

2 de la

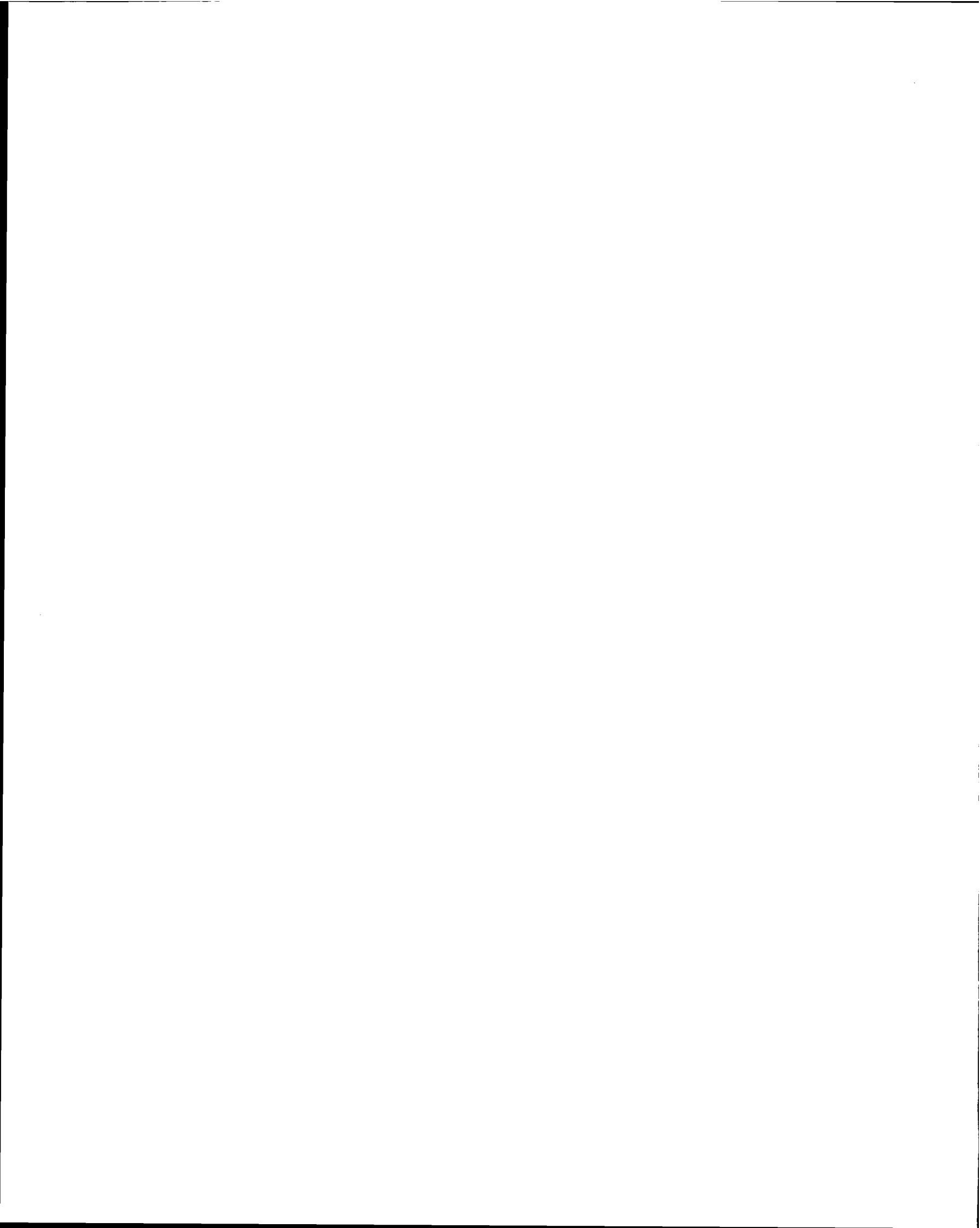
TR 2003 II

1999

1999

**Gevels & Architectuur**

Façades in glas en aluminium

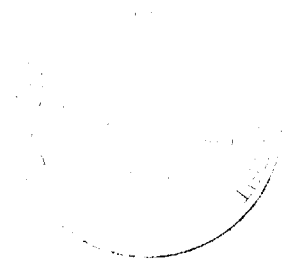


Façades in glas  
en aluminium

# Gevels Architectuur

Just Renckens

TU Delft | VMRG | VAS



**Deze publicatie is mogelijk gemaakt met financiële steun van vele sponsors en gerealiseerd aan de TU Delft, Faculteit der Bouwkunde, Vakgroep Bouwtechnologie.**

**De publicatie is onderdeel van het promotie-onderzoek dat door Just Renckens wordt uitgevoerd aan de TU Delft, Faculteit der Bouwkunde. Promotoren van dit onderzoek zijn prof. dr. ir. Mick Eekhout, leerstoel Produktontwikkeling en prof. ir. drs. Bas Menheere, leerstoel Bouwmanagement.**

# Colofon

Omslagfoto: Kantoor KNP te Hilversum. Architect: Richard Meier & Partners.

**COPYRIGHT © 1996** J.L.M. Renckens

GEVELS & ARCHITECTUUR, Façades in glas en aluminium / J.L.M. Renckens

**Uitgever** Vereniging Metalen Ramen en Gevelbranche (VMRG), Postbus 1496, 3430 BL Nieuwegein.

**Teksten** Just Renckens, Atto Harsta, Gertrud Topper en Leo van Wingerden

**Inhoudelijke bijdrage en advies** prof. dr. ir. Mick Eekhout

**Handtekenwerk** Gertrud Topper

**Computertekening** ir. Wichert Put

**Taalkundige adviezen** drs. Pim Wehrmann

**Coördinatie TU-Delft** Conny van den Broek-Dikhoff

**Grafische vormgeving** Hans Lemmens / XID, Amsterdam

**Druk** Veenman Drukkers, Wageningen

**Coördinatie** Crown Advertising, Driebergen

**ISBN 90-9009266-8**

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteur.

No part of this book may be reproduced, in any form, by print, photoprint, microfilm or any other means, without written permission from the author.

Alle informatie en gegevens die in dit boek worden verstrekt zijn door de auteur naar beste weten vastgelegd. De auteur en de uitgever treft geen aansprakelijkheid voor eventuele onjuistheden of drukfouten.



# Inhoud

Inhoud			
Voorwoord	6	Warmte	143
Inleiding	9	Sterkte	148
<b>1. Ontwikkeling van de glasfaçade</b>	<b>13</b>	Veiligheid	150
De glasarchitectuur eind 18de en 19de eeuw	15	Brand	153
De eerste stalen glasgevels	18	Geluid	155
De stalen vliesgevel van 1950-1973	19	Glas als borstwering	158
De aluminium glasgevel van 1950-1973	20	Glas in daken	160
De aluminium vliesgevel van 1973-1995	22	Glasproducten	162
Introductie van het begrip glasfaçade	30	Trends en ontwikkelingen	165
<b>2. Aluminium</b>	<b>31</b>	<b>6. Zonregulering</b>	<b>169</b>
Geschiedenis	32	De keuze van een zonregulering	173
Van grondstof tot materiaal	33	Buitenzonregulering	175
Aluminium en gezondheid	35	Zonbeheersende beglazing	181
Eigenschappen van aluminiumlegeringen	36	Binnenzonregulering	184
Aluminium en corrosie	40	Lichtregulering	187
Hergebruik van aluminium	42	Passieve en actieve zonbenutting	191
<b>3. Façadesystemen</b>	<b>47</b>	Trends en ontwikkelingen	196
Alu-glasfaçades	48	Begrippen en definities	197
De systematiek van lichte gevels	49	<b>7. Façades: bouwfysica en statica</b>	<b>201</b>
Indeling naar gevelopbouw	52	Façades en bouwfysica / warmte	202
Indeling naar bouwwijze in de uitvoering	56	Façades en bouwfysica / geluid	206
Indeling naar functies	58	Façades en bouwfysica / brand- en bliksembeveiliging	208
Indeling naar materiaalkeuze	61	Façades en statica	211
De constructief verkitten glasfaçade	66	Toetsingscriteria	214
De puntvormig bevestigde glasfaçade	78	<b>8. Façades en bouworganisatie</b>	<b>219</b>
<b>4. Oppervlaktebehandeling en reinigingsonderhoud</b>	<b>91</b>	Het bouwproces in fasen	220
Anodiseren	92	De gevelbouwer als bouwpartner	222
Moffellakken	102	Het gevelbouwproces	225
Levensduur en milieu-aspecten	111	Het verband tussen het integrale bouwproces en het gevelbouwproces	227
Aluminium plaatmateriaal: coilcoaten	113	De hoofdtaken van de gevelbouwer	231
Reinigingsonderhoud metalen gevels	117	<b>9. Van passieve naar reactieve façades</b>	<b>235</b>
Anti-graffitibehandeling	124	Nieuwe gevelconcepten	236
Ontwikkelingen	125	Duurzaam bouwen	242
<b>5. Glas</b>	<b>127</b>	Trends en ontwikkelingen	243
Glas in de architectuur	128	<b>Bouwecologie: alu-eco</b>	<b>246</b>
Geschiedenis van de glasproductie	129	<b>Literatuur</b>	<b>247</b>
Floatglas	131	<b>Fotoverantwoording</b>	<b>250</b>
Daglicht	133	<b>Met dank aan / Sponsors</b>	<b>251</b>
Zonbeheersing	137	<b>Register</b>	<b>253</b>

# Voorwoord

## De Glasfaçade naar 2000 +

In de architectuur van de laatste decennia neemt de lichtgewicht gevel van metaal en glas een prominente plaats in. Aanvankelijk dienend, dan schoorvoetend zelfstandig tot en met een volledige overheersing van het stadsbeeld in de "Dallas"-architectuur. Als reactie op al dat reflecterende glas is er nu onder architecten weer een behoefte aan transparantie in de gevel, in contrast met gesloten bovenmassa's, waarbij toch voor het probleem dat glas in de bouw oproept, namelijk de overmatige ruimtetemperatuur, een intelligente oplossing gevonden moet worden. Transparante gevels komen weer terug, maar dan complex van opbouw om optimaal te functioneren als regelbare of zelfsturende interface tussen binnen en buiten. Het toenemende raffinement is vooral te danken aan ontwikkelingen op de engineering bureaus van de gevelbouwers en systeemontwikkelaars. In feite is de kennis, de kunde en het inzicht van de hedendaagse geraffineerde glasgevel grotendeels aan architectenbureaus voorbij gegaan. Er zijn slechts enkele architecten die zich op technisch vlak gelijkwaardig tonen aan glasgevelontwerpers. Als produktarchitect heb ik een vijftal jaren geleden het Aluminiumcentrum aanbevolen een boek te laten schrijven over de stand van de techniek van de moderne glasgevel, een suggestie die pas een respons vond toen Just Renckens, voormalig directeur van het gevelbouwbedrijf Nyva te Nijmegen, zich in 1992 opmaakte om zijn professionele carrière te verrijken met een wetenschappelijke studie. Onder het motto dat kennis die verdwijnt uit zo'n bedrijf moet worden omgezet tot informatie aan de komende generatie architecten, heb ik hem overgehaald om in mijn leerstoel Produktontwikkeling op Bouwkunde TU-Delft een proefschrift te gaan schrijven over "De Technologie en het Management van de Alu-Glasgevel", wetend dat het niet gemakkelijk zou zijn een doener om te vormen tot schrijver. Dit boek is speciaal gereedgemaakt voor de aluminium gevelbouwwereld en haar cliënten om een overzicht te vormen van de glasgevel anno 1996. Niet alleen om het architecten met een betere kennis van zaken, maar vooral met inzicht in de technologie mogelijk te maken een betere gesprekspartner te zijn. Architecten zouden in staat moeten zijn inzicht in techniek te combineren met visie op architectuur en daarmee de glasgevelbouw over de eeuwwisseling heen te laten springen. Geraffineerde bouw fysieke en klimatologische concepten zullen tot complexere maar zeker meer bevredigende glasgevels leiden. En het raffinement kan in het detail tot uitdrukking komen. In tijden van een vraagmarkt moeten architecten niet alleen mondiger maar ook kundiger zijn. Daarom is het werk te prijzen dat Just Renckens verzette, geholpen door een staf van stu-

dent-assistenten en tekstbewerkers, geadviseerd door de hoofdsponsors van zijn werk, de VAS (systeemleveranciers) en de VMRG (gevelbouwers) alsmede de glasin-  
dustrie. In de afgelopen drie jaar heeft hij een gedegen overzicht weten op te bou-  
wen van alle belangrijke technische aspecten van de huidige glasgevelbouw. In zijn  
toekomstige dissertatie komen hopelijk boven deze huidige stand van zaken nieuwe  
ontwikkelingen die het vakgebied voorbij de eeuwwisseling kunnen stimuleren, aan  
de orde.

De eerste generatie van ongeïsoleerde vliesgevels werd na 1973 gevolgd door  
de tweede generatie van geïsoleerde glasgevels, om in de negentiger jaren te wor-  
den vervangen door de derde generatie van complexer opgebouwde en hoogwaardig  
geïsoleerde glasgevels na het in werking treden van de nieuwe energienormen.

In het komende decennium zullen jonge bouwtechnologische ontwerpers zowel  
op architectenbureaus als op de engineering afdelingen van producenten nieuwe  
totale klimaat concepten gaan ontwikkelen waarin een glasgevel méér wordt dan een  
metalen gevel met glasvullingen. Dubbele gevels met passief of actief gebruik van  
zonne-energie en geïntegreerde zonregulering tot aan concepten waarin de gebouw-  
gevel zero-energie nodig heeft, of zelfs een energie opwekker wordt. Energie die  
elders weer kan worden gebruikt door bijvoorbeeld zonnecellen. Zonlicht wordt niet  
meer eenvoudig geweerd, maar met behulp van ingenieuze lamellen hoog achterin  
vertrekken gereflecteerd om daar voor dagverlichting te zorgen. Onze studenten van  
de afstudeerrichting Bouwtechnologie ontwerpen deze concepten volop en maken  
zelf ook werkende prototypes op ware grootte. Over enkele jaren komen deze ontwer-  
pers op de markt, gaan werken op architectenbureaus en bij producenten.

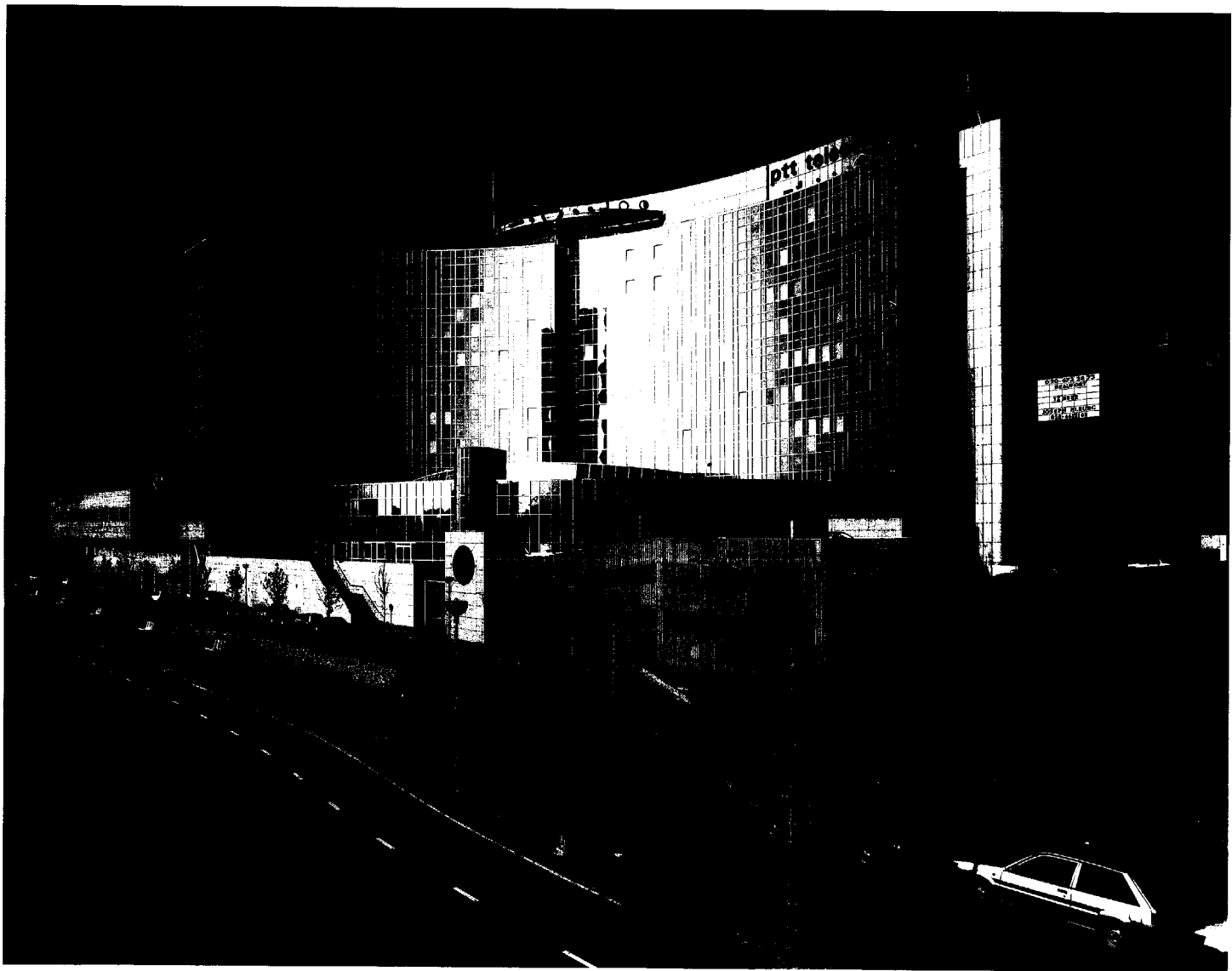
Om uitdrukking te geven aan die baaiert van mogelijkheden, samengevat als de  
spitsvondige vierde generatie van glasgevels, wordt in dit boek de term "glasfaçade"  
geïntroduceerd waarbij een in het Nederlands onbesmette term is gevonden die de  
hoop en verwachting op een verdere groei in de techniek uitdrukt. Het is verder een  
appreciatie in de architectuur (een façade is immers een voorgevel, onze gebouwen  
hebben dus rondom voorgevels). Het impliceert ook een relatie met de benamingen  
uit de ons omringende landen en culturen, waarmee tevens de internationalisering  
van het vakgebied onder woorden is gebracht.

Het is verder de verwachting dat de glasfaçades van de vierde generatie niet lou-  
ter aluminium gebruiken als materiaal van de dragers, maar ook weer staal om tege-  
moet te komen aan brandweereisen, roestvrijstalen dekljsten om te streven naar  
een minimaal onderhoud, geheel kozijnloze glazen buitengevels om architectonische  
transparantie te bereiken en houten binnengevels om behaaglijkheid voor gebruikers  
te genereren; afijn ook voor de gevelbouwers zijn er voldoende tekenen in de markt  
dat de gebruikelijke technieken gaan veranderen. Ze zullen alert moeten zijn, dienen  
daarop te anticiperen en hun gevelsystemen zowel als productieprocessen daarop  
aan te passen.

In de afgelopen jaren heb ik steeds voor ogen gehad dat er maar 4 of 5 hoofd-  
systemen zijn te onderscheiden in alu-glasgevels, en dat er bewust door verkopers  
veel wolligheid en mystificatie wordt gegenereerd die juist niet tot het inzicht van een  
architect bijdragen. Just Renckens en de zijnen hebben aangetoond dat het aantal  
basissystemen inderdaad beperkt is, en gaande het publicatiegereed maken van dit  
boek en het vele malen masseren van de tekst is het gevoel bevestigd dat de stuk-  
jes van de legpuzzel pasten. Het boek is nu geschreven maar het is nooit perfect.  
Het initiatief is nu aan architecten en producenten om verder te gaan op de bouw-  
techniek van de glasfaçade en daarmee dit deel van de architectuur in de toekomst  
kwalitatief de moeite waard te laten zijn, en te laten zien dat er meer is dan theorie:  
slechts de praktijk doet verbazen.

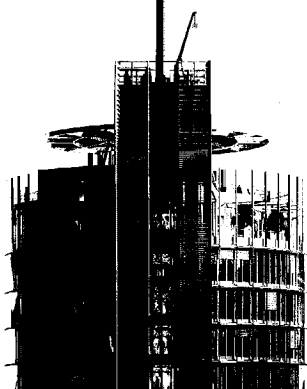
Mick Eekhout





*Districtskantoor PTT Telecom, Amsterdam.  
architect: AGS te Heerlen.*

# Inleiding



Dienstleistungszentrum Stern, Essen  
architect: Ingenhoven, Overdiek und Partner

## Inleiding

**D**e vliesgevel zoals we die nu kennen is ontstaan door een aantal impulsen. De eerste was het ontstaan van de **skeletbouwmethode**. Deze methode is ontwikkeld in Liverpool aan het begin van de negentiende eeuw en ontstond door de toepassing van industrieel vervaardigde dragende gietijzeren bouwelementen. Hierdoor konden grote open muurloze of geschakelde binnenruimten worden gerealiseerd, die ook sneller en goedkoper gebouwd konden worden.

Vanwege een tweede innovatie, het **industriële vervaardigen van vlakke glasplaten**, kwam de ijzer-glasbouw voor de gebouwfsluiting tot ontwikkeling, gerealiseerd door 19de eeuwse ingenieurs. Deze twee technologische ontwikkelingen zorgden na verloop van tijd voor belangrijke prikkels voor de architectuur, alhoewel deze bouwwerken toentertijd niet als architectuur erkend maar als bouwtechnologie gezien werden. Zo was het mogelijk niet-dragende gevels toe te passen en deze aan de buitenzijde van de constructie te plaatsen.

Een derde impuls ontstond in Chicago aan het eind van de vorige eeuw: **skelet hoogbouw**. Na de grote stadsbrand in 1871 ontstond er een dringende behoefte aan bouwvolumen voor woningen, winkels en kantoren, die snel en op een klein grondvlak gerealiseerd moest worden. In het streven sneller en dus ook hoger te kunnen bouwen op de onbetrouwbare funderingsgrondslag in Chicago (te vergelijken met Nederland) werd gezocht naar hoog te stapelen bouwconstructies met een laag eigen gewicht. Hiervoor bleken de ijzeren en stalen dragende skeletconstructies en de staal-en-glas-vliesgevel zeer geschikt.

De vorderingen op bouwtechnisch niveau in

Chicago aan het eind van de vorige eeuw vonden navolging in New York en verspreidden zich over de gehele wereld. Aanvankelijk werd in de gevel brons, ijzer en staal als kozijnmateriaal gebruikt. Pas in de jaren vijftig leidde detailverfijning ertoe, dat voor vliesgevels aluminium staal als materiaal voor dragende profielen verving. Het lichte gewicht van aluminium, maar vooral het raffinement in de doorsnede van aluminium profielen, mogelijk gemaakt door het extrusieproces, waren de belangrijkste oorzaken van de opkomst van de aluminium-glasgevel in de architectuur.

