedraagt deze waarde gemiddeld 1,50 (-).

De perceptie van reflectie is onlosmakelijk verbonden met de luminantieverschillen die voor en achter het glasoppervlak optreden. Hoewel de LR onafhankelijk is van lichtverhoudingen, lijkt glas uitsluitend het licht van de sterkste lichtbron te reflecteren. Overdag is deze bron het daglicht; het exterieur van een gebouw kan als een spiegel worden ervaren (figuur 5). Anderzijds ervaart men in het interieur geen hinderlijke reflecties.

's Avonds (en 's nachts) is de kunstverlichting binnen het gebouw de sterkste lichtbron; de beglazing werkt nu aan de binnenzijde als een spiegel. Van buiten gezien lichten de transparante delen van het gebouw nu op en wordt het interieur zichtbaar (figuur 6). Zo neemt een transparant gebouw afhankelijk van de tijd op de dag, de klimatologische omstandigheden en de seizoenen verschillende 'gedaantes' aan.

Door toepassing van speciale anti-reflectie coatings kan de reflectie van glas worden gereduceerd. Op deze wijze kan de reflectie van onbehandeld floatglas van 8 % naar 1 % worden teruggebracht en de transparantie van het glas worden vergroot. Voor het grootste effect dienen deze anti-reflectie coatings op alle glasoppervlakken grenzend aan een medium met een afwijkende brekingsindex (bijvoorbeeld lucht) te worden aangebracht. Nadelen zijn onder meer de krasgevoeligheid en de onverenigbaarheid



Links: Pepco Headquarters, Washington, D.C. (2001), arch.: Devroux & Purnell Architects · Planners. De glasfaçade werkt onder invloed van het daglicht als een spiegel. Rechts: kantoor KPMG, Leipzig (1998), arch.: Schneider & Schumacher. Het interieur van het transparante gebouw licht 's avonds op.

- FIGUUR 5 EN 6 -

van anti-reflectie coatings met zonwerende coatings. Ontspiegelde beglazingen worden veelal in etalages toegepast. Door de hoge kosten is toepassing van dit soort glas in gehele façades vooralsnog ondenkbaar.

Kleurneutraliteit

Naast de intensiteit van het doorgelaten licht (vastgelegd in de LTA-waarde) is ook het fenomeen kleurneutraliteit van belang voor de beleving van transparantie. De kleurweergave van objecten achter glas wordt beïnvloed door de aard van de beglazing. Toepassing van gekleurd glas of een beglazing met een sterk spiegelende coating, kan de kleurweergave aantasten. De zogenaamde kleurneutraliteit in transmissie wordt uitgedrukt in de kleurweergave-index R_a . Deze index heeft een waarde tussen 0 en 100 en wordt gerelateerd aan een gestandaardiseerde daglicht energieverdeling. Hiervoor wordt veelal het standaard spectrum voor daglicht met een kleurtemperatuur van 6.500 K gebruikt (ook wel aangeduid als D_{65}). Een R_a groter dan 90 (D_{65}) duidt op een uitstekende (natuurlijke) kleurweergave bij daglicht. R_a -waarden groter dan 80

(D_{65}) wijzen op een goede weergave van kleur. [5]

WAAROM TRANSPARANT BOUWEN?

In de hedendaagse architectuur worden vooral in West-Europa in toenemende mate transparante gebouwen gerealiseerd. Er zou kunnen worden gesproken van een trend binnen de architectuur. De motieven voor deze glasarchitectuur lopen uiteen.

Met het oog op de eisen voor een comfortabel binnenklimaat lijkt de keuze voor een volledig glazen façade niet de meest logische. Er worden randvoorwaarden geschapen waardoor voornamelijk op bouwfysisch en energetisch gebied problemen kunnen ontstaan. Genoemd kunnen worden: de opwarming van het binnenklimaat onder invloed van zonbelasting, thermische verliezen (winter), grote hoeveelheden invallend licht en het gereduceerde thermisch comfort in de gevelzone. Kennelijk liggen andere argumenten ten grondslag aan de transparante architectuur:

- maximalisatie van het visuele contact tussen de binnen- en de buiten-

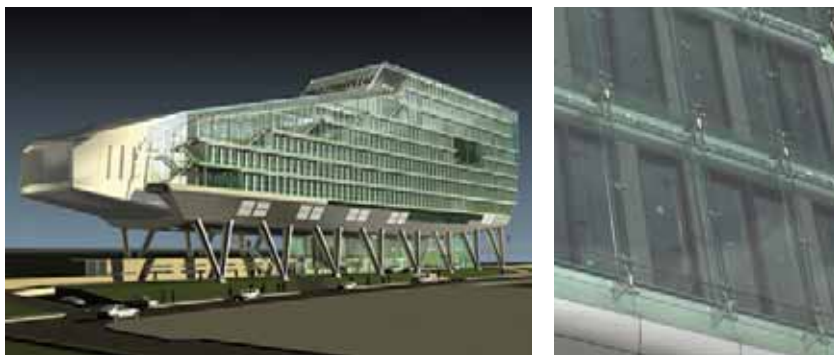
- wereld en vice versa: de façade functioneert als medium;
- esthetische overwegingen: het uiterlijk van een glazen gebouw spreekt tot de verbeelding;
 - transparantie als eigentijdse exponent van de *high tech*-architectuur: de ontwerper laat zien hoe het gebouw in elkaar zit;
 - status en imago: transparante architectuur onderscheidt zich (nog) in de gebouwde omgeving;
 - transparantie als reflectie van de 'corporate identity': de transparante architectuur als verwijzing naar het *open* karakter van de onderneming (figuur 7-8);
 - kettingreactie: architecten inspireren elkaar tot het creëren van transparante architectuur.