Parallel hieraan liepen andere technologische ontwikkelingen, zoals die zich op talloze gebieden in een snel industrialiserende en internationaliserende samenleving voordeden. Enkele voorbeelden hiervan zijn de elektrische lift voor het interne verticale transport waardoor hoogbouw mogelijk werd (Siemens 1880, Otis 1887), en de airconditioning, waardoor de ruimtetemperatuur in gebouwen met grote kantoorruimten en grote glasoppervlakken, gesloten vanwege de hoge winddrukken, geregeld kon worden. Ook werden ontwikkelingen uit andere industrietakken overgenomen. Dit betrof met name na de Tweede Wereldoorlog die uit de auto- en vliegtuigindustrie. Voorbeelden zijn rubber profielen, kitten, voorgespannen en gelamineerd glas en gelijkde beglazing.

Belangrijk voor de ontwikkeling van de metaal-glasgevel was het foutloos en homogeen produceren van steeds grotere oppervlakken vlakglas met als hoogtepunt de ontwikkeling van de fabricage van floatglas. De invloed hiervan was groot, omdat hiermee grote hoeveelheden kwalitatief hoogwaardig vlakglas in grote afmetingen vervaardigd konden worden. Het enkelglas werd voor bouwtoepassingen na de eerste

energiecrisis van 1973 steeds verder veredeld, vooral door de applicatie van speciale coatings en samenstellingen tot isolerende glaspanelen.

Tot de jaren zeventig waren gebouwfunctionele, economische en technologische ontwikkelingen en tevens architectonische visies de belangrijkste impulsen voor de vliesgevelbouw.

Na de energiecrisis van de jaren zeventig kwamen daar andere invloeden bij. Er werden regels gesteld om het hoge verbruik van fossiele energie in gebouwen te beperken. Dit hield voor de façade in dat in ieder geval de vlakvullende componenten in een thermisch geïsoleerde uitvoering aangebracht moesten worden. Kort daarop volgde de eis ook de aluminium profielen van een thermische onderbreking te voorzien. Aluminium heeft het voordeel dat het zich makkelijk in complexe doorsneden laat extruderen; het heeft echter als nadeel dat het op koper na van alle constructiemetalen het beste warmte geleidt en dus binnenwarmte naar buiten kan uitstralen. Deze energie-zorgregels hadden een rechtstreekse invloed op het vliesgevelconcept.

Verder werden in de loop van de jaren tachtig strengere milieueisen gesteld. Men werd er zich steeds meer van bewust dat natuurlijke grondstoffen in een snel tempo uitgeput zouden kunnen raken. Bovendien was men van mening dat er teveel energie gebruikt werd voor de winning van materialen en fabricage van bouwcomponenten. Aan bouwmaterialen dus ook aan de gevel werden eisen van 'recycle'baarheid gesteld.

Momenteel brengen nieuwe normen en wetten ten aanzien van energiegebruik, milieubelasting, gebruiksprestatie, veiligheid, gezondheid, gebruiksgeschiktheid en produktaansprakelijkheid de noodzaak tot aanpassing van het vliesgevelconcept, zoals dat werd opgezet in de jaren vijftig en werd doorontwikkeld tot in de jaren tachtig, met zich mee. De bouwfysische eisen worden verhoogd. De verzwarende van deze eisen en de economische factoren die daarbij een rol spelen, met name de levensduurbeoordeling van de technische prestatie, kunnen niet of onvoldoende door aanpassin-

gen en vernieuwingen van de bestaande gevelsystemen opgevangen worden: er zijn geheel nieuwe systeemconcepten nodig. Dit wordt met name veroorzaakt doordat de doorontwikkelde vliesgeveltechnologie op componentniveau niet is gebaseerd op: de realisatie van een duurzame prestatie gedurende de ontwerplevensduur, het benutten van het buitenklimaat-energie-aanbod in interactie met de klimaatinstallatie en de hergebruikopgave van de gevelmaterialen.

Hierdoor treedt de vliesgevel een geheel nieuwe fase in: in technologisch opzicht, in bouwuitvoering en in functioneel opzicht. Daarbij wegen energiegebruikregels en milieufactoren zwaar. De milieulast dient laag gehouden te worden. Het gevelmateriaal moet na demontage op een zo hoog mogelijk niveau, dus met minimale vernietiging van geïnvesteerde energie en kosten - in het ideale geval op componentniveau - weer ingezet kunnen worden. Hergebruik is een belangrijke bijkomende opgave voor het ontwerp van nieuwbouw en renovaties.

De toenemende gebruiksgerichtheid van het gevelontwerp en de toenemende regelgeving zijn van invloed op het bouwproces. Het opwerken van de gevel van een technisch bouwproduct naar een gebruiksprestatie moet parallel gaan met de ontwikkeling van het gehele gebouw van product tot prestatie. In dit kader is de actieve en anticiperende benutting van het energie-aanbod van het buitenklimaat een voorwaarde in plaats van het tot nu toe passieve buitenklimaatwerend afsluiten van het bouwwerk.

De vliesgevel ontwikkelt zich dus van een technisch bouwproduct naar een duurzame technische prestatie. Dit heeft een aantal consequenties: de gevelbouw wordt gecompliceerder door de integratie van bouwfysische en klimaattechnische engineering; de kennis en vaardigheid van de gevelontwerper zal gelijke tred moeten houden met de jongste ontwikkelingen van de geveltechnologie; ontwerpers- en constructeursopleidingen moeten antwoord geven op de specifieke opleidingsvraag van zowel producenten als consumenten van gevels; de uitschrijvende bouwpartners dienen de besteding van de gevelbouw af te stem-

men op het complexer worden van de gevel en daarmee samenhangend op de gewijzigde taakstelling van de gevelbouwer.

Verder zijn ook de organisatorische en logistieke voorwaarden van de gevelbouw aan het veranderen. Voor de gevelbouwer als produktgerichte fabrikant en als installerend onderaannemer – een dubbelrol – gaat naast het producentschap het aannemerschap een steeds belangrijker rol spelen. De grotere gevelbouwers zijn dan ook genoodzaakt hun bedrijfsorganisatie aan te passen. De organisatiestructuur ontwikkelt zich van een lijnorganisatie (fabriceren) naar een projectorganisatie (engineeren, produceren en installeren).

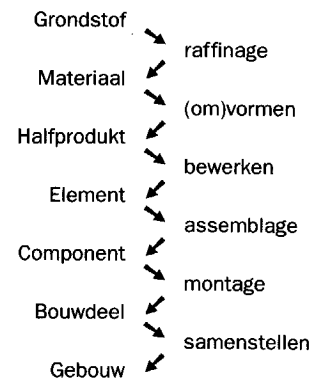
Het concipiëren van de vliesgevel is gecompliceerd door de vele vaak zeer uiteenlopende en soms tegenstrijdige eisen: budget en planning, esthetiek, fabricage- en bouwtechniek, functie, duurzaamheid, milieuzorg, energiezuinigheid. We kunnen twee hoofd-factoren onderscheiden die het concipiëren van vliesgevels diepgaand beïnvloeden:

- De omvangrijke prestatie-opgave in de bouwfase – van design tot en met oplevering – met een bouw-budget.
- De betrokkenheid in de gebruiksfase voor een aanvaardbaar energie- en onderhoudskostenniveau voor de façade en voor de demontage en materiaal-herbestemming na een deugdelijke levensduur. Deze prestatie-opgaven zullen in de toekomst alleen maar toenemen.

Een steeds belangrijker ontwerpogave wordt het energiezuinig produceren en functioneren en de maximale benutting van duurzame energiebronnen, in plaats van het verbruik van eindige energievoorraden. Om de binnenklimaatregulering te verbeteren zullen in de toekomst klimaatinstallatie en gevelprestatie steeds meer op elkaar worden afgestemd en zo mogelijk geïntegreerd. Hierdoor worden de comfortbehoefte en de veiligheids- en gezondheidsaspecten bij een voorgeschreven levensduur en binnen een energiegebruiksnorm gewaarborgd. Dit betekent, dat in de ontwerp- en/of besteksfase het gevelconcept en het concept van de klimaatinstallatie tezamen ontwikkeld moeten worden. Daardoor gaan de vliesgevelbouwer en klimaat-installatiebouwer als nauw samenwerkende co-aannemers functioneren.

Ten aanzien van de glasfaçade tot (en na) het jaar 2000 zijn voorspellingen te doen op een aantal gebieden: technologische vooruitgang en innovaties, alsmede normen, functionele eisen en regelgeving. Minder eenvoudig is het voorspellingen te doen ten aanzien van het gebruik van alu-glasfaçades in de architectuur, omdat architectuurtrends snel veranderen. Wel leert de geschiedenis van de vliesgevelbouw dat er een wederzijdse beïnvloeding is van enerzijds concepten, technologieën, materialen en anderzijds het architec-

### Benaming en bewerken van grondstof tot gebouw



De prefixen sub- en super kunnen gebruikt worden om tussenstadia in het proces nader aan te duiden.

bron: Ir. J. van der Woord, TUD

tonische concept dat de maatschappelijke ontwikkelingen volgt.

Deze uitgave biedt een overzicht van de stand van zaken anno 1996 in het ontwerp en de bouw van alu-glas-gevels. Er komen conceptuele technische en organisatorische aspecten aan bod, vanaf de eerste bouw-fase tot aan de gebruiksfase.

De publicatie is gebaseerd op het dissertatieonderzoek van Just Renckens met medewerking van een aantal student-assistenten van de vakgroepen Bouw-technologie en Bouwmanagement/Vastgoedbeheer. Promotoren bij dit lopende onderzoek zijn prof. dr ir Mick Eekhout, vakgroep Bouwtechnologie en prof. drs ir Bas Menheere, vakgroep Bouwmanagement van de Faculteit der Bouwkunde, Technische Universiteit Delft. Dit onderzoek wordt gesponsord door de brancheverenigingen van gevelbouwers (VMRG), van systeemleveranciers (VAS) en van glasproducenten en leveranciers (Glasbond), alsmede door vele bij de aluminium gevelbouw betrokken bedrijven.

Just Renckens



Inleiding

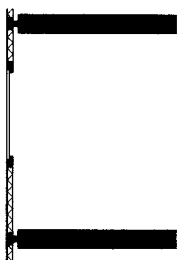


# Ontwikkeling van de glasfaçade

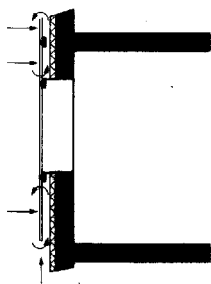
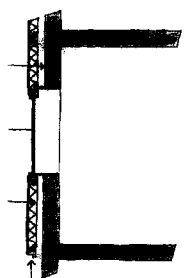


# Ontwikkeling van de glasfaçade

1.1 Skeletbouw van een industrieel bouwwerk.



1.2 Zelfstandige vliesgevel.



1.3 Vliesgevels met achterliggend steenachtig binnenspouwblad.

## ALGEMEEN

In het begin van de negentiende eeuw ontstond vanuit de mogelijkheden van het materiaal ijzer in industriële bouwwerken de skeletbouwwijze. (fig. 1.1) Het gemetselde gebouw, bestaande uit vloeren, binnenmuren en dragende gevels, kon vervangen worden door een skeletvormige hoofd-draagconstructie met vloeren en niet-dragende wanden. De gevel had daardoor geen dragende functie meer en er ontstonden heel nieuwe plaatsings- en uitvoeringsmogelijkheden. Aan het eind van de negentiende eeuw werd door de ontwikkeling van het gewapend beton, uitgevonden in 1867, ook betonskeletbouw mogelijk.

De façade – in de loop van de geschiedenis bekend geworden als 'vliesgevel', 'gordijngewel', of 'continue gevel' – is stapsgewijs ontstaan door bouwinnovaties als genoemde skeletbouwwijze en het beschikbaar zijn van de materialen vlakglas, gewalst staal en geëxtrudeerd aluminium.

In de periode 1950–1965 worden verschillende typeringen van de vliesgevel gegeven, waaruit enkele ontwikkelingen in het vliesgevelconcept kunnen worden afgeleid. In 1958 stelt Weidlinger dat er twee typen zijn: de zelfstandige vliesgevel (fig. 1.2) en de vliesgevel met een achterliggend steenachtig binnenspouwblad. (fig. 1.3) Het eerste type is een zelfdragende, volledig stijve en eventueel thermisch geïsoleerde gevelconstructie met een binnenafwerking. Bij het tweede type is de binnenafwerking niet nodig vanwege het achterliggende binnenspouwblad. [1.24] Door de methode van verankering wordt de stijfheid van dit type vliesgevel ook ontleend aan het binnenspouwblad.

Schaal [1.1] onderscheidt in diezelfde tijd twee constructievormen: lineair en vlakvormig. Ten eerste de vliesgevel opgebouwd uit stijl-en-regelwerk. Het hoofdkenmerk van een stijl-en-regelwerkgevel is het zichtbare lijnraster. De tweede door Schaal genoemde constructievorm is de vliesgevel opgebouwd uit paneelcomponenten. Bij deze gevel worden in de fabriek vervaardigde metalen gevelcomponenten aaneengesloten bevestigd aan de hoofd-draagconstructie van het bouwwerk. In deze gevelcomponenten zijn de glaspanelen en ramen opgenomen. Het is niet wezenlijk dat het profielraster aan de buitenzijde zichtbaar is. De glasfaçades van nu zijn in wezen ontwikkeld uit de concepten die 40 jaar geleden al aan de orde waren.

De façadebouw zoals we die nu kennen is ontstaan uit de staal-en-glasbouw van de negentiende eeuw en is in de loop van de tijd steeds geavanceerder geworden in technologie en vormgeving. Het beoogde prestatieniveau van de gevelconstructies is daardoor enorm toegenomen. Om dit niveau te kunnen realiseren is vanaf de jaren zestig het materiaal staal grotendeels vervangen door aluminium. (fig. 1.4) Door de toepassing van geëxtrudeerde aluminium profielen kunnen profielvorm en -functie op economische wijze gerealiseerd worden. De ingewikkelde profieldoorsnede met 'design', functionele rillen, groeven, kanalen e.d. kan in staal niet vervaardigd worden. Aluminium profielen zijn door het raffinement van de doorsnedevormen een van de pijlers van de huidige façadetechnologie. Glastechnologie is een tweede pijler, vooral door het floatglas en de glascoating-technieken.



1.4 Aluminium gordijngevel



1.5 Palmhuis te Kew, Surrey 1844-1848  
architect: Decimus Burton en Richard Turner

## DE GLASARCHITECTUUR EIND 18DE EN 19DE EEUW

In de Middeleeuwen werden gotische kathedraal gebouwd met grote vensteropeningen bezet met glas-in-lood. De beglazing was licht geconstrueerd en had geen dragende functie. Deze glas-in-loodramen wekken door hun afmetingen en plaats in het gebouw nog steeds bewondering.

Glasarchitectuur kwam werkelijk op de voorgrond toen naast de hoge lichtdoorlatendheid ook grotere sterkte, vlakheid, oppervlakte en duurzaamheid in glasplaten werden bereikt. Kassenbouw stimuleerde de glasbouw sterk. De kasconstructies werden in de achttiende eeuw uitgevoerd in hout en voorzien van een glasafdekking. De kassen waren onder andere nodig voor bomen en planten die uit de tropen naar Europa gebracht werden en waarvoor in 'wintertuinen' de juiste klimaatomstandigheden gecreëerd moesten worden. Al aan het eind van de achttiende eeuw werden de eerste kassen van glas en metaal gebouwd. In de negentiende eeuw werden ze overal in Europa gebouwd. Een sprekend voorbeeld is het Palmhuis te Kew, Surrey (1844-1848), gebouwd door Decimus Burton in samenwerking met Richard Turner. (fig. 1.5) In deze kas zijn voor het eerst gebogen gevelspanten in de gevelzone opgenomen. De beglazing is geplaatst in slanke roeden van gietijzer. De afmetingen van deze kas zijn circa 30 x 110 meter bij een hoogte van 19 meter. [1.23] In het middendeel is een omloop gemaakt met sierlijke gietijzeren spiltrappen. (fig. 1.6)

Binnen die mode van glazen daken pasten ook de atriumoverkappingen voor vaak zeer luxe binnenruim-

ten. Glasarchitectuur kwam verder tot uiting in tentoonstellingsgebouwen, badhuizen, winkelpassages en stationsoverkappingen. (fig. 1.7 en 1.8)

In Parijs werd de Galerie d'Orleans (1830) gebouwd, onderdeel van het Palais Royal. Het gebouw had een gewelfd glasdak. Voor de dakconstructie werden smeedijzeren dragers gebruikt. De passage was 65 meter lang en 8,50 meter breed. Dit type bouwwerk is in de tweede helft van de negentiende eeuw in vele steden gebouwd. Bijvoorbeeld de Galleria Vittorio Emanuele II (1867) in Milaan, nog steeds een groots voorbeeld van een stedelijke passage. In Moskou werd in 1893 een winkelcentrum gebouwd overdekt door glaskappen, de GUM (fig. 1.9), dat nog steeds als zodanig functioneert. In deze stad krijgt de prachtige binnenglaskap van het restaurant van hotel Metropole licht door een op dakniveau gelegen gewelfde constructie van glas en staal. In Brussel en in Den Haag zijn eveneens glaspassages uit die tijd te bewonderen. Ook veel musea werden op deze wijze voorzien van een glazen dak dat een gedempte toetreding van daglicht naar de hal en de expositieruimten mogelijk maakte.

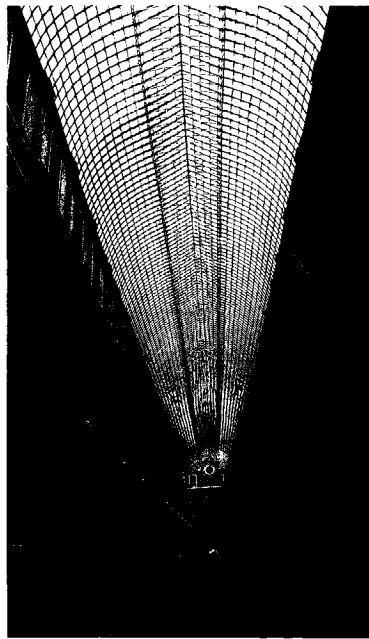
Voor de grootschalige stationsoverkappingen waren glazen daken en kopgevels een ruimtelijke noodzaak. Voor fabrieken werden grote wanden uit stalen of gietijzeren profielen opgetrokken en beglaasd. Zo ontstonden vanaf het midden van de negentiende eeuw kunstige, ranke metaalglasconstructies, die voor veel lichttoetreding zorgden. (fig. 1.10)\*

Voor de wereldtentoonstellingen in de negentiende eeuw bestond behoefte aan grote open binnenplaatsen met veel lichttoetreding. Voor de bouw van deze expositieruimten waren de van de kassenbouw en sta-

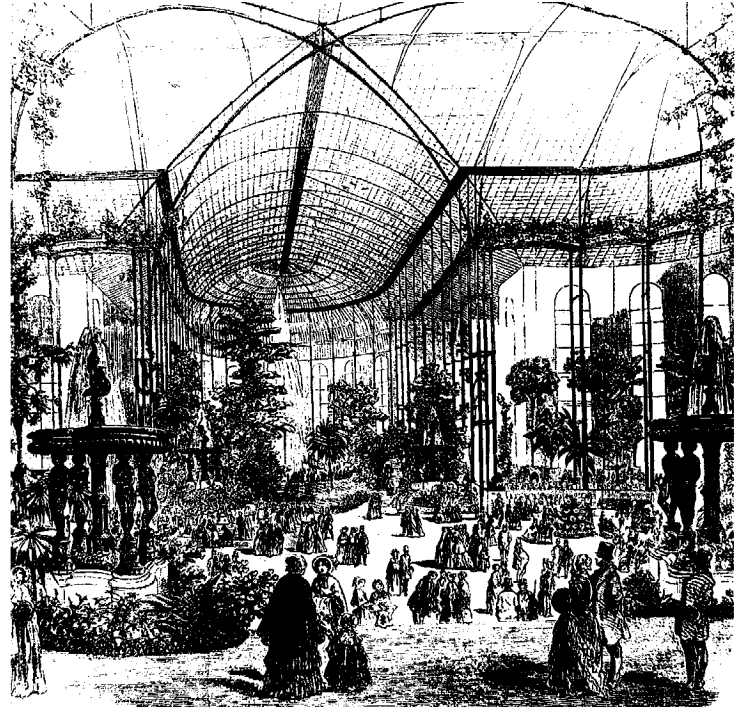


1.6 Gietijzeren spiltrap Palmhuis

\* Deze gevelbouwontwikkelingen, mede ontstaan door het gebruik van de moderne materialen ijzer, staal en glas, waren een uitdaging voor de ingenieur-architecten en ontwerpers/constructeurs, die oog hadden voor de mogelijkheden van massafabricage in het eerste industriële tijdperk.



1.7 Glasdak winkelpassage



1.8 Glaspak tentoonstellingsgebouw

tionsoverkappingen afgeleide constructies geschikt. Sir Joseph Paxton (1803–1865), tuinarchitect, realiseerde in 1851 vanuit zijn ervaring in de kassenbouw het Crystal Palace in het Hydepark te Londen, gebouwd ter gelegenheid van de eerste wereldtentoonstelling. (fig. 1.11) De grootte van het bouwwerk maar vooral de vergaande prefabricage en de snelle montage op de bouwplaats onderscheiden het Crystal Palace van eerdere maar ook van latere glasconstructies. Het ontwerp kwam in drie weken tot stand en door het toepassen van prefab-componenten werd de bouw in vier maanden gerealiseerd. Conventionele bouwwerken van die grootte vergden destijds (en ook nu nog) jaren bouwtijd. De bijzondere prestatie die Paxton leverde was mogelijk doordat hij het ontwerp modulair opbouwde, afgestemd op de grootste in die tijd verkrijgbare glaslengtemaat: 1220 mm. De elementen van de ijzerconstructie voor het draagwerk, gietijzer voor de kolommen en de korte vakwerkliggers, en smeedijzer voor de grote vakwerkliggers van de dakconstructie, waren vervaardigd door middel van industriële fabricageprocessen\*. De componenten werden op de bouwplaats samengevoegd met behulp van een uitgekende assemblagemethodiek. In het transept met een 33 meter hoog tonvormig dak voor de overkapping van enkele indrukwekkende iepen werden houten boogspanten gebruikt.

Het Crystal Palace was het eerste grote voorbeeld van een geïndustrialiseerde, grootschalige manier van bouwen. Er werd veel over gepubliceerd en de gebruikte bouwmethode kreeg veel bekendheid. Het was ook de eerste grote expositieruimte die gebaseerd was op een ontwerp, waarin een ruimte volledig afgesloten werd door een transparante omhulling en dag-

licht overvloedig in het interieur kon toetreden. De hal was 563 meter lang, 125 meter breed, 19,5/33 meter hoog. Met een bebouwd oppervlak van 77.000 m<sup>2</sup> en een glasoppervlak van 83.600 m<sup>2</sup> was dit het grootste glasgebouw ter wereld. Er werden circa 300.000 glazen ruiten, grootte ca. 300 x 1200 mm, en 330 km houten glasoplegprofielen gebruikt. Het gerealiseerde binnenklimaat was echter nog niet een even groot succes als de bouwtechniek. Het bouwwerk kreeg de bijnaam 'the great stove'. Het was er 's zomers niet in uit te houden, zeker niet in victoriaanse kleding!

De glasdak- en glaswandconstructie van het Crystal Palace wordt als directe voorloper van de vliesgevel aangemerkt. Met name door het ijle karakter van de omhulling, vanwege het gebruik van ijzer en glas voor de constructie, door de industriële fabricage van de componenten en de methodiek voor een snelle montage en beglazing. Door de grote hoeveelheid en de korte levertijd werden de componenten in een groot aantal fabrieken verspreid over het Verenigd Koninkrijk vervaardigd. Dit was logistiek een hele prestatie, zeker gezien de toen beschikbare handgemaakte tekeningen, communicatie- en transportmiddelen.

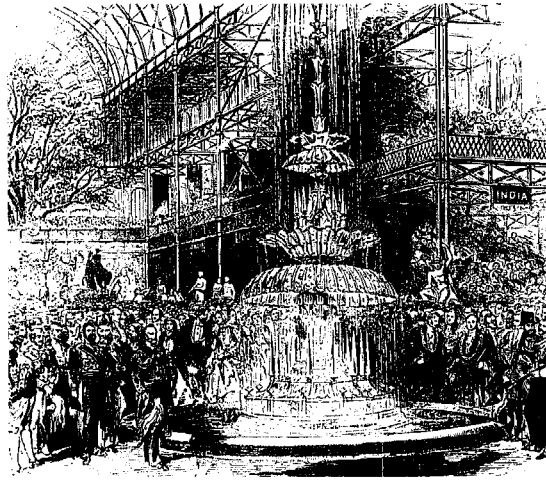
Geheel zelfstandig stond deze ontwikkeling niet. De industriële bouwwijze werd in de VS op een andere manier opgepakt. In het midden van de vorige eeuw werden in grote hoeveelheden standaard gietijzeren elementen vervaardigd en aangeboden per catalogus: de catalogusbouw. Voor veel kantoren werden gietijzeren skeletten en gebouwgevels toegepast. Een voorbeeld is het Harper Publishing House, New York, 1854, architect James Bogardus. Met gietijzeren bouwelementen konden karakteristieke gevels op economische wijze tot stand komen.

\* De industriële revolutie, periode tweede helft 18de en eerste helft 19de eeuw, is aanvankelijk ontstaan in Engeland door de ontwikkeling van de technologie voor de machinaal-mechanische industriële productie.

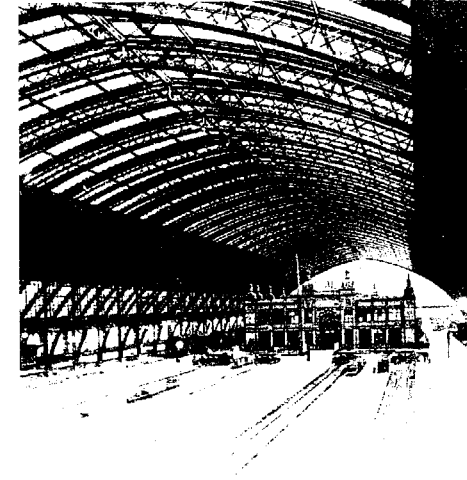
In Nederland kwam het industrialisatieproces pas in de tweede helft van de 19de eeuw op gang.



1.9 GUM passage, Moskou, 1893  
architect: Pomeranzew



1.11 Crystal Palace, London, 1851  
architect: Sir Joseph Paxton



1.10 Stationoverkapping Keulen  
architect: G. Frentzen

Chicago is door de noodzaak van snelle en compacte wederopbouw in de twee decennia na de grote brand van 1871 de geboorteplaats van de moderne architectuur geworden. Door de grote behoefte aan nieuwe huisvestings- en kantoorruimten ontstond de vraag naar snelle, goedkope hoogbouw. William le Baron Jenney, die een opleiding in Parijs had genoten en daar kennis maakte met de ijzerskeletbouwwijze, een bouwwijze die rond 1800 voor de industriebouw en rond 1850 voor de gestapelde kantoorbouw was ontwikkeld, paste deze techniek toe voor de hoogbouw in Chicago. Dit concept werd al spoedig overgenomen door andere architecten. Met name Louis Sullivan, die ook een deel van zijn bouwkundige opleiding in Parijs had genoten, werd hierom bekend.

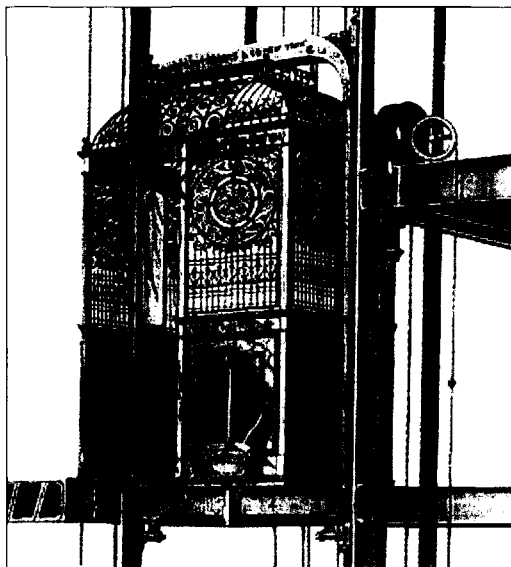
Door de ijzer- en staalskeletbouwwijze kon de draagconstructie veel ranker geconstrueerd worden. Het eerste gebouw met een volledige skeletconstructie van gietijzeren kolommen en stalen balken was het tien verdiepingen hoge Home Insurance Building (Jenney, 1885). In het Second Leiter Building (Jenney en Mundie, 1891) kwam geen dragende wand meer voor. (fig. 1.12) Jenney wordt wel de uitvinder van de skyscraper genoemd. Uit de stroming van deze ingenieursarchitectuur ontstond de 'Chicago School', die op zijn beurt in Amerika de bouwkunst een nieuwe richting heeft gegeven. Sullivan, die in Chicago van 1873 tot 1924 zijn architectenpraktijk uitoefende, had grote invloed op de architectuur in de USA. Chicago bleef ook niet onopgemerkt door Europese architecten. In 1911 bracht bijvoorbeeld Berlage een bezoek aan Amerika en ontmoette hij onder andere Sullivan. Hij was zeer onder de indruk van de bouwprestaties in de VS.

Deze architectonisch/bouwtechnische broedkamer leverde een belangrijke bijdrage aan de ontwikkeling van het staal- en betonskelet. Naast het skelet waren er nog vele andere comfortverhogende producten nodig voordat de eerste hoogbouw kon worden gerealiseerd. Zo hebben telefonie, kunstverlichting en het spoeltoilet ertoe bijgedragen, dat de communicatie en het comfort in hoge gebouwen aan de eisen voldoen. Naast de ontwikkeling van de elektrische lift (fig. 1.13), door Otis in 1889 voor het eerst geïnstalleerd, moest er voor hoogbouw in Chicago nog één hindernis worden overwonnen. Vanwege de slappe ondergrond waren nieuwe fundatietechnieken nodig om het eigen gewicht van hoge gebouwen te kunnen dragen. De techniek werd overgenomen van de bouw van graansilo's aan de rivieroever. Deze werden in de jaren zeventig van de vorige eeuw gebouwd op palen. Pas vanaf 1890 maakten architecten gebruik van deze fundatietechniek voor hoogbouw. De lichtgewichtgevels droegen ertoe bij het funderingsprobleem te verlichten.

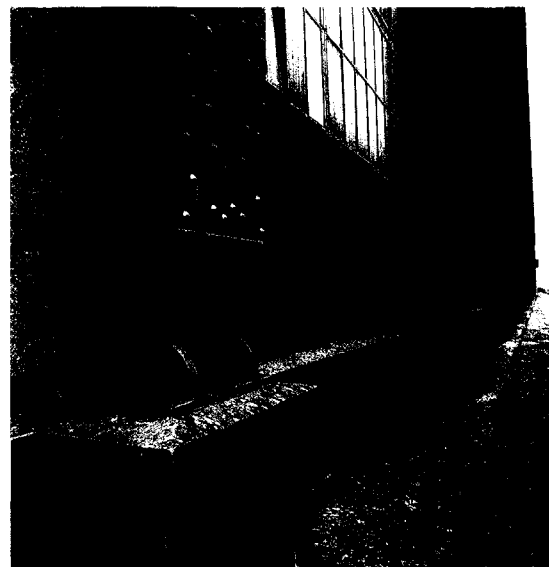
In Europa waren het vooral de Franse en Belgische ingenieurs die achtereenvolgens gietijzeren, smeedstalen en gewalst stalen frames toepasten voor de bouw. Deze ingenieurs gebruikten gietijzer en staal voor de constructieve opbouw, maar ook voor de expressie van het bouwwerk; glas was de belangrijkste vlakvulling. Architect Jules Saulnier realiseerde in 1873 in Frankrijk te Noisiel-sur-Marne de Menier Chocoladefabriek. Hij paste een nieuwe bouwmethode toe: een volledig zelfdragende ijzerskeletconstructie met een in het skelet gemetselde gevel. De buitenwanden, waarvoor een holle geglazuurde baksteen gebruikt werd, waren aan de buitenzijde volledig vlak en niet-constructief. Dit was een belangrijke bouwwin-



1.12 Second Leiter Building, Chicago, 1891  
architect: Jenney en Mundie



1.13 Otis Liftcabine ca. 1900



1.14 Voetscharnier Turbinehal AEG, Berlijn, 1909  
architect: Peter Behrens

vatie. Het is begrijpelijk dat dit bouwwerk, waarover wel gepubliceerd werd, geen merkbare invloed gehad heeft op de ontwikkeling van de eerste hoogbouw in Chicago, Amerika. De gevel was veel te zwaar en had te weinig lichtopeningen. De vroege Engelse voorbeelden van ijzerskeletbouw, ontwikkeld in de omgeving van Liverpool, werden echter in Chicago wel overgenomen door Jenney.

Tot het eind van de negentiende eeuw werden de gemetselde muurwerken als invulling van skeletconstructies uitgevoerd. Pas later ontkoppelden gebouwskelet en gevelconstructie, waarbij de gevel slechts plaatselijk aan het skelet verankerd werd. Door de skeletbouwwijze van de hoofdconstructie konden de niet-dragende buitenwanden in elk geschikt materiaal uitgevoerd worden, ook met glas, mits er voldaan werd aan eisen van stabiliteit, stijfheid en sterkte, naast water- en winddichtheidseisen en brandveiligheidsvoorschriften.

#### DE EERSTE STALEN GLASGEVELS

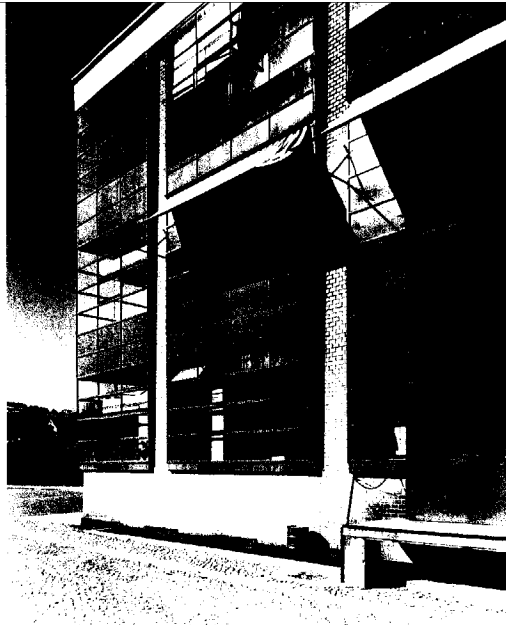
**B**ij de totstandkoming van de vliesgevel zijn vier historische ontwikkelingen van belang: het gebruik van de materialen ijzer en glas voor de opbouw van wanden, gevels en daken; de skeletbouwwijze van de hoofdconstructie; de behoefte aan binnenklimaatregulering en meer daglichttoetreding; en tenslotte de industrialisatie van de gevelbouw.

Kantoren met metaalglasgevels werden gebouwd tijdens de eerste helft van de twintigste eeuw, toen architecten als Jenney, Sullivan, Wright, Behrens, Gropius, Mies van der Rohe en Le Corbusier zich waagden aan nieuwe gebouwwormen, hoofdconstructies,

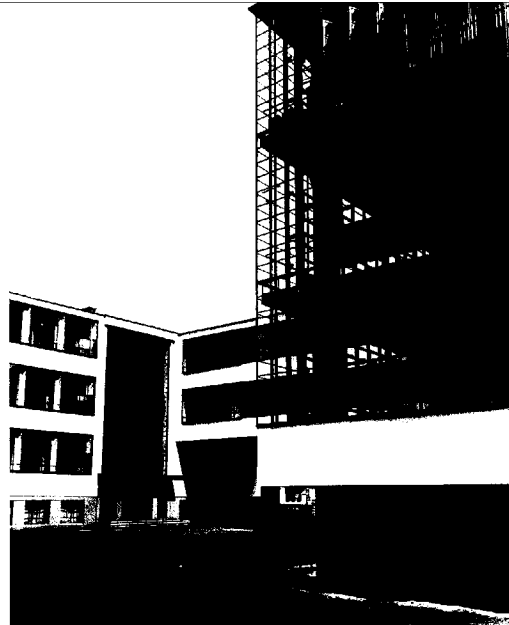
constructiedetails en gevelmaterialen.

Peter Behrens bouwde in 1909 de AEG Turbinehal in Berlijn. (fig. 1.14) De hoofdconstructie werd uitgevoerd in geklonken stalen spanten, zichtbaar aan de buitenzijde en gefixeerd door zware voetscharnieren. Het gebouw had aan de kopzijde een hangende gevel van staal en glas. De gevel van de speelgoedfabriek Steiff te Giengen/Brenz (1903), ontworpen door Richard Steiff, is het ons vroegst bekende voorbeeld van het vliesgevelprincipe. De gevel was uitgevoerd als stijl-en-regelsysteem. Walter Gropius bouwde het Faguswerk te Alfeld (1910–1916). (fig. 1.15) Voor het drie verdiepingen hoge gebouw ontwikkelde Gropius een gevel uit metaal en glas. Gropius paste het vliesgevelprincipe ook toe in het hoofdkantoorgebouw op de Werkbundaustellung te Keulen (1914) en in het onlangs gerenoveerde werkplaatsgebouw van het Bauhaus te Dessau (1925–1926). (fig. 1.16)

Mies van der Rohe diende voor een ontwerpwedstrijd in 1922 een ontwerp in aan de Friedrichstrasse in Berlijn: twee hoogbouwwerken, waarvan de gevels per verdieping geheel van beglazing voorzien waren. Hij wilde daarmee onder andere bereiken dat de nieuwerwetse betonnen draagconstructie van buitenaf zichtbaar bleef. Zijn ontwerp was de tijd nog te ver vooruit. In zijn latere gerealiseerde ontwerpen werkte hij dit principe verder uit. Ook Le Corbusier werd uitgedaagd door de toepassingsmogelijkheden van glasgevels, in contrast tot de massieve betonnen wanden en vloeren in zijn gebouwen. Hij ontwierp Cité de Refuge in Parijs (1929–1933) (fig. 1.17) en het Project Centrosoyus te Moskou (1928–1929). Een ander voorbeeld van glas-staalbouw komt van Michiel Brinkman en Leendert Van der Vlugt. Zij ontwierpen de Van Nelle



1.15 Faguswerk, Alfeld a/d Leine, 1911–1916  
architect: Walter Gropius



1.16 Bauhaus, Dessau 1925–1926  
architect: Walter Gropius

Fabriek in Rotterdam (1926–1930) als betonnen tafelskeletbouw, met niet-dragende raamstroken van staal en glas en met stalen glasgevels.

Andere bekende en innovatieve Nederlandse bouwwerken met staal-glasgevels uit die periode zijn:

Het kantoorgebouw De Volharding te Den Haag (1928) van architect Jan Buijs. [1.26] De gevels werden tevens gebruikt als informatiemedium. De volksnaam van het bouwwerk was 'het glazen huis'. De niet-dragende gevelconstructies waren van glas en staal. De reclamebakken werden samengesteld van aluminium frames, zie ook hoofdstuk 9.

Johannes Duiker en Bernard Bijvoet ontwierpen het sanatoriumcomplex Zonnestraal te Hilversum. [1.27] Het eerste paviljoen werd opgeleverd in 1928. (fig. 1.19) Voor de raamconstructies werden grote glazen raamvlakken in dunne stalen kozijnen gekozen. (fig. 1.20) Het jonge monument wordt nu gerestaureerd.

Duiker ontwierp ook het Nirwana flatgebouw te Den Haag (1930). Een Nederlandse wolkenkrabber van zeven etages en met stalen glaspuien.

Aan de ontwikkeling van de metalen gevel heeft ook Jean Prouvé als ontwerpend metaalproducent een belangrijke bijdrage geleverd. In 1938-39 ontwikkelde hij als eerste een volledig geïsoleerde vliesgevelconstructie met talrijke innovatieve details, die nog steeds in de huidige technologie van de metalen gevelconstructie zijn terug te vinden. (fig. 1.21) Bovendien heeft hij in vele projecten de beheersing van zon-inval betrokken bij de constructieve uitwerking van de gevels. Hij was zijn tijd ver vooruit.

## DE STALEN VLIESGEVEL VAN 1950-1973

**B**egin jaren vijftig kwamen er innovaties ter beschikking, waardoor de verdere ontwikkeling van de vliesgevel gestimuleerd werd:

- airconditioning-installaties;
- kunstverlichting;
- industriële glasfabricage en glascoatings;
- isolerende beglazing;
- kunstrubbers en katten ontwikkeld in de auto- en vliegtuigindustrie;
- de gevelbouwwijze in geprefabriceerde componenten.

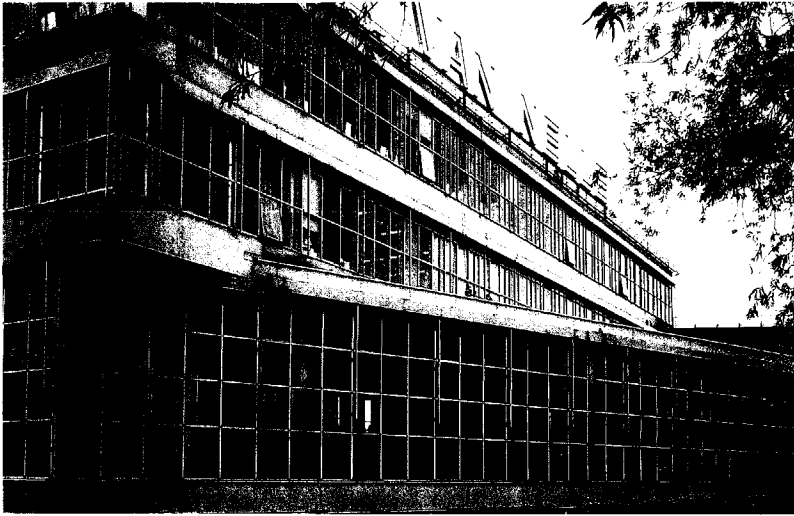
Twee vroege voorbeelden van moderne vliesgeveltoepassingen van die tijd zijn het Equitable Savings and Loan Building te Portland, VS 1948 (fig. 1.36), het eerste bouwwerk dat volledig gesloten en met een airco-installatie werd uitgevoerd en het Lever House te New York (1952) van het architectenbureau SOM, een vroeg voorbeeld van hoogbouw met vliesgevels. De gevel van het Lever House wordt als de eerste gordijngevel beschouwd vanwege de methode van ophanging. Hij is opgebouwd uit stalen stijlen en regels, aan de buitenzijde afgedekt met roestvast stalen deklijsten die tevens dienst doen als glaslijsten. Voor de beglazing werd in-de-massa-gekleurd blauw en groen glas gekozen.

In de jaren vijftig werden ook andere constructie-metalen dan staal in de glasgevelbouw toegepast. Een voorbeeld van een vliesgevel opgebouwd uit massief messing profielen en met messing paneelbeplatingen is het Seagram Building te New York (1954–1958), architecten Ludwig Mies van der Rohe en Philip Johnson. (fig. 1.22)



1.17 Cité de Refuge, Parijs, 1933  
architect: Le Corbusier





1.18 Van Nelle Fabrik, Rotterdam, 1930  
architect: J.A. Brinkman en L.C. Van der Vlugt



1.19 Zonnestraal, Hilversum, 1928  
architect: J. Duiker en B. Bijvoet

#### DE ALUMINIUM VLIESGEVEL VAN 1950-1973

**A**luminium is een relatief nieuw materiaal, voor het eerst geraffineerd in 1827 door de Duitser Friedrich Wöhler. Door produktie door middel van het elektrolyseproces, gepatenteerd in 1886, kwam aluminium in grotere hoeveelheden ter beschikking en werd het betaalbaar voor bouwtoepassingen. Aluminium werd in het begin meer toegepast in de Amerikaanse bouw dan in de Europese, waar de arbeidskosten weliswaar lager waren, maar het aluminium duurder. Naast het decoratieve gebruik van aluminium voor bouwcomponenten bleek pas laat (eind jaren veertig) dat aluminium profiel- en plaatmateriaal ook zeer goed bruikbaar was voor de constructieve opbouw en vormgeving van de vliesgevel. Die relatief late toepassing van aluminium werd ook veroorzaakt door de Tweede Wereldoorlog; al het aluminium was nodig voor de bouw van onder andere vliegtuigen. Zo stopte Kawneer USA in 1942 volledig met de produktie van aluminium puien en werkte tot ver in 1945 uitsluitend voor de luchtvaartindustrie. [1.25]

Toen men het gebruik van aluminium als gevelbouw materiaal beter beheerste, en niet meer zag als vervangingsmateriaal van staal, bleek de prijs-prestatieverhouding van aluminium gunstiger te zijn dan die van staal. Vooral toen de prestatie-eisen strenger werden, werd vastgesteld dat de steeds complexer wordende constructies eenvoudiger met behulp van aluminium profielen gerealiseerd konden worden. Vanwege het lichte eigen gewicht, de grote vormvrijheid in profieldoorsnede en de relatief hoge corrosiebestendigheid en ondanks de geringere stijfheid, werd in toenemende mate vanaf het begin van de jaren zestig aan

aluminium de voorkeur gegeven boven staal. Hierna is het gebruik van warm gewalste stalen profielen snel afgenomen: in de vliesgevelbouw wordt vanaf 1975 bijna uitsluitend met aluminium profielsystemen gewerkt. Omstreeks de helft van de jaren tachtig stopten bijna alle staalwalserijen met de fabricage van warm gewalste raam- en gevelprofielen. Vanaf dat moment waren er, op een enkele uitzondering na, alleen nog koud gevormde stalen holle koker profielsystemen in de handel.