ASPECTEN TRANSPARANTE FAÇADESYSTEMEN

Een complex van factoren is van invloed op het ontwerp en het gebruik van transparante façadesystemen. Achtereenvolgens worden de bouwfysische aspecten en de gebruiksaspecten besproken.

Bouwfysische aspecten

Bij toepassing van grote glasvlakken zijn een aantal bouwfysische aspecten van belang. De dunne glazen schil vormt een fysisch 'open' medium tussen het binnen- en buitenklimaat. Thermisch beschouwd veroorzaakt glas duale problemen; het verlies van warmte en de kans op koudeval en koudestraling in de winterperiode enerzijds en opwarming van het binnenklimaat bij bezonning anderzijds. Hiernaast spelen de grote hoeveelhe-



Hoofdkantoor ING-groep, Amsterdam (2002), arch.: Meyer en Van Schooten: transparantie als verwijzing naar de 'corporate identity'. [6]

- FIGUUR 7 EN 8 -

den invallend daglicht en de geluidswerende eigenschappen van de glasfaçade een rol.

Bovengenoemde factoren zijn afhankelijk van de fysische eigenschappen van het materiaal glas. Deze eigenschappen vormen de basis voor de prestaties van samengestelde glasconstructies zoals dubbele- en drievoudige beglazingen. In tabel 3 zijn de primaire eigenschappen van floatglas weergegeven.

Thermische isolatie

Voor gesloten geveldelen vereist het Bouwbesluit een minimale R-waarde van 2,5 m²·K/W. De minimale isolatiewaarde voor de doorzichtigdelen is variabel en volgt uit de Energie Prestatie berekening voor het totale ontwerp. De R-waarde representeert de warmteweerstand en is gelijk aan het quotiënt van de warmtegeleidingscoëfficiënt en de dikte van de constructie: $R = \lambda / d$ (m²·K/W). De thermische eigenschappen van glassystemen worden uitgedrukt in de *U-waarde*, voorheen

k-waarde genoemd. De warmte doorgangcoëfficiënt U is een maat voor het gemak waarmee warmte in een materiaal wordt getransporteerd en is omgekeerd evenredig met de R-waarde: $U = 1 / R$ (m²·K/W). De U-waarde wordt gemeten van lucht op lucht.

Het transport van warmte kan plaatsvinden door drie mechanismen: geleiding, convectie en straling. Men spreekt van geleiding wanneer de warmte in het materiaal van molecuul op molecuul wordt doorgegeven. Bij convectie wordt warmte door een stromend medium (bijvoorbeeld lucht) overgedragen. In het geval van straling vindt warmtetransport plaats zonder transportmedium in de vorm van elektromagnetische stralingspakketjes.

In de literatuur wordt onderscheid gemaakt tussen de theoretische U-waarde en de equivalente waarde U_{eq} . Door de zonbelasting neemt het netto effect van de transmissieverliezen af. De mate waarin is afhankelijk van de geografi-

Eigenschap	Symbol	Waarde	Eenheid
Dichtheid	ρ	2.500	kg/m ³
Elasticiteitsmodulus (bij 20 °C)	ϵ	7,3·10 ⁴	N/mm ²
Maximaal opneembare buigtrekspanning	σ	50	N/mm ²
Smeltemperatuur	θ_s	1.500	°C
Verwekingstemperatuur	θ_v	600 ÷ 700	°C
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α	6 ÷ 11·10 ⁻⁶	m/(m·K)
Warmtegeleidingscoëfficiënt	λ	0,8	W/(m·K)
Soortelijke warmtecapaciteit	c	840	J/(kg·K)
Dampdiffusieweerstandsgetal	μ	∞	(-)

Primaire eigenschappen van floatglas. [7]

- TABEL 3 -

sche oriëntatie van het glasoppervlak. Dit effect wordt uitgedrukt door de waarde U_{eq} . [2]

De waarde U_{raam} is een maat voor de warmteweerstand van een beglazing inclusief de raamprofielen en is gedefinieerd als een gewogen gemiddelde:

$$U_{raam} = \{(U_{glas} \cdot A_{glas}) + (U_{prof} \cdot A_{prof})\} / A_{tot}$$

waarin:

U : de warmtEDOORgangSCOëfficiënt $W/(m^2 \cdot K)$;

A : het oppervlak m^2 .

De warmteweerstand van de profielen is in hoge mate afhankelijk van het geleidingsvermogen van het toegepaste materiaal. Staal en aluminium zijn goede geleiders: $\lambda = 52$, respectievelijk $204 W/(m \cdot K)$. Hout en kunststoffen hebben een relatief laag geleidingsvermogen: $\lambda = 0,17 W/(m \cdot K)$. [7] Door in de profilering een koudebrugonderbreking op te nemen kan de thermische weerstand aanzienlijk worden vergroot.

Glas is een slechte isolator. Om thermische verliezen tijdens koude periodes te minimaliseren worden isolerende beglazingen toegepast.

Koudeval en koudestraling

Afhankelijk van het binnen- en buitenklimaat en de thermische eigenschappen van het façadesysteem kan in de gevelzone *koudeval* optreden. In dit geval koelt de lucht aan een koud glasoppervlak af, wat een neerwaartse stroom van koude lucht op gang brengt. Of koudeval in de gevelzone kan resulteren in een thermisch onbehaaglijk binnenklimaat hangt voornamelijk af van de thermische eigenschappen van de toegepaste beglazing (U -waarde) en de dimensies van het glasoppervlak. Hier geldt de volgende vuistregel: [8]

$$(U_{glas} \cdot h) \leq 3,2 \quad \text{waarin:}$$

U_{glas} : de gemiddelde U -waarde van het glas $W/(m^2 \cdot K)$;

h : de effectieve hoogte van het glas in m.