Er ontwikkelde zich een behoefte om grote gebouwen sneller te bouwen. Voor de gevelbouw bleken kortere bouw tijden haalbaar te zijn door verder doorgevoerde prefabricage van de niet-dragende lichte gevelcomponenten, en door glas, panelen en mechanische voorzieningen reeds tijdens de assemblage in de fabriek in de gevelcomponenten op te nemen. Prefabricage bespaarde arbeidskosten op de bouwplaats, de doorlooptijden op de bouw werden aanzienlijk bekort, terwijl tevens de kwaliteit van de gevelcomponenten verbeterde.

Het Alcoa-gebouw in Pittsburgh (1953) is een vroeg en innovatief voorbeeld van een aluminium paneelvliesgevel. (fig. 1.23) Voor de fabricage van de panelen werden in de auto-industrie ontwikkelde technieken gebruikt, met doorzichtbeglazing in rubberen gaskets en met ramen die geopend konden worden. (fig. 1.24 en 1.25)\*

In de jaren vijftig en zestig nam de vraag naar hogere gebouwen toe. Vanwege de funderingsbelastingen en lichte gevelconstructies was aluminium voor de gevels een logisch gevolg. Bovendien kwam glas in steeds grotere hoeveelheden en afmetingen en met een steeds betere kwaliteit ter beschikking, met als

\* De buitengevel van het Alcoa gebouw is bekleed met 1/8 inch (3,2 mm) voorgevormde aluminium panelen, grijs geanodiseerd, verdiepingshoog geprefabriceerd, en door middel van stalen ankerstoelen vastgezet aan het gebouwskelet. In elk paneel is een tuimelraam opgenomen.

Het paneelvlak is verstijfd door zettingen in diamantvorm. In de fabriek werd het paneel voorzien van een doorzichtige laag vloeibare plastic coating voor bescherming tegen cementafzetting tijdens de bouw fase en aansluitend nog ca. 5 jaar. Pas daarna zou de kunststof laag afgepeld worden. De ramen zijn voorzien van dubbele beglazing gemonteerd in rubber gaskets.



1.20 Sanatorium Zonnestraal, Hilversum, 1928



1.21 Immeuble Mozart, Parijs, 1953  
gevelontwerp: Jean Prouvé

gevolg dat de vliesgevel steeds glasrijker werd. Vooral de toenemende grootte van de glaspanelen was van invloed. Enerzijds werd daardoor meer daglichttoetreding voor de steeds dieper wordende werkruimten mogelijk, anderzijds werd de warmtebelasting in de zomer een probleem en ontstond de behoefte aan zon-beheersende beglazing. Uiteindelijk zijn daardoor de zonabsorberende en later de zonreflecterende beglazingen ontwikkeld, deels voortkomend uit ontwikkelingen in de automobiellindustrie.

Eind jaren vijftig werden er in navolging van de trends in Amerika ook in Europa gebouwen met aluminiumglasgevels ontworpen. Hoewel de gebouwen in Europa meestal minder hoog waren dan in de VS, bleek het principe ook goed toepasbaar voor middelgrote en kleinere bouwwerken.

Het kantoorgebouw van Phoenix Rheinrohr AG (Thyssenhaus) te Düsseldorf, 1957-1960, architecten Helmut Hentrich en Hubert Petschnigg, is een vroeg voorbeeld van grootschalige Duitse aluminiumglasvliesgevelbouw.

In Solothurn in Zwitserland werkte een groep bouwingenieurs samen aan de mogelijkheden van metaalbouw door te streven naar maximale prefabricage. Ook nieuwe lichte toepassingen van klassieke materialen, zoals het gebruik van dunne doorzichtige marmer panelen, was onderdeel van het werkpalet van deze architecten. Een voorbeeld is de Kantonschule te Baden, gebouwd in 1962-1964, door de architecten Bruno en Fritz Haller. (fig. 1.26) In deze tijd zijn bijna alle karakteristieken van de huidige façadebouw herkenbaar.

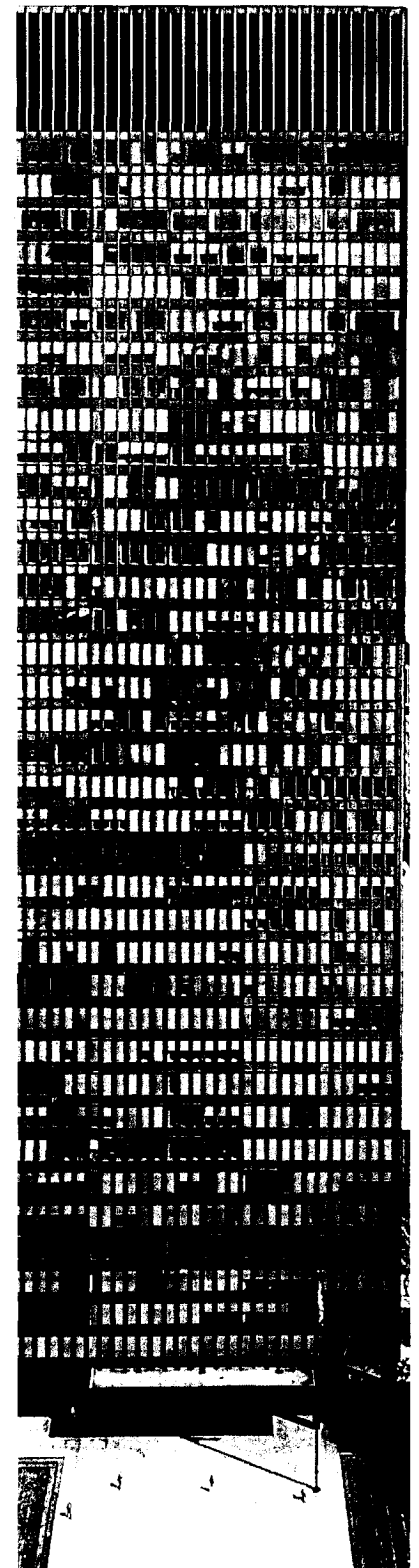
#### BUITENLANDSE INVLOEDEN VANAF 1973

De Amerikaanse aluminium raam- en gevelbouw vond ook navolging in het Verre Oosten, vooral in Japan. Daardoor is daar het Amerikaanse architectuurconcept van de jaren vijftig herkenbaar terug te vinden. Japan is 'aluminium-minded'. Ook in de woningbouw worden zeer veel aluminium ramen en deuren toegepast. In de steden is de grond zo duur, dat de regel opgaat: hoe hoger hoe rendabeler. Bij deze hoogbouw is de toepassing van lichte gevelconstructies gunstig. De Japanse architectuur heeft altijd gebruik gemaakt van lichte (houten) wanden en schuifdeuren. De overstap naar lichte metalen gevels was daardoor gemakkelijk.

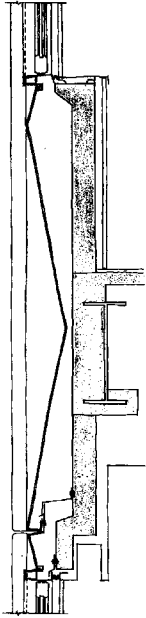
De Japanse gevelbouw verschilt van de Amerikaanse en Europese doordat de standaardisatie van gevelprincipes verder is doorgevoerd. Automatisering van de productie bleek mogelijk met behoud van enige variatie en flexibiliteit in vorm en afmetingen per project. Echter daarmee is de Japanse aanpak ook eerder conservatief dan innovatief te noemen.

Het verstek als hoekverbinding wordt in Japan nauwelijks toegepast. Stompe, gecontramalde verbindingen zijn gebruikelijk. (fig. 1.27) Deze zijn in uitvoering afgestemd op de automatisering van de productie. De ontwikkeling van de oppervlaktebehandeling van aluminium plaat- en profielmateriaal is anders verlopen (zie hoofdstuk 4).

Door eisen van het wegtransport werkt men in Japan met kleinere componenten dan in de VS en Europa. Daardoor is men in Japan minder ver in de gevelbouwmethodiek met grote prefab-componenten. De verregaande automatisering van het productiepro-



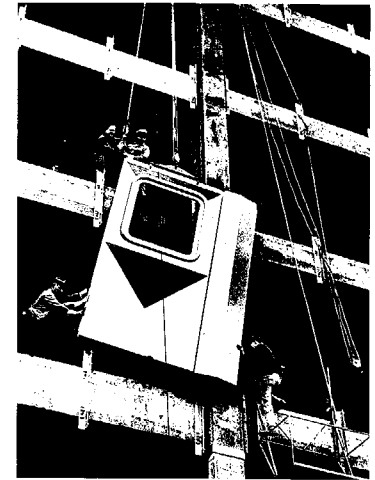
1.22 Seagram Building, New York, 1958,  
architecten: Ludwig Mies van der Rohe  
en Philip Johnson



1.25 Horizontale en verticale doorsnede gevelpaneel Alcoa Building.



1.23 Alcoa Building, Pittsburg, 1953  
architect: Harrison & Abramovitz



1.24 Alcoa Building, Pittsburg, 1953  
architect: Harrison & Abramovitz

ces en de ver doorgevoerde integratie van de activiteiten (aluminium-profielproductie, oppervlaktebehandeling, façadebouw) in mammoetbedrijven hebben tot een zeer efficiënte industrie geleid. In Japan werden tot 1990 de constructies meestal in niet-geïsoleerde profielsystemen uitgevoerd. Het klimaat in de bevolkingscentra is er in het algemeen gunstiger dan in Nederland. Vanaf 1990 zijn er voor de utiliteitsbouw wetten van kracht die stellen dat geïsoleerde profielen gebruikt dienen te worden.

Kijkt men naar het eindresultaat – het prestatieniveau van de gemonteerde gevel – dan is de stand der techniek in Japan gelijk aan die in Noord-Amerika. In Europa is men verder met de technologie voor een tot in detail uitgekende, energetisch efficiënte vliesgevelopbouw en met de prefabricage van de gevelcomponenten. Maar de ervaring met hoogbouw is er minder en het 'doorzetten' van de detaillering, een esthetisch aspect, heeft in het algemeen minder prioriteit dan in de VS. Dit komt mede doordat de budgetten die gemiddeld in Europa voor gevels uitgetrokken worden veel lager zijn dan in Japan en ook beperkter dan in de VS.

In Amerika werd door de hoge loonkosten de vroege toepassing van aluminium in de vliesgevelbouw in de jaren vijftig vooral afgestemd op het bereiken van arbeidsbesparende methoden en lage onderhoudskosten. In Europa, waar arbeid toen goedkoper was en materiaal in verhouding duur, is er meer aandacht besteed aan zuinig materiaalgebruik. Dit heeft uiteindelijk geleid tot een beter gebruik van aluminium als bouw materiaal, meer raffinement in de gevelsystemen en complexere detailleringen.

Opmerkelijk in Europa was de ontwikkeling van complete en uitgebreide standaard-profielssystemen voor

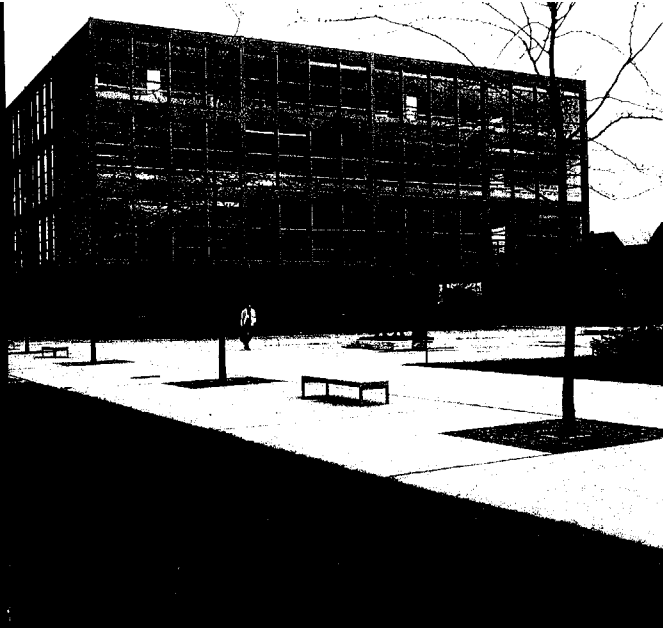
gevelconstructies. In Amerika en het Verre Oosten was de situatie heel anders. In deze gebieden hebben handelsleveranciers van systeemgevels weinig invloed. De vliesgevelbouwbedrijven zijn over het algemeen groter dan in Europa en voeren eigen systemen, die door de grotere bedrijven vaak ook zelf geëxtrudeerd en van een oppervlaktebehandeling voorzien worden.

In steden als Tokyo, Hong Kong en Singapore zijn indrukwekkende, vaak zeer luxe gebouwen met glasfaçaden gerealiseerd. In Hong Kong en Singapore hebben sinds de jaren zeventig ook Amerikaanse, Europese en Aziatische bedrijven gevels gebouwd. In deze gebieden (en in het Midden-Oosten) heeft een wederzijdse beïnvloeding plaatsgevonden van gevelarchitectuur en aluminiumtechnologie uit Amerika, Europa en Azië. Toonaangevende architecten zowel als vooraanstaande gevelbouwbedrijven uit de hele wereld hebben er werken uitgevoerd. (fig. 1.28)

#### DE ALUMINIUM VLIESGEVEL VAN 1973-1995

**D**e eerste generatie aluminium vliesgevel ontstond vanaf 1950. De constructie van de alu-gevel was in aanvang afgeleid van de stalen gevelbouw. Maar in de zestiger jaren zien we dat de aluminiumgevelbouw een eigen weg inslaat, doordat de constructeurs de eigenschappen van het materiaal beter hebben leren kennen en architecten weten vorm- en afwerkingsmogelijkheden vernieuwend toe te passen.

Na de eerste energiecrisis van 1973 wordt thermische isolatie van gevelconstructies standaard. Eerst door de consequente toepassing van isolerende beglazing en sandwichpanelen, spoedig gevolgd door het



1.26 Kantonschule, Baden, 1964  
architect: Bruno & Fritz Haller



1.28 Hong Kong, Bank of China (nov. '88), hoogte 320 meter  
architect: I.M. Pei & Partners en Kung & Lee

standaard gebruik van aluminium profielen met koudebrug onderbreking. (fig. 1.29) Deze geïsoleerde uitvoering kan beschouwd worden als de **tweede generatie aluminium vliesgevel**.

Rond 1975 zijn het nog bijna uitsluitend de grote gevelbouwers die voldoende engineering-capaciteit in huis hebben om op projectniveau constructies van metaalglasgevels te kunnen bepalen aan de hand van functionele eisen, architectonische voorwaarden en bouwtechnische uitgangspunten. Kozijnfabrikanten waren ambachtelijker ingericht, hadden een minder grote engineering-capaciteit en zijn in hoofdzaak systeemverwerkers. De systeemontwikkelaars, die projectonafhankelijk gevelsystemen ontwikkelen en de materialen en hulpmiddelen voor de productie van deze componenten leveren, ontdekten in de jaren zeventig een afzetmarkt bij de kleinere en middelgrote constructiewerkplaatsen.

Deze tweede generatie vliesgevel had invloed op de verwerking en de oppervlaktebehandeling van het thermisch geïsoleerde profielmateriaal. Bij het lassen van de verstekken zou de thermische isolator, meestal van kunststofmateriaal, beschadigd worden. Daardoor was deze verbindingmethode in de meeste gevallen niet meer mogelijk. De thermische isolator, doorlopend of plaatselijk aangebracht tussen het buiten- en het binnenprofiel, verzwakte het voorheen diepe en stijve profiel. Bovendien waren de toleranties van het samengestelde profiel groter dan voorheen. Door de invoering van thermische isolatoren werd het lijmen en krammen van de verstekverbindingen algemeen gebruik. Dit was een goedkopere methode dan lassen, doch uitvoeringsgevoeliger omdat een extra beschermende en dichtende behandeling van de verstek-zaag-

vlakken noodzakelijk werd.

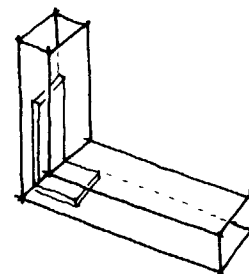
Er werden vele typen isolatoren ontwikkeld om de prestaties te verbeteren. Hierbij zijn de volgende uitvoeringen mogelijk: plaatselijk of doorlopend aangebracht; enkele of meervoudige isolatoren; massief kunststof materiaal, ingeschuimd isolatiemateriaal, ingegoten isolatoren; gelijmde, ingerolde, geschroefde, geklikte verbindingen of combinaties van deze methoden.

In aanvang werd de isolator vaak plaatselijk aangebracht. Dit had als nadeel dat de isolatieverbetering ten opzichte van massieve gevelprofielen gering was. De lucht in het systeem kon teveel bewegen, waardoor de hoge isolatiewaarde van stilstaande lucht grotendeels teniet gedaan werd. Bovendien bleek, dat bij lekkages moeilijk vast te stellen was waar zich aan de buitenzijde de lekkageplaats bevond. Het lekwater kon een flinke weg afleggen in de profielspouwzone voordat het naar binnen kwam.

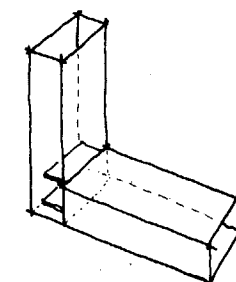
### 1973-1980

In de periode 1973-1980 komt de reeds genoemde profielisolator in beeld. De isolator werd medio jaren vijftig al door het bedrijf Menziken te Zwitserland ontwikkeld voor militaire gebouwen waar condensvorming binnen niet was toegestaan. De thermische onderbreking was tot 1975 weinig gebruikelijk in de gevelbouw, deze werd hier en daar toegepast als een comforttoevoeging; het voorkomen van condensvochtthinder. Met de toename van de U-waarde-eisen die aan de gevel werden gesteld, werden de isolatoren verbeterd (hoger, meervoudig, doorlopend, beter sluitend, met toevoegingen voor de aan-

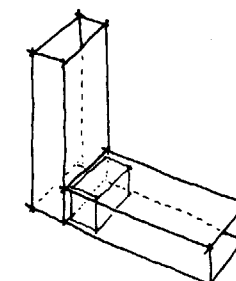
### 1.27 Hoekverbindingen



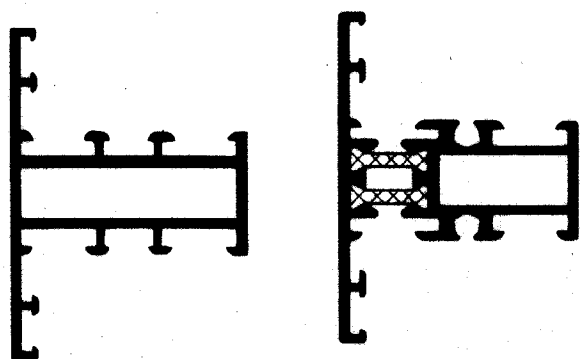
Verstekverbinding



Gecontramalde verbinding



Stompe verbinding



1.29 Profiel zonder en met thermische onderbreking.



1.30 Glasarchitectuur.

sluitingen op draaiende delen); tevens werden de statische waarden verbeterd (glasvezelversterking, lijmen en inrollen, inrollen met dwarsribbels voor extra klemkracht enz.).

Door de ontwikkelingen in de glasindustrie komen steeds beter isolerende en zonreflecterende beglazingen ter beschikking. De zonreflecterende glascoatings kunnen in vele kleurstellingen geleverd worden. Bovendien worden de gebouwen in navolging van de Amerikaanse gevelarchitectuur glasrijker. Door het zelf geïntroduceerde probleem van het broeikas effect bij glazen gevels wordt de gevel steeds meer een buitenklimaatwerend in plaats van een klimaatscheidend bouwdeel. Daarbij wordt het binnenklimaat geheel door de mechanische installaties verzorgd. In dit kunstmatige concept is geen plaats meer voor een raam dat geopend kan worden: het kan de werking van de airconditioning-installatie ontregelen. Eventuele ramen worden op Duitse wijze uitgevoerd: naar binnen draaiend in draai-kiëp-uitvoering. Het schuifraam in de kantoorbouw verdwijnt bijna geheel.

In de tweede helft van de jaren zeventig ontstaat verder de klimaatgevel of het klimaatraam. Dit is een dubbele gevel – dubbelglas buiten, spouw met zonweringinstallatie en een enkelglas binnenruit – waarbij binnenventilatielucht via de raam/gevelspouw afgezogen wordt. Deze ontwikkeling past geheel in de trend om de invloed van het buitenklimaat maximaal uit te sluiten met behoud van uitzicht en daglichttoetreding, met de grootste isolatie aan de buitenzijde.

Betreffende de oppervlakte afwerking is men kennelijk uitgekeken op het anodiseren; het moffellakken komt sterk opzetten, oorspronkelijk in natlak, maar begin jaren tachtig in poederlak.

#### 1980-1990

In de jaren tachtig vond een flinke groei plaats van de kantoorbouwactiviteiten. Dit was een gevolg van de economische groei en van de automatisering – computer, informatietechnieken, interactieve besturingssystemen – waardoor werk van de fabriek naar het kantoor verplaatst werd.

Projectontwikkelaars wisten goede bouwlocaties vast te leggen. Zij dicteerden min of meer het bouwconcept gebaseerd op snelle realisatie en lage investeringskosten, minder oog voor duurzaamheid, energiezuinigheid, gebruiksvriendelijkheid en flexibiliteit. Mede door de grote beleggers, die ook 'de wind mee' hadden en die daardoor veel geld moesten onderbrengen, werd er bijna gebouwd om het bouwen.

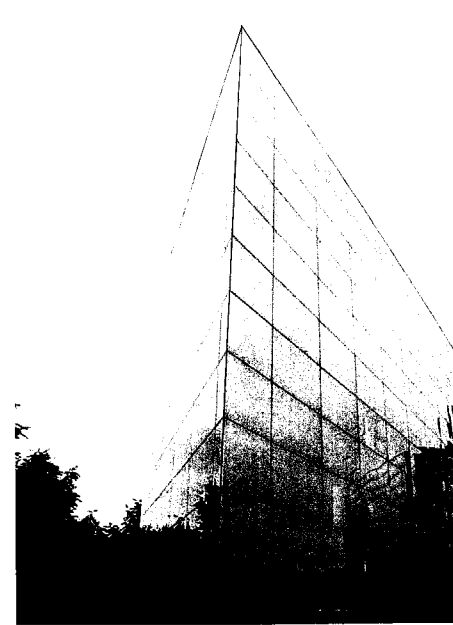
In het begin van de jaren tachtig zette de 'Dallas' achtige glasarchitectuurtrend in. (fig. 1.30) Het ging hierbij om glazen vliesgevels, waarvan zowel de ramen als het buitenblad van de niet-doorzichtpanelen voorzien waren van gelijke zonreflecterende beglazing. Beglaseerde borstweringspanelen werden gevolgd door de 'shadow box' en beglazingen met 'opacifier' (zie hoofdstuk 5 glas). Tevens werden meer glasdaken en atriumoverkappingen in het ontwerp opgenomen. Het kantoorconcept van de jaren zeventig had werkplekken die te ver van het daglicht verwijderd waren. Door atriumbouw met glaskappen konden binnenkantoorruimten van daglicht voorzien worden. (fig. 1.31) Dit concept werd medio jaren tachtig alweer aangevochten, toen werd gesteld dat men ook het recht had op uitzicht naar buiten. Hierdoor konden binnenruimten alleen bestemd worden voor openbaar, gemeenschappelijk of tijdelijk gebruik, tenzij het atrium zo ruim werd op-



1.31 Atriumgebouw, Amsterdam, 1989.  
architect: Ellerman, Lucas, van Vugt



1.32 Stadhuiscomplex, Den Haag, 1995.  
architect: Richard Meier & Associates



1.33 Zwolsche Algemeene, Nieuwegein, 1984.  
architect: Peter Gerssen

gezet, dat voldoende daglichttoetreding en uitzicht mogelijk was.\* (fig. 1.32)

De kantoorgebouwen werden spiegelende gesloten bolwerken. De gevelstramenmaat werd vaak vergroot naar 1800 mm: gevelcomponenten van 1800 x 1800 mm. Hierdoor werden de gevels goedkoper met behoud van voldoende indeelbaarheid, maar gevels werden veel gelijkvormiger. Maat, ritme en schaal begonnen te verdwijnen als ontwerpmiddel.