De bovenstaande formule geldt bij een maximale luchtsnelheid van $0,15 [m/s]$. De ongunstige invloed van de (aluminium) stijlen en regels kan worden verrekend door uit te gaan van de waarde U_{raam} . De effectieve hoogte van het glas kan worden verkleind door toepassing van een tussenregel, waardoor de neerwaartse luchtstroom

wordt onderbroken. Andersom kan een opwaartse stroom worden opgewekt door toepassing van een convectator in de gevelzone.

Lage oppervlaktetemperaturen aan de binnenzijde van de beglazing (θ_{glas}) kunnen tevens resulteren in koudestraling. Gesteld wordt dat het verschil tussen de gemiddelde stralingstemperatuur van de omgeving en de stralingstemperatuur van het glasoppervlak niet groter mag zijn dan $10 K$. Hiernaast geldt de formule:

$$(\theta_i + \theta_{mrt}) / 2 \geq 19 \text{ } ^\circ C, \text{ waarin:}$$

θ_i : de binnenluchttemperatuur $^\circ C$;

θ_{mrt} : het gewogen gemiddelde van de stralingstemperatuur van vloer, wanden en plafond $^\circ C$.

In verband met het risico van condensatie kan hiernaast de dauwpuntstemperatuur van het glasoppervlak als minimum gelden. De term koudestraling is overigens een fysisch foutief begrip: het is de warmteafgifte van het menselijk lichaam naar het glasoppervlak die wordt waargenomen.

BEPALING KOUDEVAL AAN GLASOPPERVLAKKEN

Een thermisch behaaglijk binnenklimaat is onder meer afhankelijk van de luchtsnelheden binnen het vertrek. Om tochtverschijnselen te voorkomen wordt als richtlijn gesteld dat de gemiddelde luchtsnelheid kleiner dient te zijn dan $0,15 m/s$. Er bestaan veel theorieën op het gebied van de luchtsnelheidsverdeling in een ruimte, die als gevolg van thermische stromingen ontstaat. De verdeling van de luchtsnelheden kan echter niet op eenvoudige wijze worden berekend.

Koudeval aan glasoppervlakken kan tocht veroorzaken. De Deense onderzoeker *B. W. Olesen* stelde een vereenvoudigde rekenmethode op waarmee reeds in het ontwerp stadium kan worden bepaald welke invloed de hoogte en de U -waarde van het toegepaste glas hebben op koudeval [8].

De maximale luchtsnelheid (v_{max}) is afhankelijk van het temperatuurverschil tussen de luchttemperatuur en de temperatuur aan de binnenzijde van het glas: $\Delta\theta = (\theta_i - \theta_{oi})$ en de hoogte van het glas (h). De maximale luchtsnelheid kan aan de hand van de volgende formule worden bepaald: [9; 10; 11]

$$v_{max} = K \sqrt{(\Delta\theta \cdot h)} \text{ m/s}$$

Hierbij kan K , afhankelijk van de hoogte en de isolatiewaarde van het glas, variëren tussen $0,052$ en $0,8$. [11] De samenhang tussen de U -waarde van het glas en het temperatuurverschil ($\Delta\theta$) tussen de vertrektemperatuur en de temperatuur van het glas is vastgelegd in de formule:

$$\Delta\theta = (\theta_i - \theta_{oi}) = U_{glas} \cdot r_i (\theta_i - \theta_a),$$

waarin:

θ_i $^\circ C$: de binnenluchttemperatuur = $22 \text{ } ^\circ C$ (optimale temperatuur in de winter);

θ_a $^\circ C$: de buitenluchttemperatuur = $-10 \text{ } ^\circ C$;

θ_{oi} $^\circ C$: oppervlaktetemperatuur aan de binnenzijde; warmteovergangsweerstand binnen = $0,13 m^2 \cdot K/W$ (NEN 1068);

U_{glas} $W/(m^2 \cdot K)$: de gemiddelde U -waarde van het glas.

Dit geeft:

$$\theta = U_{glas} \cdot 0,13 (22 - (-10)) = U_{glas} \cdot 4,16$$

en

$$v_{max} = 2,04 \cdot K \sqrt{(U_{glas} \cdot h)}$$

Van belang is hoe groot de luchtsnelheid is wanneer deze de verblijfszone bereikt (op circa $1,0 m$ van het glasvlak). Men gaat er vanuit dat de luchtsnelheid ter plaatse van de vloer met ongeveer 30% is afgenomen. [11; 12] Er bestaat echter geen eenduidigheid over de samenhang tussen de afstand tot het koude oppervlak en de vermindering van de luchtsnelheid. *Shillinglaw* geeft voor dubbele beglazingen met een hoogte groter dan $1,5 m$, $K = 0,056$ aan. [11] In combinatie met een reductiefactor van $0,7$ volgt hieruit:

$$v_{max} \approx 0,080 \sqrt{(U_{glas} \cdot h)} \text{ m/s}$$

Uit een grootschaliger experimenteel onderzoek van *Heiselberg* volgt dat de maximale luchtsnelheid tussen $0,4$ en $2,0 m$ vanaf het glas kan worden benaderd met de formule [13]:

$$v_{max} = (0,095 \sqrt{(h \cdot \Delta\theta)}) / (x + 1,32) \text{ m/s}$$

waarin:

x m: afstand tot het glas ($0,4 < x < 2,0$).

De substitutie $\Delta\theta = U_{glas} \cdot 4,16$ geeft de maximale luchtsnelheid op een afstand

van 1 m van het glas:

$$v_{\max} = 0,084 \sqrt{(U_{\text{glas}} \cdot h)} \text{ m/s}$$

Een vrijwel identieke vergelijking waaruit het criterium voor de hoogte van het glas kan worden afgeleid:

$$h \leq (11,97 \cdot v_{\max})^2 / U_{\text{glas}} \text{ m}$$

$$(v_{\max} = 0,15) \text{ m/s geeft: } U_{\text{glas}} \cdot h \leq 3,23$$

Afhankelijk van de toegestane maximale luchtsnelheid kan met behulp van de bovenstaande formule de maximale hoogte van het glas worden bepaald voor verschillende U-waarden (tabel K1).

Het TVVL Handboek verwijst in deze context naar ISSO-publicatie 9 (*Luchtverwarming in woningen door middel van direct gestookte luchtverhitters*, 1980 & 1986) waar wordt gesteld dat bij toepassing van dubbel glas mag worden gerekend met de volgende uitgangspunten:

$$- h_{\max} \leq 1,5 \text{ bij een } U_{\text{glas}} = 3,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$(U_{\text{glas}} \cdot h \leq 5,10);$$

$$- h_{\max} \leq 1,8 \text{ bij een } U_{\text{glas}} = 2,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$(U_{\text{glas}} \cdot h \leq 3,96).$$

De ongunstige invloed van stijlen (en regels) in de façade kan worden ver-

kend door uit te gaan van de waarde U_{raam} .

Wanneer niet wordt voldaan aan het bovenstaande, kan de *effectieve glas-hoogte* worden gereduceerd door de introductie van tussenregels in het glasvlak. Op deze manier wordt de lucht van het glas afgeleid en worden minder grote luchtsnelheden bereikt. Een andere oplossing is het installeren van een warmtebron (bijvoorbeeld convector) onder het glasvlak, waardoor een opwaartse luchtstroom wordt gegenereerd. [8; 14]

Beglazing	U_{glas}	h
Blanke isolerende dubbele beglazing, 4-12-4 mm, spouwvulling: lucht	2,9	< 1,1
Neutrale isolerende dubbele beglazing met low-E (HR**), 4-15/16-4 mm, spouwvulling: lucht	1,4	< 2,3
Neutrale isolerende dubbele beglazing met zonwerende en low-E coating, 6-15-6 mm, spouwvulling: argon	1,1	< 3,0
Neutrale isolerende drievoudige beglazing met low-E, 4-8-4-8-4 mm	0,9	< 3,6

Maximale glashoogtes voor verschillende beglazingen, $v_{\max} = 0,15 \text{ m/s}$.

- TABEL K1 -

Opwarming van het binnenklimaat bij bezonning

In relatie tot transparante façadesystemen is zonnestraling de belangrijkste klimaatfactor. Een transparante constructie laat een deel van de opvallende zonnestraling (Q_z) door, als gevolg waarvan het achterliggende vertrek wordt verwarmd. De interactie tussen glas en zonnestraling is in figuur 9 schematisch weergegeven. De opvallende kortgolelige straling wordt deels getransmitteerd, deels gereflecteerd en deels geabsorbeerd. Uit de wet van behoud van energie volgt:

$$(T_c + R_c + A_c) = 1, \text{ waarin:}$$

T_c : *energetische transmissie*: het quotiënt van de hoeveelheid direct doorgelaten zonnestraling (T) en de totale hoeveelheid opvallende zonnestraling (Q_z);

R_c : *energetische reflectie*: het quotiënt van de hoeveelheid gereflecteerde zonnestraling (R) en de totale hoeveelheid opvallende zonnestraling (Q_z);

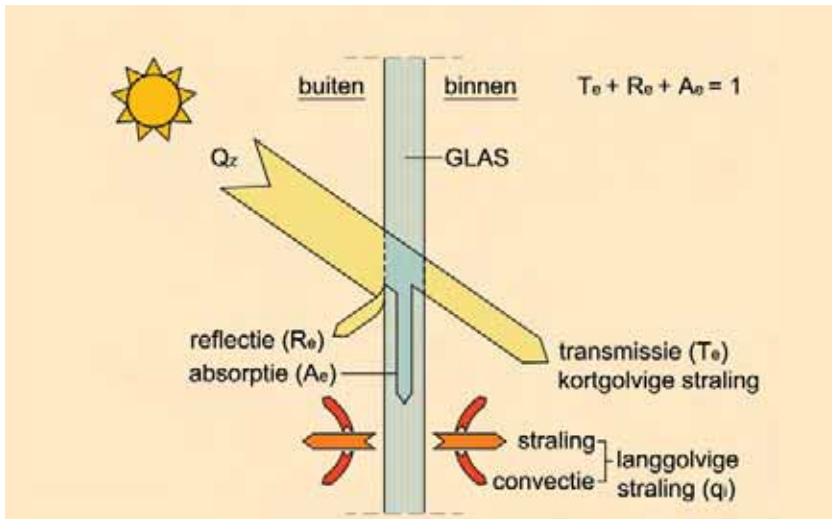
A_c : *energetische absorptie*: het quotiënt van de hoeveelheid geabsorbeerde zonnestraling (A) en de totale hoeveelheid opvallende zonnestraling (Q_z).

De geabsorbeerde stralingsenergie wordt door middel van straling en convectie als langgolelige warmtestraling ($\lambda > 2.500 \text{ nm}$) zowel naar binnen als naar buiten afgegeven. Het deel van de zonne-energie dat op deze wijze het vertrek binnentreedt, wordt de additionele (of secundaire) warmtestroom genoemd, aangeduid met het symbool q_i . Het gedeelte van q_i dat door convectie aan de vertrekklucht wordt overgedragen, beïnvloedt de temperatuur in het achterliggende vertrek sterker dan het stralingsdeel. Het convectieve deel heeft een direct waarneembare verhoging van de temperatuur tot gevolg. De totale hoeveelheid binnentredende zonnestraling wordt uitgedrukt in de absolute zontoetredingsfactor of *ZTA-waarde* (-) die gelijk is aan de som van T_c en q_i . De convectiefactor (CF) is een maat voor de hoeveelheid zonnestraling die als gevolg van convectie (in de vorm van langgolelige warmtestraling) het vertrek binnentreedt.