Voor de gevelbouw was deze glasvliesgeveltrend gunstig. Door verder doorgevoerde industrialisatie werden kortere bouw tijden mogelijk, de relatief dure zonreflecterende beglazing was een goede kostendrager en de vliesgevels waren door het glasgebruik vlak en eenvoudig. Een gevolg was dat de systeemontwikkelaars, die in een groei marktsituatie de omzet in raamsystemen relatief zagen teruglopen, vliesgevelsystemen gingen ontwikkelen en de ramenbouwers tot vliesgevelbouw aanzetten. Door tevens computerprogramma's te ontwikkelen waarmee de gevelsystemen relatief eenvoudig en snel op projectniveau vastgelegd konden worden, werd de drempel voor de ramenbouwers verlaagd. Bedrijven die in deze tijd begonnen met de vliesgevelbouw, merkten dat de bouw van stijl- en regelglasgevels in de fabriek zelfs eenvoudiger was dan ramenbouw. Alleen de opbouw van de gevel op de bouwplaats was moeilijker maar daarvoor boden zich al spoedig gespecialiseerde montagebedrijven aan.

Door het marktvolume konden veel raam- en gevelbedrijven groeien in omzet, maar de eigen engineeringcapaciteit voor deze volumegroei was onvoldoende aanwezig. Voor de specifieke kennis van vliesgevelengineering kon men echter terugvallen op de systeemontwikkelaars. Daardoor werden de systeemont-

wikkelaars machtiger en talrijker. Een gevolg was dat de capaciteit van de vliesgevelbouw enorm toenam. De grote bedrijven kregen het moeilijk en zochten hun weg in zeer geavanceerde en/of grote projecten en richtten zich op de export.

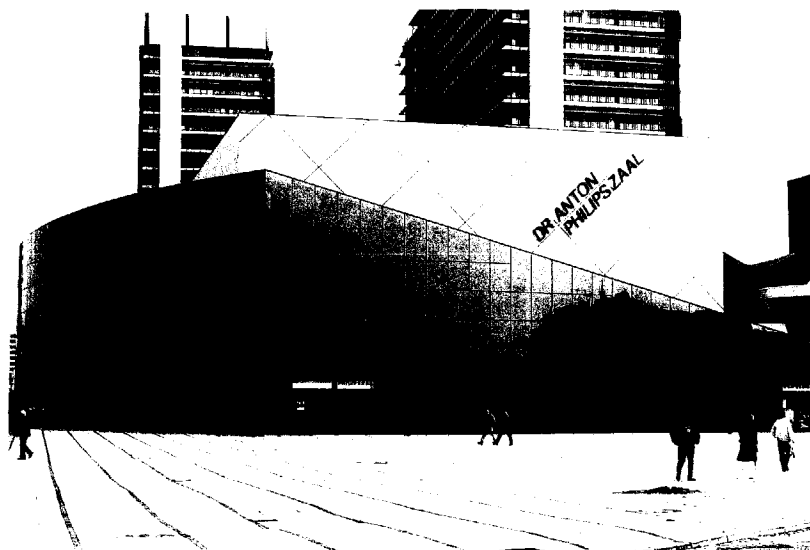
Een andere ontwikkeling uit de VS, de constructief verlijmd beglazing (structural sealant glazing), wordt ook in Nederland geïntroduceerd. Het eerste bouwwerk met een gevelafwerking met constructief verlijmd enkelglas is het kantoorgebouw van de Zwolsche Algemeene te Nieuwegein (1984, architect Peter Gerssen). (fig. 1.33) De eerste dubbelglas structural sealant gevel werd in het Muziektheater te Den Haag toegepast (1987, Van Mourik Vermeulen Architecten b.v.). (fig. 1.34)

Aan het einde van de jaren tachtig ontstond er opnieuw behoefte om delen in de gevel op te nemen die geopend konden worden. Dit mede in verband met de toenemende aandacht voor het 'sick building syndrome', maar ook onder invloed van de toenemende mondigheid van de gebouwgebruikers: de ondernemingsraad kreeg allengs meer zeggenschap.

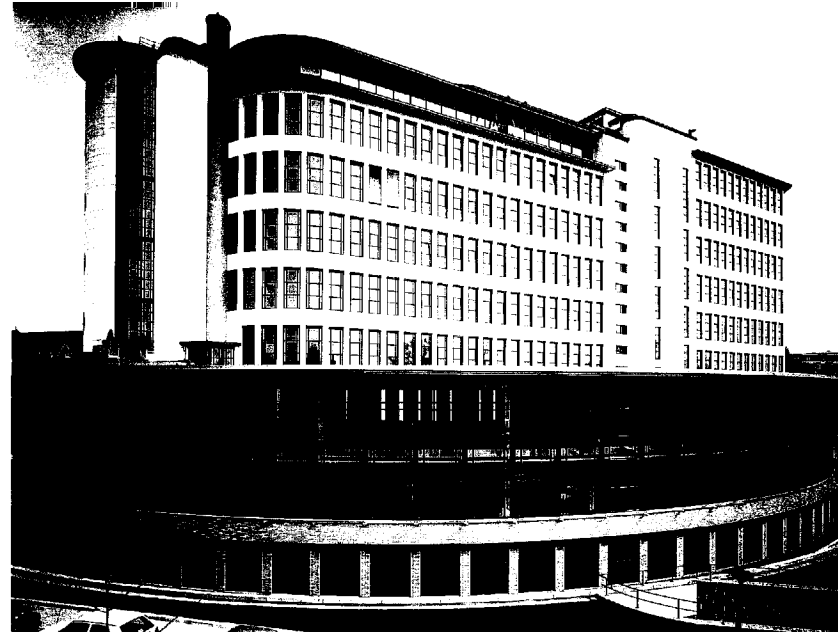
De verzwarening en internationalisering van de regelgeving heeft invloed op de geveluitvoering. Het Bouwbesluit, toenemende Arbo-wetgeving en verhoogde produkt aansprakelijkheid zijn aspecten waarmee rekening gehouden dient te worden. Ook ontstaan er meer voorschriften over afvalaanbod. De bouwvoorwaarden worden 'agressiever'. Korte levertijden, hoge boeteregelingen bij de overschrijding hiervan, betalingen die afgestemd worden op de voortgang van de gevelbouw op de bouwplaats zonder termijnbetalingen voor het fabriekswerk en financiële garantiestellingen zijn aspecten die zwaar gaan wegen.

\* Bij de ontwerp van het VROM-ministeriegebouw te Den Haag ontstond de discussie of uitzicht vanuit het kantoor door met glasconstructies en glasdaken afgeschermd binnengebieden voldeed aan de arbeidsplaatsregels van de Rijksoverheid ten aanzien van daglichttoetreding en vrij uitzicht naar buiten.

Het Stadhuiscomplex in Den Haag is een recent voorbeeld van een groot atrium met aangrenzende kantoren (oplevering 1995).



1.34 Muziektheater Dr. Anton Philipszaal, Den Haag,  
architect: Van Mourik Vermeulen Architecten b.v.



1.35 Renovatie en uitbreiding Apollo House, Amsterdam  
architect: Liag

De bouwbudgetten worden steeds scherper doordat de groei van de bouwactiviteiten stagneert. Daarom wordt er naar goedkopere oplossingen gezocht. Vooraf gelakt 'coilcoat' plaatmateriaal voor borstweringspanelen en voor 'regenjas' beplating wordt vaker toegepast in plaats van bruto aluminium beplatingen die na de bewerkingen gecoat worden.

In verhouding wordt er steeds meer werk door projectontwikkelaars geïnitieerd; management, bouwkostenbureaus en grote bouwkundige aannemersbedrijven krijgen meer macht. De rol van de architect wordt meer en meer beperkt tot het maken en bewaken van het ontwerp: hij bepaalt de gebouwarchitectuur maar wordt niet of slechts zijdelings bij de directievoering van het werk betrokken.

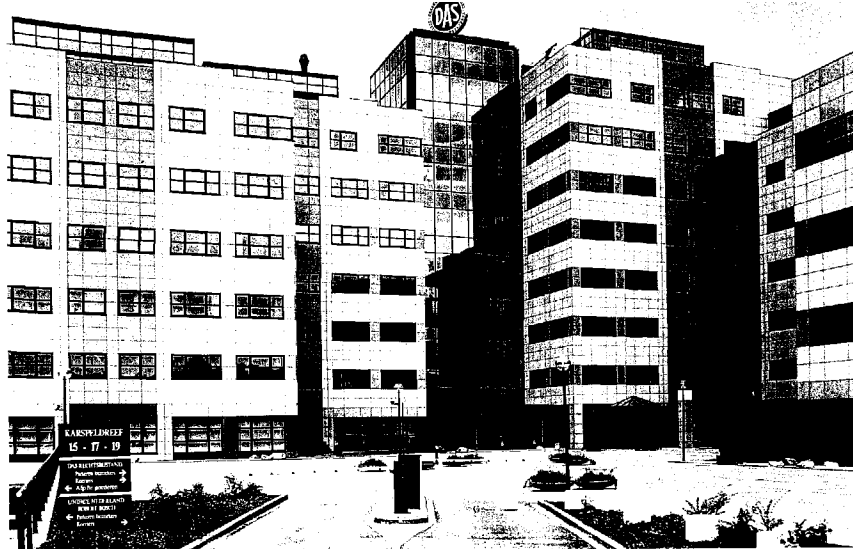
In de jaren tachtig is er meer aan de omzet van de gevelbouwbranche gewerkt en handhaving van de bereikte kwaliteit dan aan de verdere technologische ontwikkeling van de glasgevel. Wel wordt in het kader van de levertijdbeheersing een verdergaande industrialisatie nagestreefd. Stijl- en regelwerksystemen worden minder toegepast, componenten- en zelfs supercomponentengevelbouw wint terrein. Dit is ook noodzakelijk omdat er vaker vaste bouwtijden gesteld worden: aanpassing van de bouwtijd wegens verlet door onwerkbaar weer komt steeds minder voor. De tendens om sneller, hoger, lichter en goedkoper te bouwen wordt versterkt.

In de tweede helft van de jaren tachtig komt de vraag naar kwaliteitsborgingssystemen opzetten. Mede door de aangekondigde open Europese markt wordt er enerzijds gezocht naar eenheid in regelgeving en anderzijds naar uniforme kwaliteitsbeoordelingsmethoden. De kwaliteitscontrole oude stijl, produktcontro-

le door aparte kwaliteitbewakingsfunctionarissen, was al langer in onbruik. Vooral uit Japan afkomstige concepten voor integrale kwaliteitsbeheersing in het productieproces trokken de aandacht, zoals de 'quality circles', waarbij een gezamenlijke verantwoordelijkheid meetbaar gemaakt werd en getoond door middel van grafieken; een directe confrontatie met de prestatie. Dat heeft geleid tot de uitbouw van de Amerikaanse ISO-normen – een kwaliteitbewakingsstelsel uit de oorlogsindustrie – tot een serie normen, de ISO-9000-reeks, die in snel tempo door de bouwindustrie werd ingevoerd. De eerste bedrijven die een ISO-9001/9002 certificaat verkregen gebruikten dat in hun PR. Nu de meerderheid van de bedrijven een ISO 9001 of 9002 certificaat bezit vervlakt het onderscheidende vermogen hiervan.

Het kwaliteitbeheersingssysteem past in de toename van de wettelijke regeling van produktaansprakelijkheid en ook bij de toenemende automatisering van bepaalde handelingen. Het computergebruik wordt steeds belangrijker, aanvankelijk als snel rekentuig, vervolgens voor tekstverwerking en offertebehandeling, dan interactief met werkvoorbereidings- en voorraadregistratiemodules, en tenslotte interactief met teken-, optimalisatie- en werktuigbesturingsmodules en als proces/projectbeheersingsinstrument. Met behulp van de computerprogrammatuur werken de engineeringafdelingen van vliesgevelbouwers makkelijker de vraagstelling en de aanbodprestatie-opgave uit. Voor de systeemverwerkers ontstaat door het toenemende servicepakket een verdergaande binding met de systeemproducenten.

Door de recessie in de bouw verminderen aan het eind van de jaren tachtig de bouwactiviteiten. Alleen in



1.36 Aluminium-natuursteen glasfaçades, kantoor DAS, Amsterdam, architect: ZZ+P Architecten, Amstelveen



1.37 Aluminium raamstroken en borstweringafwerking met keramische tegels, DLZ Ostkreuz, Berlijn, 1995 architect: J.S.K. Perkins & Will

Duitsland valt het nieuwbouvvolume niet terug door de vereniging van Oost en West in 1990. In Nederland en elders wordt door de terugval van de nieuwbouwactiviteiten de renovatiemarkt belangrijker. (fig. 1.35) Dit wordt nog versterkt door de inmiddels verworven inzichten in energiebewuste en milieuvriendelijke bouwuitvoering. Gebruik- en hergebruikzorg komen in plaats van verbruik- en sloopmentaliteit.

Aan het eind van het decennium lijkt het wel of architecten de pure glasgevel moe zijn. In de gevelarchitectuur is er een omslag naar een meer steenachtige uitvoering van de gevel. In Rotterdam worden begin jaren negentig zelfs de vliesgevels met reflecterende beglazing afgewezen door de welstand.

De overheid wijzigt eind jaren tachtig de methode van financiering van overheidsgebouwen. De overheid gaat over tot het leasen van nieuwbouwwerken en treedt daardoor terug als directe opdrachtgever en beïnvloeder van de bouw. Dit heeft tot gevolg dat een deel van de innovatie-impuls in de bouw komt te vervallen. Nu heeft men ook voor overheidswerken te maken met de projectontwikkelaar, die meer geïnteresseerd is in de economische aspecten van de bouwprestatie dan in de ontwikkeling van het ontwerpconcept en vernieuwingen van de bouwactiviteiten.

De Rijksgebouwendienst (RGD) wil nog steeds een voorbeeldfunctie vervullen, maar verlegt haar voorbeeldtaak van bouwinspanning naar gebruikersaspecten. Zij verdiept zich in de totale levenscyclus. Hierbij komen vooral de energiegebruik- en milieulastfactoren aan bod, en ook de zorg voor de instandhouding van het bouwwerk met installaties. Voor de vliesgevel betekent dit een meer gebruikersbepaalde en hergebruikvriendelijke prestatie-opgave, hetgeen aansluit bij de

trend van de jaren negentig. De vliesgevel is overigens al vanuit het concept gebruiksvriendelijk en demontabel gebouwd.

## 1990-1995

In de eerste helft van de jaren negentig neemt de bouwproductie af. Er is een verzadigingspunt bereikt. Al snel is er zelfs sprake van afnemende nieuwbouw-activiteiten. De renovatie-initiatieven nemen wel toe, maar deze volumetoename weegt niet op tegen de terugval van het volume van de professionele nieuwbouw. De architectuur neemt steeds meer afstand van de glasgevelbouw, zoals die vooral in de periode 1985-1990 'uit de grond gestampt' werd. Men grijpt terug naar traditionele gevelmaterialen zoals natuursteen (fig. 1.36), baksteen, keramiek (fig. 1.37), beton. Verder kiest men voor technische materialen – voorgevormde metaalplaat, kunststof plaatmateriaal en weefsels – en voor de innovatieve bevestiging van materialen: constructieve beglazing, zichtbare 'design' achterconstructies en dergelijke. Voor de aluminium-gevelbouw is dat een ingrijpende trend: er is minder bouwvolume en per bouweenheid is er minder aluminium gevelproduct.

De vliesgevelbouw krijgt in het begin van de jaren negentig te maken met de inzet om het milieu te sparen en daarvoor het gebruik van fossiele brandstoffen terug te dringen. De druk ontstaat om energievriendelijk en milieubewust te ontwerpen, te fabriceren, te bouwen en te gebruiken, met een maximale herbenutting van bouwmaterialen aan het eind van elke levenscyclus. Een andere ontwikkeling is de toenemende aanpassing van het bouwinitiatief, de uitwerking en de



- \* De natuursteengevel komt in een aantal uitvoeringen voor:
  - Traditionele bevestiging van de elementen op de bouwplaats door verankering aan het bouwlichaam, meestal van beton, en plaatsing van raamcomponenten voor de doorzichtigingen.
  - Opbouw van de gevel uit prefab betonnen binnenspouwbladen die reeds in de fabriek voorzien zijn van de buitenafwerking, bijvoorbeeld granietplaten die met een isolatiemateriaal ertussen aan de binnenspouwcomponenten zijn bevestigd. Hierbij kunnen in de fabriek de raamcomponenten geplaatst worden, ook is het mogelijk dat dit achteraf op de bouwplaats geschiedt.
  - Opname en bevestiging van de natuursteenelementen in de prefab gevelcomponenten of supercomponenten. Deze methode komt veel voor als een stalen skeletvormige hoofdconstructie toegepast wordt.
  - Bevestigen van graniet, keramiek of andere steenachtige elementen op de bouwplaats aan de achterconstructie van een koud-warme vliesgevel. De elementen kunnen met open voeg gemonteerd worden: het 'regenjas' principe.

bouwwitvoering aan de wensen van de (potentiële) gebruikers. De bouwmarkt is definitief omgeslagen van een vraagmarkt naar een aanbodmarkt.

Een derde ontwikkeling is de eerder genoemde verandering van gevelarchitectuur: er wordt vaker gekozen voor een meer steenachtige uitvoering van de gevel. Natuursteen en keramische tegels worden veel gebruikt. Voor de vliesgevelbouw met behulp van componenten en supercomponenten is dit geen probleem, maar de stijl- en regelvliesgevel is vanwege de lichte opbouw minder geschikt voor deze relatief zware materialen. Er komen wel enkele alternatieve lichte steenachtige materialen op de markt, zoals dunne granietplaat met aan de achterzijde verlijmd honingraatversterking, keramische platen en composietmateriaal bestaande uit gemalen graniet gebonden met kunsthars.\*

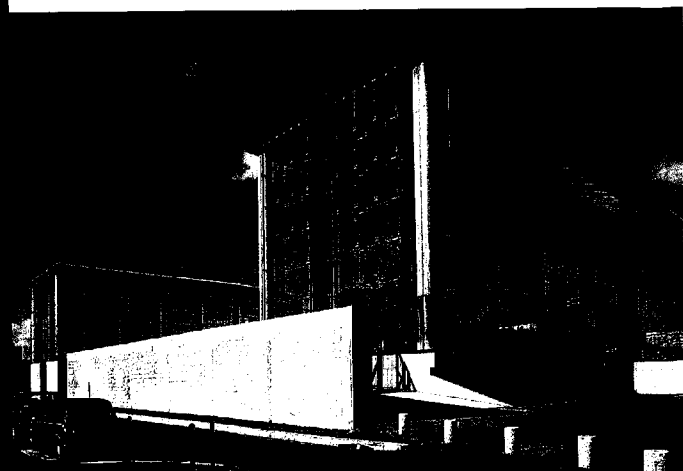
Bij de steenachtige gevelarchitectuur komen weer vaak relatief kleine raamopeningen voor en wel uit architectonische en/of bouwfysische overwegingen. Dit is nog een gevolg van de trend om het binnenklimaat hoofdzakelijk door middel van de klimaatinstallatie te regelen. Daarbij komt, dat door het toenemende computergebruik veelal minder licht in de werkruimten nodig is respectievelijk wenselijk is (verblindings).

Er is ook een tegengestelde stroom gesignaleerd op deze zware en relatief dichte gevelbouw: de transparante gevel. De innovatieve toepassing van technische materialen zoals glas, metaal en kunststof, met meer openheid naar binnen en naar buiten, laat zowel de passanten als de gebouwgebruikers zien wat er aan de andere kant van de gevel gebeurt. De gevel is weer een communicatiemedium geworden. (fig. 1.39)

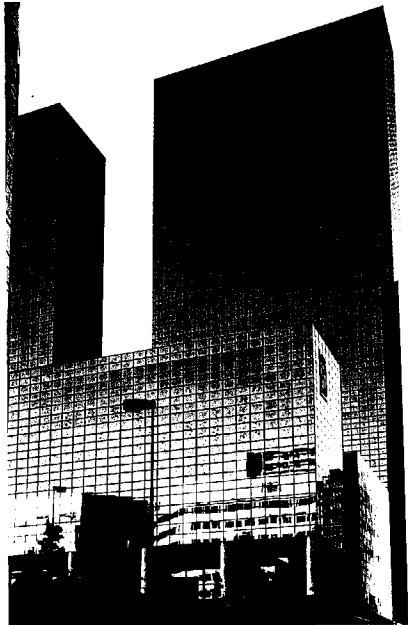
De Duitse overheid heeft inmiddels de herziene

energie-prestatiewetgeving, de Wärmeschutz-Verordnung 1995, van kracht verklaard. Deze wet is gebaseerd op het energiegebruik in de winter. Dit geeft een vertekend beeld: de externe warmtelast in de zomer is bij de tegenwoordig goed geïsoleerde gebouwen met veel inwendige warmtebronnen (personen, computers, verlichting) groter dan de benodigde verwarmingsenergie in de winter. Dus koelen (en daarbij energie besparen) is een groter probleem geworden dan verwarmen. Een positief element in deze wetgeving is dat voor het eerst het winnen van energie uit zoninstraling meegeteld mag worden bij de verantwoording van de energiebehoefte van het bouwwerk. Hierdoor ontstaat een bouwwijze waarbij al in de ontwerpfasen rekening wordt gehouden met de gebouworientatie en de geveluitvoering per oriëntatie. De gevel wordt weer doorzichtiger, waarbij in hoofdzaak gebruik gemaakt wordt van blanke beglazing met separate voorzieningen voor zonregulering. Bij deze voorzieningen wordt actief het zonlichtaanbod geregeld en benut, in plaats van de tot dan toe gebruikelijke zonwerende maatregelen. (fig. 1.40) Gebouwen krijgen ook weer een noordzijde! Het is zinvol om de vliesgevels na de Wärmeschutzverordnung onder te brengen als de derde generatie glasgevels met een toegenomen technische prestatie, maar gebaseerd op de bestaande concepten.