Zonnestraling bestaat uit drie componenten: ultraviolette straling, visueel waarneembare straling en near infrared straling. Het spectrum van zonlicht toont dat het grootste deel van de zonne-energie (potentiële warmte)

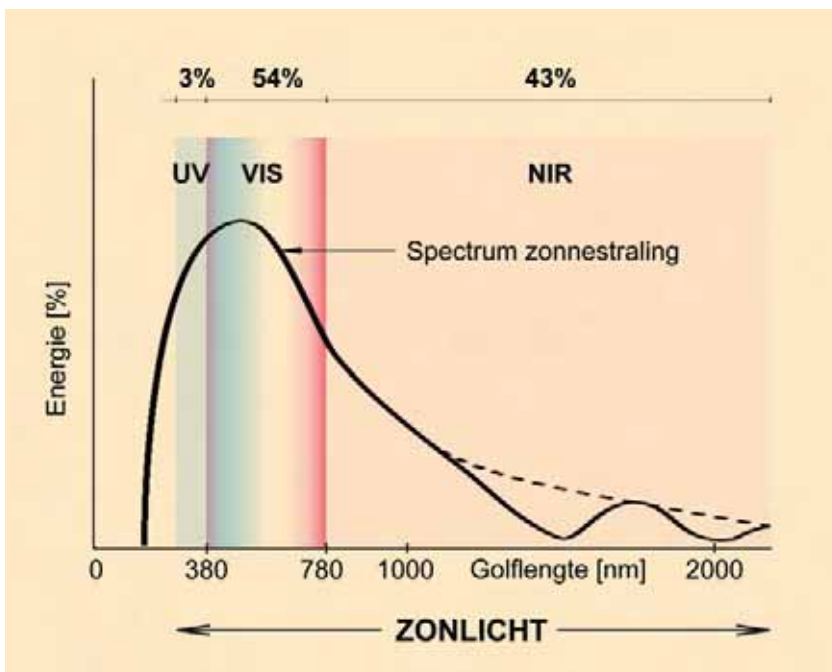
zich bevindt in het VIS- en NIR-gebied (figuur 10). Om te voorkomen dat het binnenklimaat teveel opwarmt, tracht men een zo laag mogelijke ZTA-waarde te realiseren met behoud van een zo hoog mogelijke transmissie in het VIS-gebied (dit in verband met de gewenste transparantie). Gezien het feit dat 54 % van de zonne-energie zich in dit VIS-gebied bevindt, is het in de praktijk vrijwel onmogelijk de ZTA-waarde te reduceren zonder de transmissie van licht te beïnvloeden.

Als men de spectrale transmissie van blank floatglas beschouwt, dan blijkt het grootste deel van de opvallende zonnestraling (ca. 80 %) direct te worden doorgelaten (figuur 11). De overige straling wordt gereflecteerd, dan wel geabsorbeerd. Het getransmitteerde deel van de kortgolelige zonnestraling (T_c) wordt door de wanden en vloeren van het achterliggende vertrek geabsorbeerd en omgezet in waarneembare langgolelige warmtestraling. Opgewarmde onderdelen van het gebouw stralen de geaccumuleerde warmte vervolgens uit naar de overige wanden en materie in het vertrek, waardoor het binnenklimaat opwarmt. Omdat glas een natuurlijke barrière vormt voor langgolelige warmtestra-



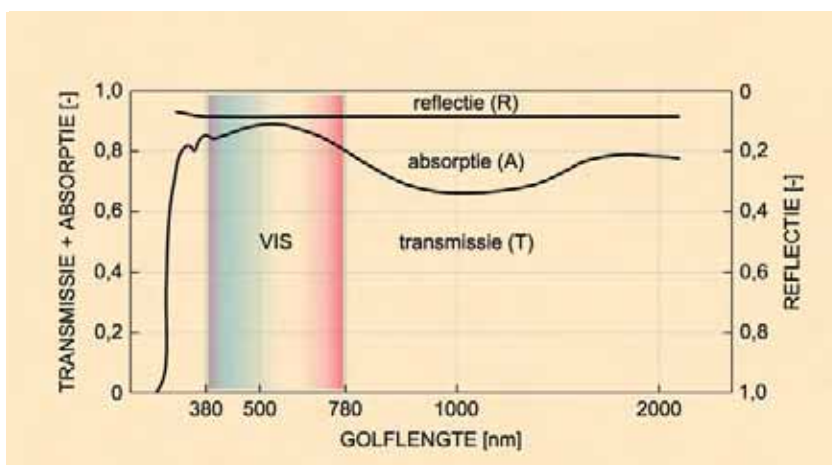
Interactie tussen glas en de opvallende zonnestraling.

- FIGUUR 9 -



Het spectrum van zonlicht. De ideale spectrale transmissie wordt weergegeven door de stippellijn. De kromme in het IR-gebied representeert de langgolvlige warmtestraling bij 21 °C.

- FIGUUR 10 -



De spectrale transmissie van blank floatglas.

- FIGUUR 11 -

ling, bouwt de 'ingevangen' warmte zich op. Dit effect wordt ook wel het *broeikas*effect genoemd (figuur 12).