De blanke beglazing wordt meestal voorzien van een nieuw ontwikkelde coating, de Low-E-coating, die op de spouwzijde van de binnenruit van de isolerende beglazing wordt aangebracht om zoveel mogelijk warmte in de binnenruimte te houden. Deze coating is neutraal van kleur. Binnen deze trend – een meer transparante glasopbouw – wordt tevens de kozijnloze glasgevelbouw verder ontwikkeld, waarbij de versterkingen



1.41 Kozijnloze glasfaçade, Parc André Citroën, Parijs.  
architecten: P. Berger en G. Clement



1.42 Delftse Poort, Rotterdam.  
architect: Ir. A. Bonnema b.i. Bureau voor  
Architectuur en RO b.v.



1.43 Rembrandt Tower, Amsterdam.  
architecten: ZZ+P Architecten, Amstelveen

en verankeringen in vorm en raffinement op een hoog niveau gebracht zijn: glasarchitectuur, die een high-tech karakter heeft. (fig. 1.41)

In de periode 1990–1995 begint men het vliesgevelconcept dus geheel te herzien. De recessie in de bouw heeft een herbezinning teweeggebracht. Men is gedwongen naast economisch te overleven zich op korte termijn technisch en organisatorisch te vernieuwen zodat men op langere termijn adequaat naar buiten kan treden zodra de vraag weer aantrekt. Zoals zo vaak zien we dat een verstoring van een patroon – oorlog, natuurramp, recessie, concurrentie – een voedingsbodemp is voor innovatie. Het lage niveau van de bouwactiviteiten, versterkt door het opengaan van de grenzen van de landen van de EG waardoor de concurrentiedreiging en de marktmogelijkheden veranderen, blijken verfrissend te werken op het gevelontwerp.

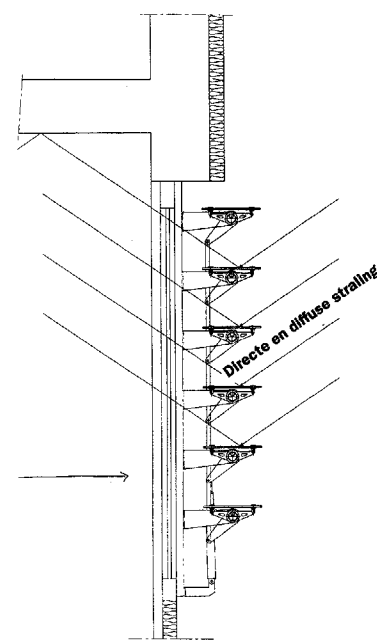
In de eerste helft van de jaren negentig worden de eerste bouwwerken met een hoogte van 125 meter of meer opgeleverd: Delftse Poort te Rotterdam (fig. 1.42) en Rembrandt Tower te Amsterdam. (fig. 1.43) Ook wordt de eerste grootschalige keramiektoepassing, de 'regenjas'gevel van het project Haagse Poort te Den Haag, gerealiseerd.

Inmiddels zijn er in Nederland steeds meer buitenlandse architecten actief. Dit heeft tot gevolg dat er nieuwe gevelconcepten, nieuwe materiaaltoepassingen en geveluitvoeringen op Nederlandse schaal gebracht en naar de hier gebruikelijke bouwwijze vertaald moeten worden. Hierdoor ontstaat een toenemende internationalisering van de geveltechnologie. Deze wordt versterkt doordat Nederlandse gevelbouwbedrijven vaker naar het buitenland gaan, en doordat buitenlandse bedrijven actiever worden in Nederland. De sys-

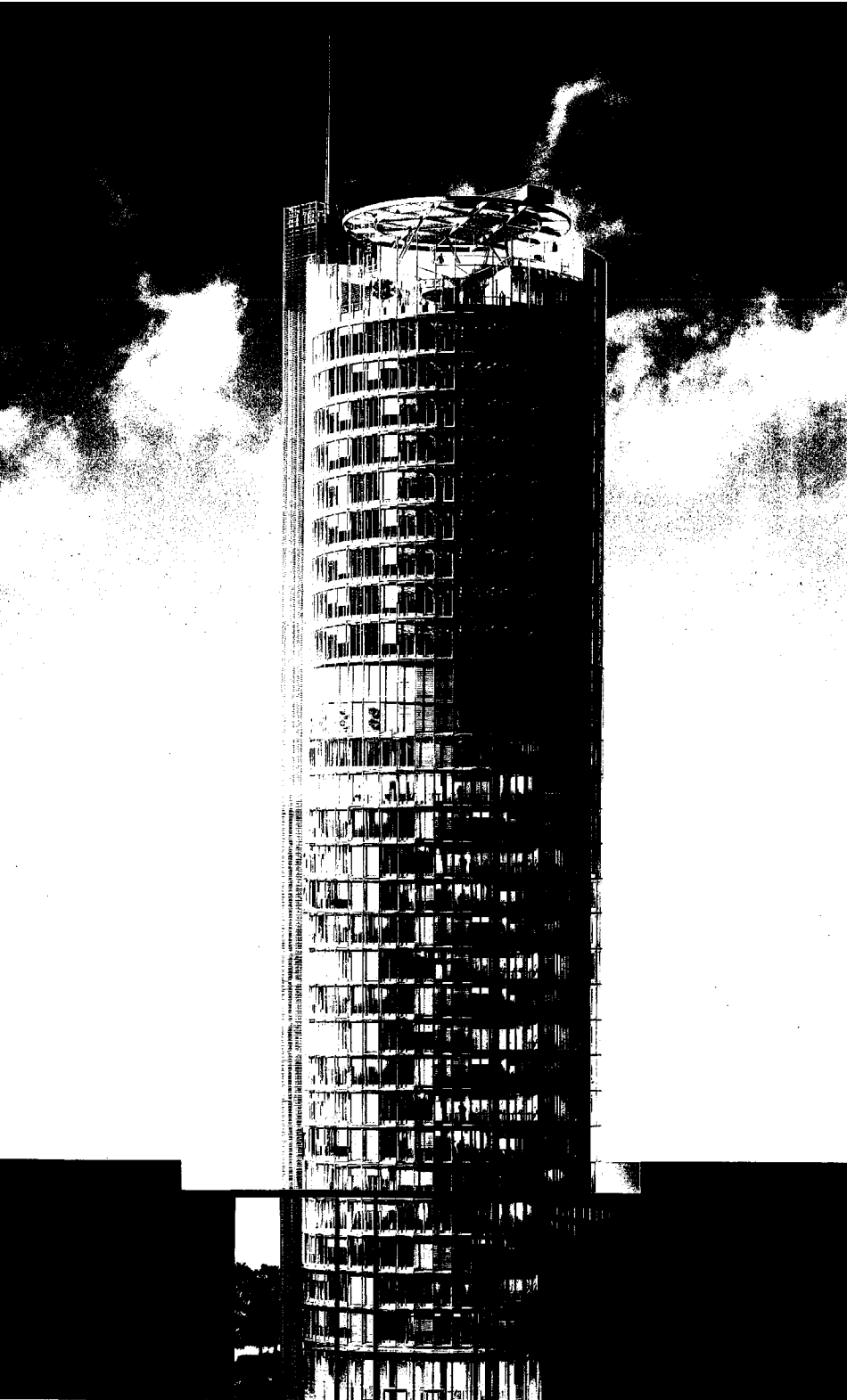
teemproducenten gaan zich meer openstellen voor hun systeemverwerkers om op projectniveau de systeemprofielen binnen het systeemprincipe aan te passen of om het systeem op projectbasis uit te breiden. Hierdoor komen in de concurrentiestrijd de grote conceptuele gevelbouwers meer tegenover de inventieve systeemverwerkers te staan. De logistieke kracht van de gevelbouwbedrijven wordt nu ook een belangrijk middel in de strijd voor de verwerving van de grote gevelbouwwerken.

Aan het eind van de periode 1990–1995 nemen de bouwactiviteiten weer toe. Er wordt ook meer geëxporteerd, vooral Duitsland is door een aantal grotere gevelbouwbedrijven als marktgebied ontdekt. Na de vereniging van Oost- en West-Duitsland hebben voornamelijk in Berlijn, maar ook in Dresden en Leipzig, de bouwactiviteiten een enorme omvang aangenomen. Behalve de Duitse bedrijven zijn bedrijven uit bijna alle omliggende landen daar actief, óók de vroegere Oostbloklanden.

In Polen, Tsjechië en Hongarije zijn – zeker in de hoofdsteden – ook de nodige bouwactiviteiten ontpleoid. Dit betekent een kans voor de Westeuropese gevelbouwbedrijven en ook voor de systeemproducenten. De van huis uit in metaalbewerking gespecialiseerde bedrijven in deze lage-lonenlanden zijn met behulp van de goed gedocumenteerde gevelsystemen snel op de hoogte van de techniek van het werken met aluminiumprofielen. De systeemproducenten verdringen zich op deze markten en bieden support, opleiding en zelfs financiële steun aan. Maar ook de ondernemende Westeuropese gevelbouwbedrijven, vooral Duitse raam- en gevelbouwers, hebben al satellietbedrijven in deze gebieden overgenomen of opgericht. Of



1.40 Lichtregulering.



1.44 Dubbele alu-glasfaçade, DLZ Stern, Essen, 1996.  
architect: Büro Ingenhoven, Overdiek & Partners

dit uit zal groeien tot een capaciteit met Westerse kwaliteit (technologie en logistiek) die, zoals eerder in de textielindustrie, de fabricagetaak van de hoge-lonenlanden grotendeels overneemt, is niet met zekerheid te voorspellen, maar ligt wel voor de hand, als ook de handels-, taal- en cultuurbarrières worden overwonnen. Nu al importeert Duitsland loonintensieve gevelcomponenten uit deze lagere-lonenlanden. Er zal de komende tijd rekening gehouden moeten worden met de capaciteit die in deze Oosteuropese landen ontstaat, eerst in de ramenbouw, maar vervolgens ook in de vliesgevelbouw. Zij kan aanzwellen tot importconcurrentie in het volgende decennium.

## INTRODUCTIE VAN HET BEGRIIP GLASFAÇADE

Tegen de eeuwwisseling is het duidelijk dat veel technieken zullen veranderen. De glasgevel verandert in uitvoering.

Tot nu toe werd de in Nederland meest gebruikelijke term 'vliesgevel' aangehouden. Het woord 'vlies' roept een beeld op van 'scheiding' (buiten - binnen), van 'dun', 'licht' en van 'niet-dragend', een membraan, en geeft daarmee een aantal wezenlijke kenmerken aan van de metaalglasgevel. Naar analogie met buitenlandse benamingen bestaan er voor dit type gevelconstructie ook andere naamgevingen: gordijngewel, lichte gevel, voorgehangen gevel en continue gevel. Met de ontwikkeling van de techniek en de toenemende functionaliteit van de vliesgevel verschuiven de betekenissen van deze begrippen. Zo ontstonden naast de zuivere of echte vliesgevel ook onzuivere of onechte vliesgeveluitvoeringen. En de klimaatgevel alsmede, van recentere datum, de dubbele glasgevel. Daarom zien we de term 'huid' in de terminologie opduiken. In het buitenland worden voor de moderne dubbele gevels de benamingen 'second skin' of 'twin skin' en 'zweite Haut Fassade' gebruikt. De huid van het gebouw, naar analogie met de menselijke huid, heeft in twee richtingen actief anticiperende en regelende eigenschappen die goed overeenkomen met de huidige functionaliteit van de metaalglasgevel. Maar een huid is niet doorzichtig en mist daardoor een belangrijk element van de vliesgevel. 'Huidgevel' is daardoor geen geschikte naam voor de moderne metaalglasgevel. (fig. 1.44) Zie ook hoofdstuk 3: Façadesystemen.

Door de toenemende ruimtelijke multifunctionaliteit van de glasgevel – de gevel verdicht zich – is de naam vliesgevel niet meer toereikend. Bovendien verdient de huidige kozijnloze glasgevel de term vliesgevel meer. Daarom wordt in dit boek de verzamelnaam **façade** geïntroduceerd voor lichte zelf- en winddragende gevelconstructies, die hun stabiliteit ontleen aan de bevestiging aan de hoofddragconstructie. Als het belangrijkste bouw materiaal in de naamgeving opgenomen wordt, worden we specifiek over de uitvoering. De naam **alu-glasfaçade** is een betere naam voor de moderne versie van de aluminium vliesgevel. De moderne **glasfaçade** wordt nu als volgt gedefinieerd:

De glasfaçade is een continue, niet-dragende, binnenklimaat-regulerende en buitenklimaat-anticiperende energetische scheidingsconstructie met dichte en doorzichtige componenten, industrieel vervaardigd en licht in gewicht. De glasfaçade draagt de interne belasting van het eigen gewicht en de externe windbelasting en draagt de inwendige krachten via verankering over aan de achterliggende hoofddragconstructie. Zij vervult primair een bouwfysische functie en is daartoe constructief-technisch opgebouwd. Zij heeft een esthetische en communicatieve waarde voor het gebouw.

Aluminium





# DIE ZEIT

## Aluminium

2.1 Eerste aluminium voorpui, telegraafkantoor 'Die Zeit', Wenen, 1902  
architect: Otto Wagner

### GESCHIEDENIS

**H**et metaal aluminium is waarschijnlijk voor het eerst zo'n 300 jaar v.C. in China geproduceerd. Er is een gordel uit die periode gevonden met op de gesp aluminium versierselen. Over de produktiemethode van destijds is niets bekend. Pas in de negentiende eeuw werd het materiaal herontdekt.

Dat aluminium zo laat ontdekt is komt door de grote affiniteit van het metaal met zuurstof. Aluminium komt in de aardbodem niet vrij voor, maar is wel het meest voorkomende metaal op aarde; ca. 8% van de massa van het aardoppervlak bestaat uit aluminium in gebonden vorm. Aluminium is nu na ijzer het meest toegepaste metaal met een prijsniveau dat per volume-eenheid ongeveer gelijk is aan dat van staal, in gewicht gemeten ca. drie maal duurder.

De geschiedenis van het aluminium begint voor de westerse wereld in de negentiende eeuw. Toonaarde,  $Al_2O_3$ , was al in de achttiende eeuw bekend. In 1807 vermoedde Sir Humphrey Davy de aanwezigheid van aluminium in klei. Hij probeerde het metaal te isoleren maar het lukte hem niet zuiver aluminium te verkrijgen. Hij verkreeg wel een ijzer-aluminiumlegering. Men wist toen dat het mogelijk moest zijn aluminium te produceren. Davy gaf het nieuwe metaal de naam waaronder wij het kennen.

In 1825 produceerde de Deen Hans Christian Oersted voor het eerst aluminiumpoeder door reductie van watervrije aluminiumchloride met behulp van kalium-amalgaam. De Duitser Friedrich Wöhler wijzigde het proces, hij gebruikte kalium in plaats van kalium-amalgaam en produceerde flinters aluminium. Door

verdere verbetering van het proces was hij in 1836 in staat grotere hoeveelheden aluminium te produceren. Wöhler onderzocht het metaal en beschreef er vele eigenschappen van. In 1850 verving de Fransman Henry Sainte-Claire Deville kalium door het goedkopere natrium. Hij gebruikte de dubbelchloride van natrium en aluminium als basis voor de winning van het metaal. Daardoor werd een verbetering bereikt en kwam er meer aluminium ter beschikking. Het prijsniveau zakte van 2400 Rijksmark naar 25 Rijksmark per kilogram. In 1854 vond de Duitser Von Bunsen uit dat aluminium op een elektrolytische wijze geproduceerd kon worden. Kort daarna doet Deville dezelfde ontdekking. Er kon aluminium geproduceerd worden met een zuiverheid van 96%.

Deville lukte het om Napoleon III voor zijn onderzoek te interesseren. Deze zag mogelijkheden voor de vervaardiging van lichte helmen en harnassen. Het eerste aluminiumprodukt was een rammelaar voor de kleinzoon van de koning. Keizerin Eugenie kreeg een aluminium bestek voor het staatsbanket.

In 1855 begon de eerste fabrieksproductie van aluminium in Javeel bij Parijs. In dat jaar werd het 'zilver uit leem' getoond op de wereldtentoonstelling in Parijs. Daardoor kwam het nieuwe metaal in de belangstelling te staan. Deville bouwde snel na elkaar nog drie fabrieken. Hij kon daardoor lange tijd voorzien in de wereldbehoefte aan aluminium; hij produceerde zo'n 2000-3000 kilogram per jaar. In 1860 werd in Rouen nog een fabriek gebouwd. Daar werd als grondstof voor de aluminiumproductie bauxiet verwerkt. Bauxiet is een delfstof bestaande uit waterhoudende aluminiumhydroxide, verontreinigd met o.a. ijzerverbindingen. Bauxiet dankt zijn naam aan de plaats waar hij

Enige elementen in de aardkorst	Hoeveelheid in massa %
Zuurstof (O)	48
Silicium (Si)	26
Aluminium (Al)	8
IJzer (Fe)	4
Calcium (Ca)	3
Natrium (Na)	2
Kalium (K)	2
Magnesium (Mg)	2
Titanium (Ti)	1
Overige metalen	1

2.2

werd gewonnen, Les Baux in de Provence.

In 1886 wordt het moderne elektrolyseproces voor de productie van grote hoeveelheden aluminium uitgevonden, en wel bijna gelijktijdig in Frankrijk door Paul T. Héroult en in de USA door Charles M. Hall. Alumina ( $Al_2O_3$ ) werd in gesmolten kryoliet opgelost. Door een elektrische stroom door dit mengsel te leiden werd het opgeloste alumina gereduceerd; het resultaat was een hoge opbrengst technisch zuiver aluminium (ca. 99,5%). 1886 is een belangrijk jaar voor de aluminiumindustrie: vanaf die tijd is er een sterke groei van het aluminiumgebruik.

In de periode 1887-1892 verbeterde K.J. Bayer het proces voor de productie van aluminiumoxide uit bauxiet. Het Bayerproces wordt nog steeds toegepast. In Neuhausen, Zwitserland, werd omstreeks 1890 een grote fabriek voor de aluminiumproductie gebouwd. In diezelfde tijd werd ook in de USA in Pittsburgh een fabriek gebouwd voor de productie van aluminium.

Tegenwoordig gebruikt men uitsluitend de delfstof bauxiet (meestal dagbouw) met een aluminiumgehalte van 25-30% voor de productie van aluminium. Het proces is nagenoeg ongewijzigd, wel heeft men in de loop van de tijd het rendement van het proces kunnen verbeteren: een lager energiegebruik per ton aluminiumproductie. In 1852 kostte een kg primair aluminium in de USA ca. 1200 dollar, in 1886 ca. 24 dollar, in 1892 toen het elektrolyseproces goed draaide ca. 1,25 dollar.

In 1884 vond de eerste toepassing van aluminium in de architectuur plaats: een aluminium punt, gewicht ca. 3 kg, werd geplaatst als afwerking van het Washington monument. In 1892 werd in Zwitserland het eerste scheepscasco van aluminium vervaardigd; in 1902 werd de eerste aluminium voorpui in Wenen

geplaatst; (fig. 2.1) in 1933 werd de eerste aluminium brug in gebruik genomen.

In 1906 ontdekte de Duitser Alfred Wilm dat door aluminium te legeren met koper en magnesium, de mechanische eigenschappen verbeterden. De legering kon voor constructiedoeleinden ingezet worden.

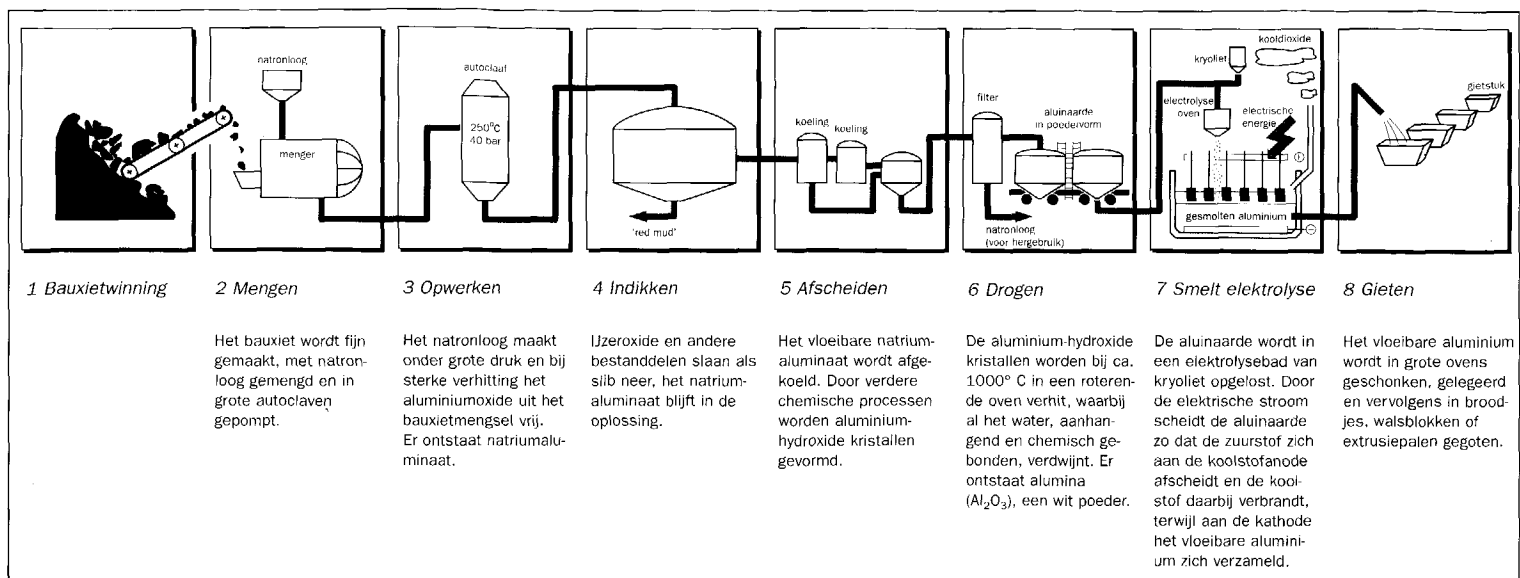
In 1966 werd ook Nederland aluminiumproducent. Door de ontdekking van de gasbel in Slochteren waren grote hoeveelheden goedkope energie ter beschikking gekomen. In Delfzijl werd een fabriek gebouwd voor de productie van primair aluminium door elektrolyse van aluminiumoxide. Het is tevens een verwerkingsplaats voor het hergebruik van aluminium. Ook in Vlissingen werd een primaire smelter gebouwd. De energie wordt geleverd door de kerncentrale in Borsele. Thans zijn de energieprijzen niet meer zo gunstig en bij verdere stijging wordt de productie van primair aluminium in Europa steeds moeilijker.

#### VAN GRONDSTOF TOT MATERIAAL

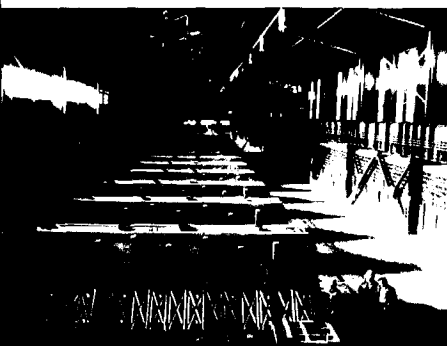
**A**luminium wordt door de grote affiniteit met zuurstof en halogenen (jodium, chloor, broom) altijd in gebonden vorm aangetroffen; als oxide of als zout. Zuurstof en silicium zijn de meest voorkomende elementen in de aardkorst: respectievelijk 48% en 26%, daarna komt aluminium (8%). (fig. 2.2)

Alhoewel gebonden aluminium volop voorhanden is, zijn de plaatsen waar winbare hoeveelheden aanwezig zijn, minder talrijk. Voor een economische winning van aluminium dient de delfstof tenminste 25% aluminium te bevatten. Erts wordt gedefinieerd als een delfstof die een economisch winbare hoeveelheid metaal bevat.

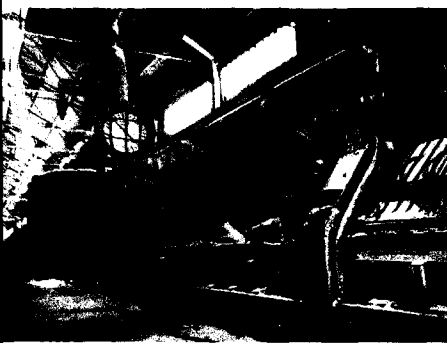
Aluminium



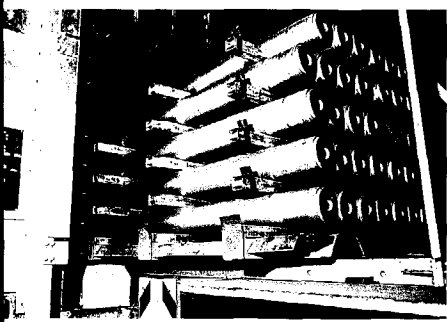
2.4



2.5 Elektrolytische productie van zuiver aluminium.



2.7 Transportcontainer voor vloeibaar aluminium.



2.8 Homogeniseren van extrusiebillets.

Bauxiet wordt gevormd door chemische verwerking van oppervlaktegesteente; daardoor zijn aluminiumverbindingen neergeslagen en zijn andere elementen opgelost en door het oppervlaktewater afgevoerd. Dit proces vindt plaats in warme en vochtige gebieden aan de oppervlakte van de aardkorst. Bauxiet wordt onder andere gewonnen in de Balkan, Jamaica, Suriname, Zuid-Afrika en Australië. De winning van bauxiet vindt voornamelijk in dagbouw plaats, waarvoor de topgrondlaag wordt verwijderd. Na winning wordt tegenwoordig bijna altijd een revitaliseringsprogramma uitgevoerd, teneinde ter plaatse weer bruikbaar land, zo mogelijk cultuurland, te verkrijgen.

De gemiddelde samenstelling van bauxiet ziet er als volgt uit:

Bauxiet bevat ongeveer	Hoeveelheid in massa %
Aluminiumoxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	55 - 60
IJzeroxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	tot 28
Siliciumoxide (SiO <sub>2</sub> )	tot 6
Titaanoxide (TiO <sub>2</sub> )	tot 3
Chemisch gebonden water	12 - 30

2.3

Aluminium kan niet zoals ijzer door reductie met koolstof 'vrijgemaakt' worden. De affiniteit van aluminium met zuurstof is daarvoor te groot. Voor de economische productie van aluminium wordt het elektrolyseproces toegepast. Hiervoor is elektriciteit nodig en daarom zijn de aluminiumproductiebedrijven van oudsher dicht bij een grote stroombron gebouwd. Het meest economisch en het minst milieubelastend is

het stroom te betrekken van een waterkrachtcentrale. De bereiding van aluminium uit bauxiet geschiedt in twee stappen: (fig. 2.4)

**Stap 1** Uit bauxiet wordt volgens het Bayerproces technisch zuiver aluminiumoxide (aluinaarde of alumina) geproduceerd. Deze processtap wordt meestal in de buurt van het winningsgebied uitgevoerd. De hoeveelheid aluinaarde is ongeveer de helft van de gebruikte hoeveelheid bauxiet. Het restmateriaal, 'red mud', 'Rotschlamm' of dodekop genaamd, wordt in bekkens met CO<sub>2</sub> uit de lucht geneutraliseerd en vervolgens ter plaatse gestort. De aluinaarde wordt voor de verdere bewerking meestal naar het land van afname getransporteerd.

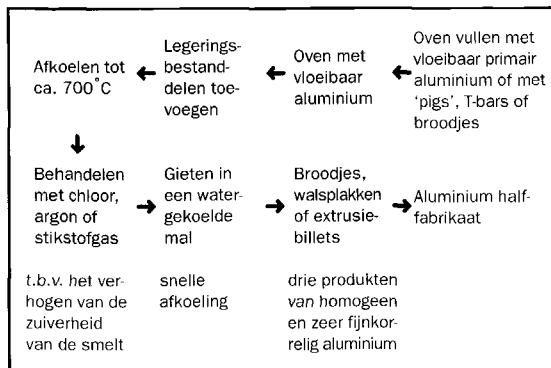
**Stap 2** Door elektrolytische reductie wordt aluinaarde volgens het Hall-Héroultproces gesplitst in technisch zuiver aluminium (>99%) en restproducten, voornamelijk koolmonoxide (CO) en kooldioxide (CO<sub>2</sub>). De productie van aluminium geschiedt in een continu elektrolyseproces. Door het oplossen van aluminiumoxide in vloeibaar kryoliet wordt het smeltpunt van aluminiumoxide van ca. 2100 °C verlaagd naar ca. 950 °C, het smeltpunt van het mengsel. (fig. 2.5)

De gecombineerde formule van de stappen 1 en 2 luidt:  $2Al_2O_3 + 3C \rightarrow 4Al + 3CO_2$ .

Uit vier ton bauxiet wordt ongeveer één ton primair aluminium gewonnen. (fig. 2.6)

**Billets** Het vloeibare aluminium wordt in grote transportcontainers (fig. 2.7) naar de gieterij vervoerd en daar in ovens geschonken, of eerst in grote blokken, T-staven of broodjes gegoten en vervolgens in een oven gesmolten (remelt). In de oven worden legeringsbestanddelen toegevoegd en daarna worden er





2.9 Productie van aluminium halffabrikaat

Produktiefase	Energieverbruik in MJ
Bauxietwinning en hulpstoffen	3
Aluinaardeproductie	40
Aluminiumproductie (elektrolyse)	105
<b>Totaal</b>	<b>148</b>

2.10 Gemiddeld energiegebruik per produktiefase in Megajoules (MJ) per kilogram nieuw aluminium.

Metaal	MJ per kg produkt
Titanium	475
Magnesium	416
Aluminium	285
Koper	130
Zink	75
Staal	28

2.12 Energieverbruik

halfabrikaten gegoten: broodjes, walsplakken of extrusiebillets. (fig. 2.8 en 2.9)

In vergelijking met andere veelgebruikte metalen is voor de produktie van één kilogram primair aluminium veel energie nodig. Voor de produktie van één kilogram secundair aluminium is echter relatief weinig energie nodig. (fig. 2.10)

Het energiegebruik van het totale proces (bauxietwinning tot en met elektrolyse) is door technische verbeteringen gedaald:

1975	235 MJ
1987	200 MJ
1990	148 MJ
1995	133 MJ (verwachting)

Als we aluminium vergelijken met andere materialen, dienen we rekening te houden met het gewicht dat voor bepaalde toepassingen nodig is. Het gewicht van aluminium bedraagt eenderde van dat van staal, maar om een vergelijkbare sterkte en stijfheid te bereiken, bedraagt het gewicht van de aluminium uitvoering ongeveer de helft van het gewicht van de stalen uitvoering. Een ander aspect is de herbruikbaarheid van het gekozen metaal na elke levenscyclus. Aluminium wordt door de relatieve hoge schrootwaarde veel ingezameld voor hergebruik. De energiebalans op langere termijn is daardoor positief.\* (fig. 2.12)

**Eigenschappen** De geringe soortelijk dichtheid en het zilverachtige uiterlijk zijn opvallende eigenschappen van aluminium, evenals de grote corrosiebestendigheid. Door legeren, vervormen en warmtebehandeling kan de mechanische sterkte van het metaal verhoogd worden, waardoor relatief lichte en sterke constructies gerealiseerd kunnen worden. Aluminium

heeft een hoog thermisch en elektrisch geleidingsvermogen, het is magnetisch neutraal, het reflectievermogen is groot. De bewerkbaarheid van aluminium is goed. Voor het bewerken van aluminium kunnen dezelfde technieken gebruikt worden als voor staal. Daarnaast is er nog het extrusieproces voor het vervaardigen van aluminium profielen.

Een kenmerk van aluminium dat in de gevelbouw minder spreekt is het behoud van de mechanische eigenschappen onder zeer lage temperaturen. Deze waarden gaan nauwelijks achteruit.

Zuiver aluminium heeft door de onmiddellijke vorming van een dunne gesloten oxidelaag, 0,01 groeiend tot 0,2 micron, een hoge corrosieweerstand. Noch het materiaal noch de corrosielaag is giftig, waardoor aluminium ook gebruikt kan worden in de voedingsmiddelenindustrie. Aluminium is een amfoteer: van het element bestaan zowel verbindingen met zure als met basische eigenschappen, zowel oxiden als hydroxiden, die zowel als zuur en als base kunnen optreden. Praktisch betekent dit, dat aluminium aangetast kan worden door een zure belasting én door een basische belasting. Schoonmaakmiddelen dienen dan ook zo neutraal mogelijk te zijn, pH-waarde 6-8 (zie hoofdstuk 4 reinigingsonderhoud).

fig. 2.10 bron

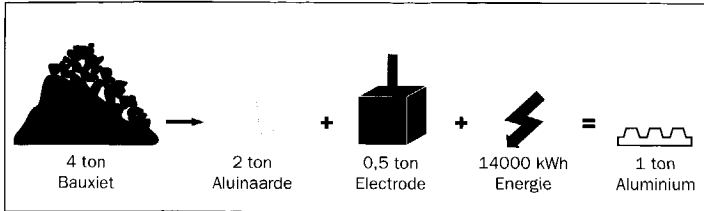
Hoogovens/EMPA

Westerse wereld 1990: elektrolyse op basis van 61% waterkracht en 39% fossiele brandstoffen en andere energiebronnen.

fig. 2.12: bron [2.8]

Bij deze opgave is tevens het energieverlies van de opwekking van de benodigde hoeveelheid elektriciteit betrokken.

\* De vergelijking van de ecologische, milieu- en energieaspecten in samenhang met de levenscyclus- en instandhoudingsaspecten van de verschillende gevelmaterialen zijn onderwerp van diverse lopende studies (staal, aluminium, hardhout, zacht hout, kunststof e.d.).



2.6

Legering	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Cr %	Zn %	Ti %	Andere elementen		Al %
									elk	totaal	
1050A min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,50
1050A max.	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05	-	0,07	0,05	0,03	-	-
5005A min.	-	-	-	-	0,70	-	-	-	-	-	rest
5005A max.	0,30	0,45	0,05	0,15	1,10	0,10	0,20	-	0,05	0,15	rest
6060 min.	0,30	0,10	-	-	0,35	-	-	-	-	-	rest
6060 max.	0,60	0,30	0,10	0,10	0,60	0,05	0,15	0,10	0,05	0,15	rest
6063 min.	0,20	-	-	-	0,45	-	-	-	-	-	rest
6063 max.	0,60	0,35	0,10	0,10	0,90	0,10	0,10	0,10	0,05	0,15	rest

2.14 Chemische samenstelling van plaat- en profiellegeringen.

## ALUMINIUM EN GEZONDHEID

**A**luminium en aluminiumoxide zijn niet toxisch. Er zijn geen aanwijzingen dat aluminium een risico voor de gebruikers en verwerkers inhoudt. Zeker in de gevelbouw is het bewerken en verwerken van plaat- en profielmateriaal een schone activiteit. Te hoge gehalten aan aluminium in het drinkwater komen niet voor, mede door de waterzuivering en de strenge bewaking van de drinkwaterkwaliteit. Een aandachtspunt dat buiten het bereik van dit boek valt, is de toenemende concentratie van aluminium in de bodem als gevolg van zure regen (neerslag).

## EIGENSCHAPPEN VAN ALUMINIUMLEGERINGEN

**T**echnisch zuiver aluminium (99,0 – 99,7%) is in het algemeen te zacht voor constructieve toepassingen. Door het aluminium te legeren en eventueel te harden kunnen de eigenschappen, waaronder de mechanische, verbeterd worden.

De primaire smelt wordt soms in grote blokken (sows of pigs), T-vormige staven of in broodjes (coquilles) gegoten, die dan later voor verdere verwerking gesmolten worden, en in vloeibare toestand gelegeerd. Daarna wordt de legeringssmelt in plakken (walsen), palen (extrusiebillets) of broodjes gegoten.

Er zijn twee groepen legeringen: gietlegeringen en kneedlegeringen. Bij de eerste soort legering wordt het vloeibare aluminium in gietvormen van zand of in matrijzen gegoten. Er kan ook onder druk gegoten worden. Kneedlegeringen worden in staven of plakken gegoten voor vervolgbewerkingen zoals extruderen

(profielen), warm- en koudwalsen (plaat) of trekken (draad).

Sommige legeringen kunnen naderhand door een thermische behandeling veredeld (uitgehard) worden. We onderscheiden thermische veredeldbare en niet-thermisch veredeldbare legeringen.

Thermisch veredeldbare legeringen zijn: Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si, Al-Zn-Mg, Al-Si-Cu. Niet-thermisch veredeldbare legeringen zijn: Al-Mg, Al-Mg-Mn, Al-Mn, Al-Si.

De thermisch veredeldbare legeringen bevatten bestanddelen die bij een hogere temperatuur beter oplossen. Voor het thermisch veredelen zijn twee nabehandelingmethoden mogelijk: het na het extruderen versneld afkoelen en kunstmatig verouderen; het na het extruderen weer verhitten tot 520 °C (oplossing), afschrikken in water en vervolgens kunstmatig verouderen. Deze laatste methode wordt onder andere gebruikt voor profielen met grote wanddikte. Een kunstmatige veroudering wordt in gang gezet door het materiaal gedurende een bepaalde tijd te verhitten en daarna buiten de oven rustig te laten afkoelen. Voor profielmateriaal is de temperatuur in de verouderingsoven ca. 185 °C en duurt het proces 6 uur. Door kunstmatig verouderen wordt een grote hardheid en sterkte van de aluminiumlegering verkregen.

De mechanische eigenschappen (hardheid en trekvastheid) van niet-thermisch veredeldbare legeringen kunnen door koude vervorming verbeterd worden. Deze methode wordt toegepast bij gewalst plaatmateriaal. Om na de mechanische harding de vervormbaarheid (rek) van de plaat weer te herstellen, wordt het materiaal vervolgens gegloeid (ca. 350 °C).

De meest gebruikte aanduidingen van in de gevelbouw toegepaste aluminiumsoorten zijn: (fig. 2.13)

\* De legeringen 6060 en 6063 hebben nagenoeg dezelfde samenstelling en eigenschappen.



2.15 Plaatwerk door omvormen in vorm gebracht, Sport und Freizeit Immobilien AG, Walterswil (CH), 1988  
 architect: Ch. Derungs

Aanduiding type van de legering	Internationale aanduiding	Duitsland DIN	Toepassing
onlegeerd	1050A	Al 99,5	plaat
AlMg	5005A	AlMg 1	plaat
AlMgSi	6060	AlMgSi 0,5	profiel
AlMgSi	6063	- *	profiel

Eigenschap	Symbool	Uitgedrukt in	Aluminium Legering en legeringstoestand					
			Al 99,5		AlMg 1		AlMgSi 0,5	
			0	H18	0	H14	0	T5
Rekgrens	$\sigma_{0,2}$	N/mm <sup>2</sup>	-	140	-	140	-	160
Trekvastheid	$\sigma_B$	N/mm <sup>2</sup>	80	165	120	160	-	215
Rek	-	%	45	7	30	7	-	12
Brinellhardheid (ca.)	HB	10/1000 kg	20	40	26	40	-	65
Elasticiteitsmodulus	E	KN/mm <sup>2</sup>	69	69	70	70	-	69
Lin. uitzettingscoëfficiënt	$\alpha$	10 <sup>-6</sup> /K	25,4	25,4	25,5	25,5	25,3	25,3
Smelttemperatuur	T <sub>sm</sub>	° C	646-657	646-657	630-650	630-650	585-650	585-650
Warmtegeleidingscoëfficiënt	$\lambda$	W/m.K	220	220	200	200	220	200
Dichtheid	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	2700	2700	2690	2690	2700	2700

2.16: Eigenschappen van aluminium

Eigenschap	Symbool	Uitgedrukt in	Staallegering				
			S 235	S 275	S 355	roestvaststaal	
						304	316
Min. 0,2 % rekgrens	$\sigma_{0,2}$	N/mm <sup>2</sup>	-	-	-	185	205
Treksterkte	$\sigma_B$	N/mm <sup>2</sup>	360-470	430-540	510-610	500-700	500-700
Brinellhardheid	HB	-	105-125	125-160	150-180	130-180	130-180
Elasticiteitsmodulus	E	KN/mm <sup>2</sup>	210	210	210	200	200
Lin. uitzettingscoëfficiënt (20-100° C)	$\alpha$	10 <sup>-6</sup> /K	12,0	12,0	12,0	16,0	16,5
Smelttemperatuur (c.q. smelttraject)	T <sub>sm</sub>	° C	1495-1530	1495-1530	1495-1530	1400-1450	1375-1450
Warmtegeleidingscoëfficiënt (bij 20° C)	$\lambda$	W/m.K	52	52	52	15	15
Dichtheid	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	7800	7800	7800	7900	7950

2.17: Eigenschappen van staal



2.18 Aluminium gietwerk van kleine onderdelen

De chemische samenstelling van plaat- en profiellegeringen is vastgelegd in ANSI-H 35.1 (1982) volgens het Registration Record of International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminium Alloys en ook volgens het Wrought Aluminium Alloy Designation System. [2.3]

De chemische samenstelling van het aluminium bepaalt niet alleen de mechanische eigenschappen van het materiaal, maar is tevens van belang voor de corrosieweerstand en de bewerkbaarheid van de grondstof.

De notatie van aluminium materiaal is afgeleid van het belangrijkste legeringsbestanddeel en bestaat uit een getal met vier posities:

- De eerste positie geeft het belangrijkste legerings-element aan. Voor niet-gelegeerd aluminium is dit het getal 1, de 1000-serie.

Per hoofdlegeringsbestanddeel:

koper	2xxx
mangaan	3xxx
silicium	4xxx
magnesium	5xxx
magnesium + silicium	6xxx
zink	7xxx
andere elementen	8xxx
ongebruikt	9xxx

- Tweede positie:

originele legering	x0xx
modificaties	x1t/m9xx

- De derde en vierde positie zijn arbitrair, om de legeringssamenstelling binnen de serie aan te geven.

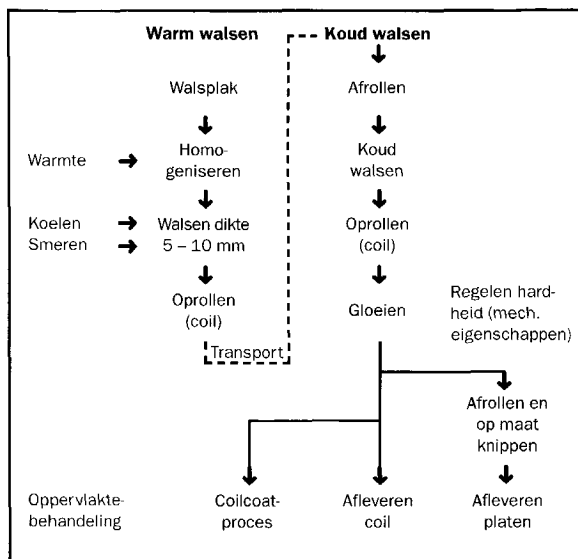
Verder is er een notatie die de hardheid van de legering aangeeft. Voor de gevelbouw is vooral van belang de serie-5000 plaatmateriaal, waarvoor de let-

ter H gebruikt wordt. Deze letter geeft aan dat het om legeringen gaat die niet door een warmtebehandeling uithardbaar zijn. H1 betekent dat het harden uitsluitend door vervormen (walsen) geschiedt, H2 staat voor vervormen en ontladen, en H3 voor vervormen en stabiliseren. Een volgnummer geeft de uiteindelijke hardingstoestand aan: een 8 staat voor volledig gehard, een 6 voor driekwart gehard, een 4 voor half gehard, een 2 voor kwart gehard. De hardheid is een belangrijk gegeven. Bij een lagere hardheid is het metaal makkelijker bewerkbaar, bij een hogere hardheid is het sterker. Door het harden neemt de sterkte toe en de rek af.

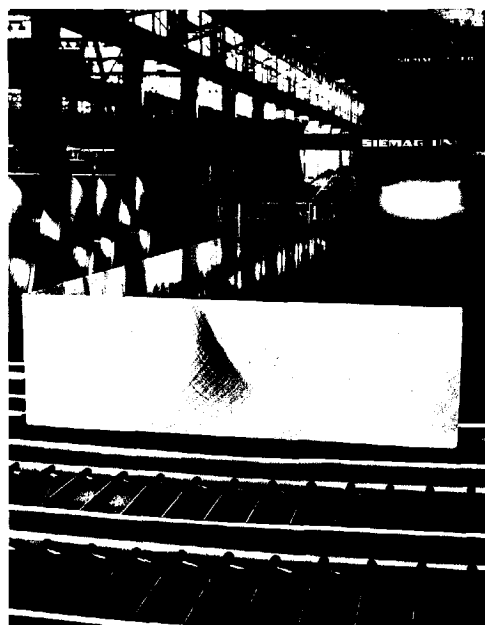
Na het harden kan het plaatmateriaal spanningsvrij gegloeid worden. Hiertoe dient speciaal opdracht gegeven te worden. Spanningsvrij gegloeid aluminium plaatmateriaal van 2-3 mm dikte wordt vaak gebruikt voor enkele gevelbeplating. Het materiaal is na bewerkingen vlakker dan onbehandeld plaatwerk.

Bij een plaatbestelling dient men dus een aantal zaken te vermelden: eerst het legeringsnummer, bijvoorbeeld 5005 voor een AlMg1-legering en vervolgens de notatie voor de gewenste hardingsmethode en hardingsgraad, bijvoorbeeld H14 (de 4 betekent 4/8, dus halfhard). Eventueel kan men nog de opdracht geven de plaat spanningsvrij te gloeien. (fig. 2.15)

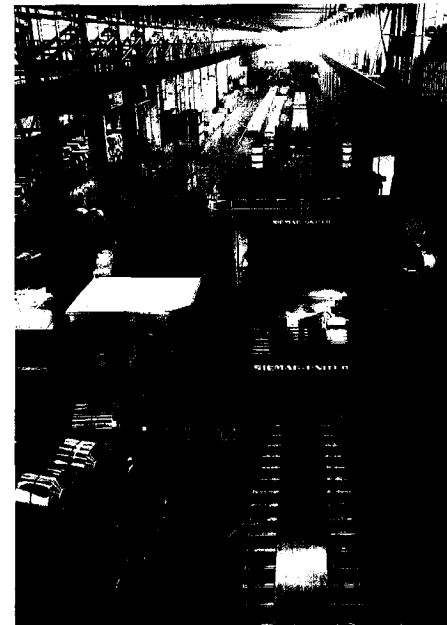
**Legeringsbestanddelen** De belangrijkste legeringsbestanddelen zijn magnesium, silicium en mangaan. Deze toevoegingen dienen voor een hogere sterkte of voor het verbeteren van andere eigenschappen. Een speciale legeringsgroep bevat koper om extra hoge sterkte-eigenschappen te verkrijgen. Zuiver aluminium heeft de beste corrosieweerstand.