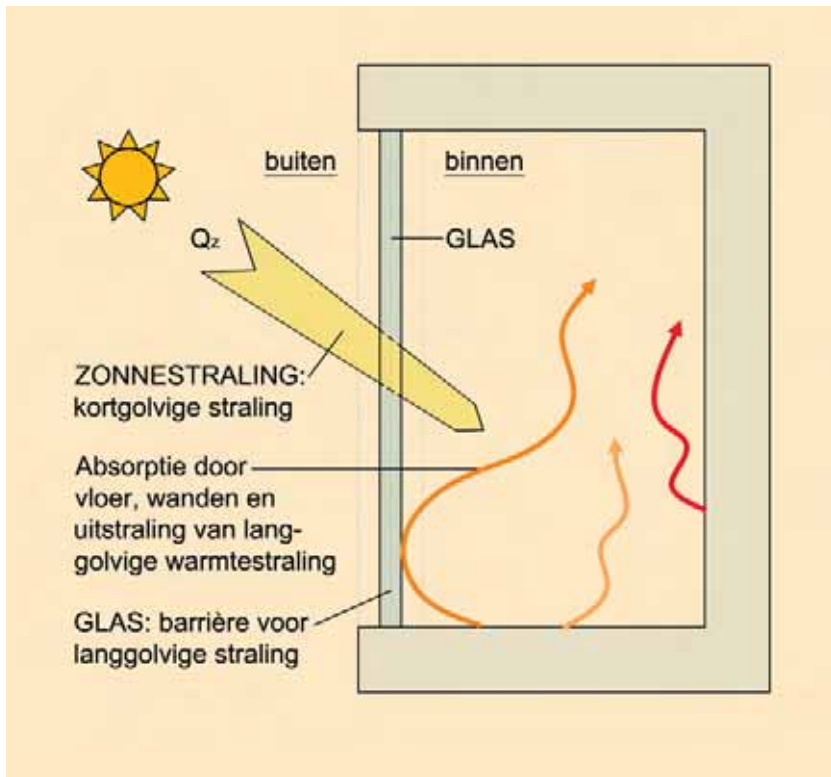
De opwarming van een (transparent) gebouw heeft zowel een interne als een externe component. De externe warmtelast is primair afhankelijk van de hoeveelheid binnentredende zonnestraling. De variabelen die hier een rol spelen zijn de stralingsintensiteit en de ZTA-waarde van het toegepaste façade-systeem.

De interne warmtelast wordt gegenereerd door de aanwezigheid van personen, het gebruik van elektrische apparatuur zoals computers, printers en kopieermachines en de kunstverlichting. Als gevolg hiervan kan de totale interne warmtebelasting voor een modern kantoorgebouw 18 à 28 W/m² bedragen. In tabel 5 is de warmtebelasting voor de diverse bronnen weergegeven.

Bij toepassing van een transparante beglazing is de warmtelast als gevolg van bezonning relatief hoog. Hiernaast geldt dat door de betere isolatie van moderne gebouwen en de interne warmtelast, de stookperiode wordt verkort. Hierdoor wordt de intredende zonnewarmte gedurende een langere periode een belangrijke factor. Om deze reden dienen transparante façade-systemen te worden voorzien van een effectieve zonwerende voorziening. [15]

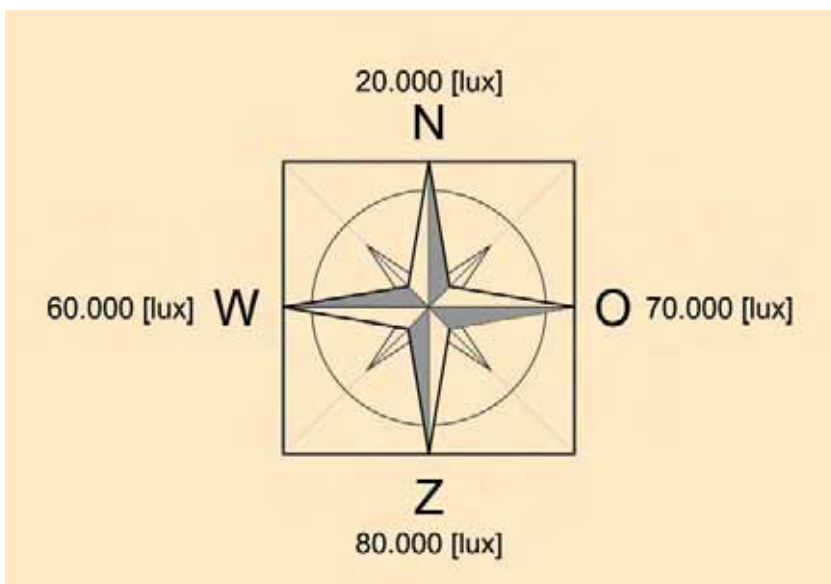
De kans bestaat dat een transparant gebouw klimatologisch niet of nauwelijks in evenwicht is met zijn omgeving. Als voorbeeld kan hier het Nederlands Architectuur Instituut (NAI) te Rotterdam genoemd worden. In dit glazen gebouw was het binnenklimaat 's zomers aanvankelijk veelal slechter dan het buitenklimaat en zijn klimaatinstallaties onmisbaar geworden voor een leefbaar binnenklimaat. Er is een geklimatiseerde glazen doos ontstaan.

Ontwerpers en adviseurs dienen zich te realiseren dat klimaatinstallaties er niet zijn om de bouwfysische tekortkomingen van een gebouwontwerp koste wat het kost te compenseren. Uitgangspunt zou moeten zijn een gebouw te realiseren met een minimale klimaatinstallatie. Vanuit de overheid wordt deze benadering gestimu-



Het broeikaseffect: glas laat kortgolvlige straling door en vormt tegelijkertijd een natuurlijke barrière voor langgolvlige warmtestraling, waardoor het binnenklimaat opwarmt.

- FIGUUR 12 -



De gemiddelde verlichtingssterkte voor diverse geografische oriëntaties. [Verosol]

- FIGUUR 13 -

leerd door formulering van een aantal wettelijke minimum eisen in het Bouwbesluit en de Energie Prestatie Normering (EPN). [16]

Daglicht

Het daglichtniveau is afhankelijk van het lichtaanbod dat varieert per seizoen, de tijd op de dag en de geografische locatie en oriëntatie (figuur 13). Hiernaast hebben plaatselijke klimatologische omstandigheden invloed op het daglichtniveau. De toetreding van daglicht vindt plaats via de transparante delen in de façade. Hierbij spelen enerzijds de dimensies en de spectrale eigenschappen van het glasvlak een rol en anderzijds de vervuiling en de aanwezigheid van belemmerende elementen [17].

De daglichtfactor (DF) is een maat voor het verlichtingsniveau. De DF is gedefinieerd als het verhoudingsgetal van de verlichtingssterkte op een bepaald vlak (bijvoorbeeld het bureaublad) en de verlichtingssterkte in het vrije veld op een horizontaal vlak, bij een bedekte hemelkoepel (zichtbare CIE-hemel) in procenten. Voor werkplekken in kantoren geldt een minimale daglichtfactor van 3 à 5 % op ca. 1,5 m uit de gevel en minimaal 1 % in het midden van het vertrek op ca. 2,5 m uit de gevel.

Hoewel het uitzicht en de benutting van daglicht zijn gebaat bij (maximale) transparantie, kunnen de navenant grote hoeveelheden invallend licht verblindingsverschijnselen veroorzaken. Verblindingsverschijnselen kunnen door middel van een helderheidsverende voorziening in de gevelzone worden beperkt of worden voorkomen.

Gebruiksaspecten

Hoewel vaak onderbelicht, zou het gebruiksaspect één van de meest belangrijke aspecten –zoniet hét

Warmtebron	Warmtebelasting (W/m ²)
warmteafgifte personen (uitgaande van een gem. opp. van 10 m ² per persoon)	8
elektrische apparaten (computers, printers, kopieermachines, etc.)	5 ÷ 12
kunstmatische verlichting	5 ÷ 8

Warmtebelasting van de verschillende interne warmtebronnen.

- TABEL 5 -



Main Tower, Frankfurt am Main, arch.: Schweger und Partner. Een geheel transparante façade kan voor gebruikers met hoogtevrees zeer onaangenaam zijn. Merk op dat de dame links in de afbeelding enige afstand bewaart ten opzichte van het glas. Door middel van de uitzetramen kunnen de gebruikers zelf invloed uitoefenen op het binnenklimaat. De klimaatinstallaties worden bij geopende ramen automatisch uitgeschakeld.

- FIGUUR 14 -

belangrijkste aspect– binnen het ontwerpproces van een façadesysteem moeten zijn. Een gebouw (en dus ook de façade) dient zo te worden ontworpen dat de gebruiker in een behaaglijke omgeving ongestoord zijn dagelijkse taken kan vervullen. Hiernaast spelen echter ook esthetische en economische motieven een rol. Tijdens het ontwerpproces dient het gebruiksaspect, oftewel de relatie gebouw-gebruiker, centraal te staan.

Gebruiksaspecten hangen nauw samen met de omgevingspsychologie van de gebruiker. Dit is de wetenschap die zich bezighoudt met psychologie van de mens in relatie tot zijn fysische omgeving. Deze fysische omgeving bestaat uit de natuurlijke- en de gebouwde omgeving (ruimtes, gebouwen, wijken en steden). Hier wordt het verband tussen de gebruiker, zijn werkomgeving (in dit geval een kantoorvertrek) en de façade nader belicht. De volgende factoren zijn van belang: [18]

Uitzicht – De visuele connectie met de

buitenwereld is van groot belang voor de gebruiker van het gebouw. Naast directe informatie uit de omgeving bieden de transparante delen in de façade gebruikers de mogelijkheid zich psychologisch te onttrekken aan het binnenklimaat. Ook kan het menselijke oog zich focussen op objecten die buiten de grenzen van het vertrek liggen. In de literatuur wordt gesproken over het therapeutische effect dat het uitzicht op een landelijke omgeving zou opleveren voor ziekenhuispatiënten. De visuele relatie tussen het binnen- en buitenklimaat en het uitzicht worden in een transparant façadeontwerp gemaximaliseerd.


Daglicht – Zoals aangegeven is voldoende licht noodzakelijk voor het uitvoeren van bepaalde visuele taken. Hoewel kunstmatige verlichting kan voorzien in deze lichtbehoefte, heeft onderzoek aangetoond dat er kwalitatieve verschillen zijn tussen natuurlijk en kunstmatig licht. Mensen geloven dat van daglicht een positieve invloed uitgaat. Een gedachte die deels wordt

onderschreven door inzichten in ziektebeelden als gevolg van seizoensgebonden depressies. Zo kan invallend daglicht worden geassocieerd met een hoge tevredenheid op de werkplek en een kleinere kans op het nemen van ontslag. Hierbij dient te worden opgemerkt dat niet de intensiteit, maar de grootte van het verlichte oppervlak van belang is. Geheel transparante façades voorzien optimaal in deze behoefte. De ontwerper dient zich echter te realiseren dat grote hoeveelheden daglicht tevens tot verblinding kunnen leiden.

Te openen ramen of ventilatieopeningen

– Psychologisch onderzoek toont aan dat mensen te openen ramen hoog waarderen. Ramen of ventilatieopeningen bieden de gebruiker namelijk de mogelijkheid zelf invloed uit te oefenen op het binnenklimaat. Zo kan men ventileren met verse buitenlucht en kan de binnenluchttemperatuur worden gereguleerd (figuur 14). Hiernaast zijn deze openingen een directe bron van informatie over tot het weer en de omgeving (geluid).

Privacy – Dit begrip refereert aan de behoefte van de mens om zich te kunnen terugtrekken of afzonderen van anderen. Een geheel transparante façade kan de visuele privacy van de gebruiker aantasten. Vanaf het maaiveld of vanuit andere gebouwen kunnen derden kennis nemen van wat er zich achter de transparante façade afspeelt. Sommige gebruikers trachten als gevolg hun privacy te vergroten door zon- of lichtwerende voorzieningen (deels) te sluiten, waardoor het transparante karakter van het gebouw verloren gaat.

Hoogtevrees – Bij toepassing van een volledig glazen façade dient men, in het bijzonder in hoge gebouwen, rekening te houden met het psychologische verschijnsel hoogtevrees. Als gevolg zullen sommige gebruikers de gevelzone niet betreden, waardoor men niet optimaal kan functioneren. Door toepassing van een psychologische barrière zoals een tussenregel, een hekwerk of een zeefdruk op de beglazing kan dit probleem (deels) worden weggenomen. 

LITERATUURVERZICHT

1. Essiz, O., *Importance of Glass Wall Systems as a Factor of Providing Daylighting into Modern Buildings*, Glass Processing Days, juni 2001.
2. Renckens, J.L.M., *Gevels & Architectuur, Façades in glas en aluminium*, Vereniging Metalen Ramen en Gevelbranche (VMRG), Nieuwegein, Nederland, 1996.
3. Saint Gobain Glass, *Memento 2001*, Nederland, 2001.
4. Jenkins, F.A. & H.E. White, *Fundamentals of Optics*, 4e editie, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1981.
5. Scheuten Glasgroep, *Glas gegevens*, Nederland, 2000.
6. Projectcollege 2000, *Hoofdkantoor ING*, Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Bouwkunde, Eindhoven, Nederland, 2000.
7. *Tabellenboek voor de Bouw*, onder red. van M.A.F. Beelen & A.H.L.G. Bone, Ten Hagen & Stam BV, Den Haag, Nederland, 1997.
8. Olesen, B.W., *Vereinfachte Methode zur Vorausberechnung der thermischen Raumklimas*, Heizung, Lüftung & Haustechnik, Bd. 46, nr. 4 – april 1995.
9. Fanger, P.O., *Thermische Luftströmungen an Fenstern und kalten Wänden*, Ingenieuren nr. 19, oktober 1964.
10. Nielsen, P.V., *Luftströmungen in belüfteten Arbeitsräumen*, SBI-rapport 128, Staatliches Bauforschungsinstitut, Duitsland, 1981.
11. Shillinglaw, J.A., *Cold window surfaces and discomfort*, BSE, vol. 34, pp 43-51, juli 1977.
12. Lilja, G., *Kallnas-inte så farligt som det låter*, Svensk VVS, 9, pp. 499-506, Zweden, 1966.
13. Heiselberg, P., *Stratified flow in Rooms with a Cold Vertical Wall*, ASHREA Trans. 1994, V. 100, Pt. 1.
14. *Handboek Installatietechniek*, onder red. van W.H. Knoll & E.J. Wageenaar – TVVL, Amersfoort; ISSO, Rotterdam; Novem, Sittard, Nederland, 1990.
15. Renckens, J.L.M., *Technologie en organisatie van alu-glasfaçades*, Publikatieburo Bouwkunde, Technische Universiteit Delft, Delft, Nederland, 1997.
16. Laan, M.J., van der, *Installaties, Hogeschool van Utrecht, Faculteit Natuur en Techniek, Afdeling Bouwnijverheid, Opleiding Bouwkunde*, Utrecht, Nederland, juni 1997.
17. Meerdink, G., E.G. Rozendaal & C.J.E. Witteveen, *Daglicht en uitzicht in kantoorgebouwen, een onderzoek uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid*, DGMR Raadgevende Ingenieurs BV; Universiteit van Amsterdam, Nederland, 1988.
18. Bell, P.A., T.C. Greene, J.D. Fisher & A. Baum, *Environmental Psychology*, Harcourt Inc., 5e editie, Orlando, Florida, Verenigde Staten, 2001.



Elzenweg 5 • Postbus 47 • 5140 AA Waalwijk • tel. (0416) 67 22 00
fax (0416) 34 07 85 • info@verhulst.com • www.verhulst.com

Energiezuinige oplossingen voor een comfortabel woon- of werkklimaat.

Sterk in klimaatwerk

Dat is waar het bij Verhulst Klimaattechniek om draait. Verhulst Klimaattechniek ontwikkelt, produceert en importeert innovatieve en duurzame systemen voor klimaatbeheersing in industrie, gezondheidszorg en utiliteit.

Wij hebben alle vakdisciplines in eigen huis. Daardoor zijn wij in staat uw klimaatprobleem integraal te benaderen en bent u verzekerd van de meest optimale oplossing. Klantspecifiek en met de levertijd van een standaard product. Onze systemen bestaan uit kwalitatief hoogwaardige componenten, zorgvuldig voor u samengebouwd in onze fabriek in Waalwijk. Duurzaam en energiezuinig zodat u ook op lange termijn de voordelen van onze oplossingen ondervindt.

Ons verkoopteam bestaat uit ervaren vakspecialisten die graag samen met u nadenken over de beste oplossing voor uw situatie. Met alle plezier voorzien zij u van een deskundig en praktisch advies. Wilt u dat wij met u meedenken over uw specifieke klimaatprobleem, neem dan geheel vrijblijvend contact met ons op via (0416) 67 22 00 of info@verhulst.com.

Wij verzorgen de techniek, u ervaart het comfort.



William Baars
Commercieel manager



Paul Fredrik
Noord-Oost Nederland



Gé Postma
Midden Nederland



Cees Schuurmans
Zuid-Oost Nederland



Gerard Bouman
Zuid-West Nederland



Vincent Sluijmers
West Nederland