2.20 Walsproces.



2.19 Bewerkte walsplak.



2.21 Walsstraat.

Voorafgaande aan het walsen worden de walsplakken aan de onder- en bovenzijde afgefreed. (fig. 2.19) Voor de decoratieve anodiseerbaarheid wordt het blok rondom gefreesd, en worden de koppen afgezaagd of gefreesd; dit om verontreinigingen en afzettingen aan het oppervlak weg te nemen en om de ruwheid van het walsblok te verminderen. De walsplakken worden t.b.v. het uitwalsen verwarmd tot ca. 500 °C. In het algemeen worden in de gevelbouw plaatdikten van 1 tot 3 mm toegepast met uitschieters naar beneden (sandwichplaattoepassingen) en naar boven.

**Mechanische en fysische eigenschappen van aluminium legeringen** Figuur 2.16 vermeldt de mechanische en fysische eigenschappen van legeringen die in de gevelbouw gebruikt worden. De genoemde eigenschappen zijn ontleend aan DIN 1748 voor profielen en aan DIN 1745 voor platen. Van elke soort is de meest gebruikelijke hardheidstoestand vermeld. Andere hardheidstoestanden zijn mogelijk.

Ter vergelijking staan in figuur 2.17 enige gegevens van staalplaat, staalprofiel en roestvast staal. De meeste **stalen** profielen zijn vervaardigd van de legeringen die in de tabel zijn aangegeven; zie o.a. ook NEN-EN 10025.

**Materiaalbewerkingen** Aluminium gietstukken (fig. 2.18) en plaat- en profielmaterialen zijn zeer goed te bewerken. De bewerkingstechnieken voor staal kunnen ook op aluminium toegepast worden; de uitvoering vergt meestal minder energie. Voor het lassen van aluminium zijn specifieke technieken vereist.

**Omvormen** Onder omvormen verstaat men het proces, waarbij de vorm van het uitgangsmateriaal doelmatig wordt gewijzigd door middel van niet-verspanende bewerkingen. Omvormingstechnieken zijn onder andere: walsen (plaatmateriaal); extruderen (profiel-materiaal); dieptrekken (plaatmateriaal); kanten, zetten (plaatmateriaal); buigen (plaat- en profielmateriaal); smeden. In dit hoofdstuk worden de omvormingstechnieken walsen en extruderen behandeld.

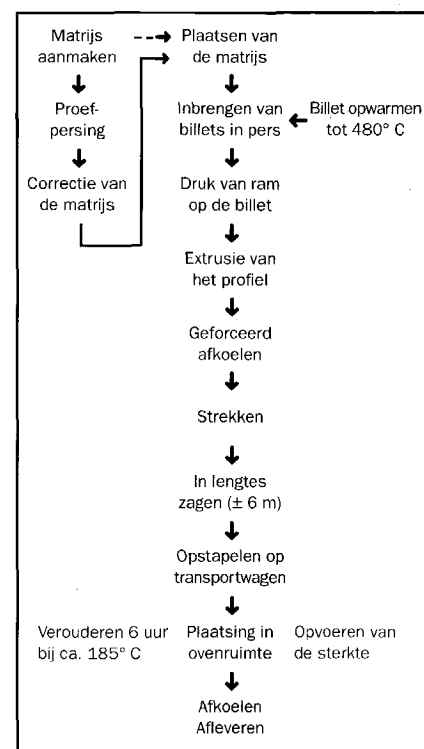
**Walsen** Dit proces kan zowel warm als koud uitgevoerd worden. Voorafgaande aan het walsen worden de walsplakken aan de onder- en bovenzijde afgefreed. (fig. 2.19) Voor de decoratieve anodiseerbaarheid wordt het blok rondom gefreesd, en worden de koppen afgezaagd of gefreesd; dit om verontreinigingen en afzettingen aan het oppervlak weg te nemen en om de ruwheid van het walsblok te verminderen. De walsplakken worden t.b.v. het uitwalsen verwarmd tot ca. 500 °C. In het algemeen worden in de gevelbouw plaatdikten van 1 tot 3 mm toegepast met uitschieters naar beneden (sandwichplaattoepassingen) en naar boven.

Het homogeniseren van de walsplak dient onder andere om een gewenste verdeling van de legeringselementen te verkrijgen, en om zodoende de vervormbaarheid tijdens het walsen te verbeteren.

Door het walsen ontstaat door wrijving warmte. Daarom wordt tijdens het warmwalsen de band gekoeld met een water/olie-emulsie (tevens voor smering van de wals). Hierdoor verbetert ook de vlakheid van de aluminiumband. Na het warmwalsen wordt de band opgerold en naar de koudwalsstraat vervoerd. In het koudwalsproces worden de uiteindelijke dikte, hardheid en oppervlaktekwaliteit van de plaat verkregen. (fig. 2.20 en 2.21)

**Extruderen** Extruderen is het warm omvormen van materiaal (extrusiebillets) tot profiel door het verwarmde materiaal onder druk door een vormopening in een matrijs te persen. Voor de gevelbouw is het extrusieprofiel de meest voorkomende materiaalvorm. (fig. 2.22)

De billets dienen met de juiste chemische samen-



2.22 Extrusieproces.



2.23 Matrijsopslag



2.24 Extrusie van profielen

stelling en goed gehomogeniseerd aangeleverd te worden. Onvolkomenheden in de billet mogen niet voorkomen, want dit uit zich direct in het geëxtrudeerde profiel. Van de extrusiebillet dient een persrest van ca. 50 mm afgevoerd te worden. Daarin zijn de oxidehuid van de billet en vervuilingen verzameld.

De matrijzen hebben een bepaalde levensduur, de standtijd, waarna ze gerepareerd of vervangen dienen te worden. Door slijtage van de matrijs nemen de wanddiktes en de oppervlakteruwheid van de geëxtrudeerde profielen langzaam toe. Matrijzen blijven eigendom van de afnemer en worden tot circa twee jaar na het laatste gebruik gratis opgeslagen bij het extrusiebedrijf. (fig. 2.23) Daarna wordt gewoonlijk een jaarlijkse opslagvergoeding betaald of wordt de matrijs vernietigd. Op verzoek kan de matrijs ook bij de afnemer worden afgeleverd.

De profielen dienen strak, recht, vormjuist, zonder veel extrusiestrepen en grafietstrepen afgeleverd te worden (grafietstrepen worden veroorzaakt door de grafietblokken aan het begin van de uitlooptafel van de pers). (fig. 2.24) De toegelaten afwijkingen zijn in tal van normen geregeld (zie de vigerende VMRG-kwaliteitseisen).[2.3] Nadat de geëxtrudeerde profielen kunstmatig verouderd zijn, kunnen er eventueel samengestelde profielen worden gemaakt. Dit gebeurt door middel van het inrollen, inlijmen, ingieten of inschuimen van de kunststof isolatoren. Desgewenst kan het profiel (of het samengestelde thermisch-geïsoleerde profiel) van een oppervlaktebehandeling worden voorzien (zie hoofdstuk 4).

De kwaliteit van het geëxtrudeerde profiel is afhankelijk van procescondities (procesbeheersing); kwaliteit van de extrusiebillet (de samenstelling, zuiverheid en homogeniteit van de billet); kwaliteit van de matrijs; kwaliteit van de behandelingen na het extruderen: koelen, strekken en verouderen.

verheid en homogeniteit van de billet); kwaliteit van de matrijs; kwaliteit van de behandelingen na het extruderen: koelen, strekken en verouderen.

## ALUMINIUM EN CORROSIE

**C**orrosie van aluminium ontstaat door een voortgaande verbinding van het metaal met zuurstof. Dit kan veroorzaakt worden door een chemische of elektrochemische reactie, door mechanische belasting van het metaal of door vocht.

De volgende corrosievormen komen voor: interkristallijne corrosie, spanningscorrosie, vermoeingscorrosie, spleetcorrosie en elektrolytische corrosie. Deze corrosievormen kunnen leiden tot erosie van laklagen, oppervlakteverruwing (snellere vervuiling) en tot putvormige aantasting van het aluminium substraat. (fig. 2.25) Bij gelakt aluminium kan lakondercorrosie ontstaan: blaasvormig of draadvormig.

Corrosie kan de mechanische eigenschappen en de decoratieve waarde van aluminium verminderen. Bij gelijkmatige corrosie van onbehandeld (bruit) aluminium is een gewichtsafname tot 1 gram/m<sup>2</sup> per dag toegestaan. In de praktijk bedraagt de gewichtsafname bij bruit aluminium 0,1 tot 1,0 gram/m<sup>2</sup> per dag. Dit komt neer op een laagdikteafname van ca. 0,05 mm per jaar. Dit proces wordt vertraagd door passivering van het aluminium.

**Corrosie onder invloed van het milieu** De belangrijkste milieufactoren die corrosie veroorzaken zijn lucht, vocht (in het bijzonder zeewaternevel) en stoffen als chloriden, roet en ijzer- en koperstof van rails en bovenleiding. De milieuomstandigheden en de tempe-



2.25 Putcorrosie

ratuur bepalen tezamen de corrosiebelasting. Bij een temperatuurverhoging van 10 °C kan de corrosiesnelheid verdubbelen. Door het amphotere karakter van aluminium tasten zowel oplossingen met een hoge als met een lage Ph-waarde het metaal aan.

**Spleetcorrosie** Deze vorm van corrosie kan ontstaan als er in een spleet vocht binnendringt, dat zich capillair verspreidt. Door een verschil in beluchting van de spleet ontstaat aan de buitenzijde een zuurstofrijk milieu, in de spleet is zuurstof verbruikt door beginnende corrosie en verminderde beluchting, een zuurstofarm gebied. Hierdoor ontstaat een elektrolytisch verloop en in het dieper gelegen gebied ontstaat corrosie. Doordat de randen geen aantasting vertonen blijft spleetcorrosie vaak onopgemerkt. Deze vorm van elektrolytische corrosie kan ook tussen elementen van eenzelfde materiaal (aluminium) ontstaan.

**Elektrolytische of galvanische corrosie** Als aluminium met een edeler metaal in aanraking komt, ontstaat er aantasting van het aluminium. De snelheid van aantasting hangt af van het tweede metaal, de mate van vochtigheid, het type aluminiumlegering en de structuur van het oppervlak.

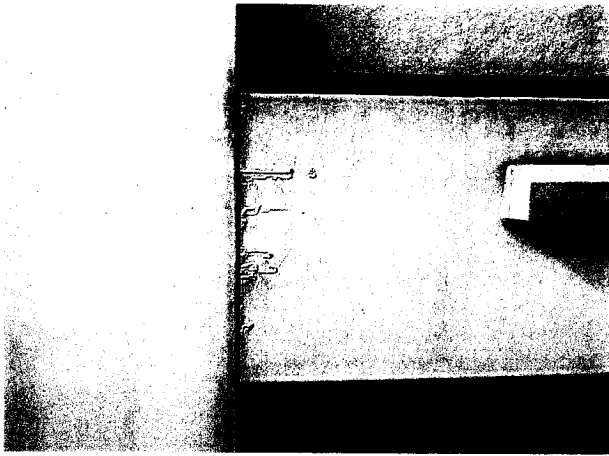
Door het potentiaalverschil wordt het minst edele element 'opgelost'. Dit is belangrijk met het oog op beschermende maatregelen. Bij contact met koper, ijzer en nikkel kunnen lokaal corrosie-aantastingen van het aluminium ontstaan. Bij het bepalen van het potentiaalverschil tussen de metalen dient men rekening te houden met de aanwezige oxidelaag. Zo lijkt het bijvoorbeeld niet juist om roestvaststalen bevestigingsmiddelen te gebruiken bij het assembleren van alumi-

nium delen. Maar in de praktijk blijkt dat contact met roestvaststaal geen probleem oplevert. Dat komt doordat beide metalen voorzien zijn van een oxidehuid. Aluminiumoxide en roestvaststaaloxide liggen in de spanningsreeks vrij dicht bij elkaar.

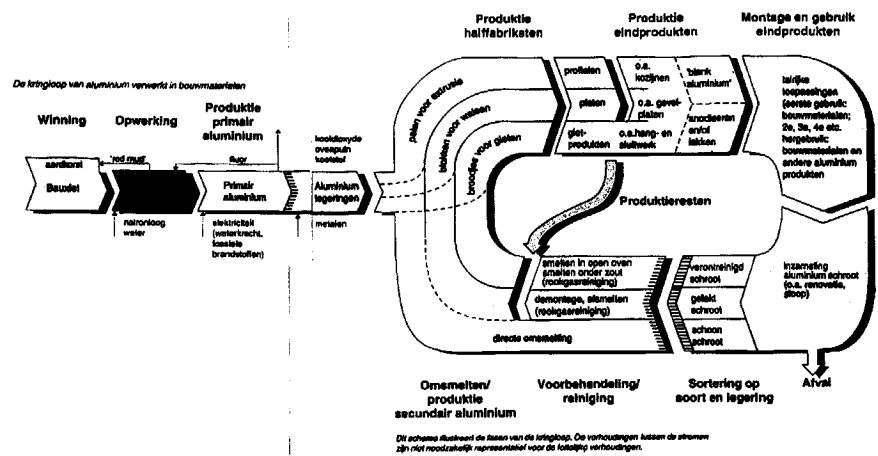
**Interkristallijne corrosie** Deze corrosievorm kan ontstaan door fouten tijdens het fabricage- en veredelingsproces van de aluminium halffabrikaten. Door het uitscheiden van legeringselementen aan de kristalgrenzen kan daar aantasting ontstaan. Dit komt door een potentiaalverschil tussen de mengkristalafdeling en de aluminiumkristallen. Bij AlMg-legeringen met weinig magnesium, bijvoorbeeld AlMg1, komt deze vorm van corrosie bijna niet voor.

**Spanningscorrosie** Dit is een bijzondere vorm van interkristallijne corrosie. Spanningscorrosie kan optreden indien er door de materiaalproductie, vervolgbewerkingen of externe belastingen statische spanningen in het materiaal zijn opgewekt en een corrosiemiddel actief is.

**Mechanische invloeden en erosie** Door mechanische belasting kan vermoeingscorrosie ontstaan. Dit veroorzaakt wijziging van de structuur van de legering. Bij erosie van het aluminium, door externe invloeden of door mechanische belastingen, wordt het oppervlak ruwer. Hierdoor ontstaat een snellere vervuiling en een grotere belasting van het substraat. Hoe gladder het oppervlak, des te hoger de corrosieweerstand. Het polijsten van aluminium dient dus niet alleen een visueel doel.



2.26 Filiforme corrosie (draadvormige lakondercorrosie)



2.27 Kringloopproces van aluminium

**Corrosie van gelakt aluminium** Corrosie kan bij gelakt aluminium leiden tot onthechting of opwelling van de lak. Omdat de corrosieproducten van aluminium een groter volume hebben dan niet-gecorrodeerd aluminium en de tegenwoordige laksystemen flexibel en weinig poreus zijn, kunnen zichtbare lakblaren en lakdraden ontstaan. Hoofdoorzaken zijn een mindere kwaliteit aluminium en een verkeerd uitgevoerd lakproces. Een zware buitenmilieubelasting en een hoge vochtigheid kunnen de kans op corrosie verhogen. Bij lakonthechting en delaminatie van de lak kan aluminiumcorrosie plaatselijk putjes vormen (pitting). Indien de lak in opgebolde (uitgerekte) toestand aanwezig is (lakondercorrosie), dan is de corrosiediepte meestal zeer gering.

**Filiforme corrosie** Een bijzondere vorm van lakondercorrosie is filiforme corrosie of draadvormige lakondercorrosie. (fig. 2.26) Deze vorm van corrosie begint bij een zwak punt in het lakwerk of een onbehandelde plaats (bijvoorbeeld een bewerkingskant), en ontstaat door contact met een zout. Dit is in kustgebieden vaak het zout in zeewaternevel. Maar ook in industriegebieden en agrarische gebieden kan zoutbelasting van de gevel voorkomen. Zoutbelasting kan ook ontstaan door het onjuist uitvoeren van spoelingen tijdens de voorbehandelingsfase van het lakproces. Proceszouten kunnen onder de lak worden ingesloten en potentiële corrosieplaatsen vormen. Bij een hoge luchtvochtigheid of door extra vochtbelasting door de detaillering van de gevel, vormen zich geen draden maar lakblaren. Hoewel niet alle combinaties van factoren geheel bekend zijn, zijn er inmiddels voldoende maatregelen getroffen om het ontstaan van filiforme corrosie te beperken. In kustgebieden met een indus-

triële atmosfeer, zoals de omgeving van Den Haag, dienen extra maatregelen getroffen te worden om filiforme corrosie te voorkomen.

Bij geanodiseerd aluminium kan filiforme corrosie alleen voorkomen als er duidelijk aantoonbare fouten bij de uitvoering van het productieproces zijn gemaakt. Bij anodiseren als voorbehandeling voor een lakafwerking, in plaats van het gebruikelijke chromateren, kan deze corrosievorm wel optreden. Maar het risico is gering en verwacht mag worden, dat voor gebieden met een agressief omgevingsklimaat deze voorbehandelingsmethode steeds meer toegepast zal worden.

**Gevolgen van corrosie** Door corrosie kunnen de mechanische en constructieve eigenschappen van het aluminium veranderen. Meestal veroorzaakt aluminiumcorrosie echter alleen een esthetische aantasting van het uiterlijk.

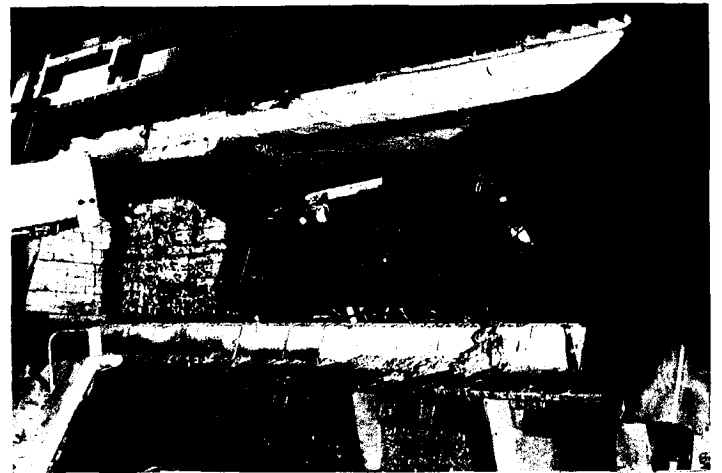
## HERGEBRUIK VAN ALUMINIUM

De productie van primair aluminium (uit bauxiet- aluinaarde) vraagt relatief veel energie (zie figuur 2.10: 148 MJ per kg). Dat is een nadeel ten opzichte van andere constructiemetalen. Daarentegen is de recyclingwaarde van aluminium schroot gunstig. De prijs is interessant genoeg om productie- en sloopschroot te verzamelen en terug te brengen in de kringloop. (fig. 2.27) Verder is er een relatief geringe hoeveelheid energie nodig om aluminium ingots voor hergebruik te produceren, ca. 5% van de energie die nodig is voor de productie van ingots uit bauxiet. De productie van remelt- en recycle-ingots is daardoor lucratief. Voor remelt-aluminium wordt dezelf-





2.28 Gesorteerd schroot voor remelt/ recycling



2.29 Remelt van schroot met toevoeging van primair aluminium

de prijs aangehouden als voor primair aluminium, hierdoor is de marge gunstiger.

Er zijn drie schrootstromen:

- produktieschroot in de omvormfase van ingots tot profiel- en plaatmateriaal;
- bewerkingsschroot in de fase van materiaalbewerking tot en met gemonteerd produkt;
- demontage- en sloopschroot in en aan het eind van de gebruiksfase.

Productie- en bewerkingsschroot wordt ook wel procesafval genoemd; demontage- en sloopschroot heet recyclingschroot.

Het productieschroot is gelegerd bruut aluminium zonder verontreinigingen. Het schroot kan een oppervlakteafwerking hebben en profielen kunnen tevens van een thermische isolator zijn voorzien. In geringe mate kunnen kitten, ingetrokken rubbers en bevestigde niet-aluminium materialen aanwezig zijn. Demontage- en sloopschroot is bijna altijd voorzien van een oppervlakteafwerking, veelal een moffellak. Verder zijn kitten, rubbers, verankeringen e.d. aan- en ingebracht.

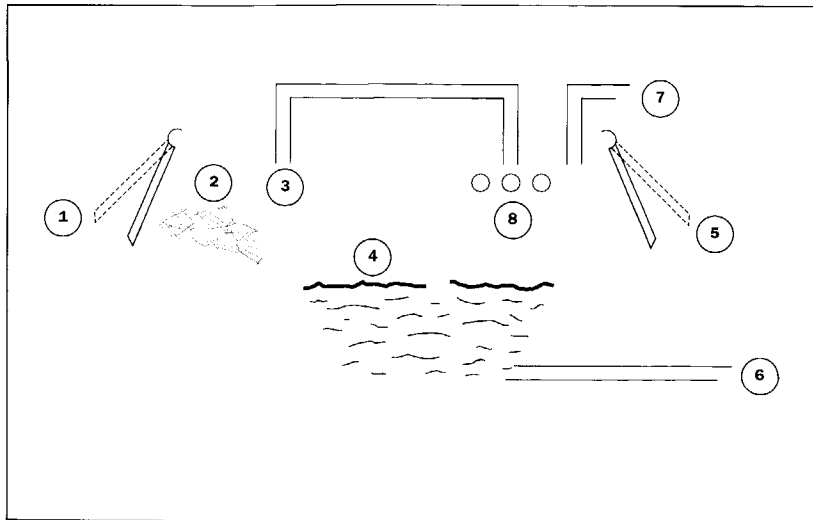
Het schroot wordt gesorteerd aangeboden aan remelt- en recyclingbedrijven, of door deze bedrijven gesorteerd. Isolatoren en coatings worden vaak al bij de toeleveranciers verwijderd. Dit werkt puur volgens het marktmechanisme: voor 'schoon' aluminium kan een hogere prijs bedongen worden. (fig. 2.28)

Recyclingprodukten hebben in het algemeen minder toepassingsmogelijkheden dan primaire produkten. Dit komt door de toename van legeringsbestanddelen in de smelt. Bij remeltbedrijven wordt schroot verwerkt tot een legeringsmateriaal waarmee het oorspronkelijke type produkt vervaardigd kan worden. Van

gesorteerd aluminium profielschroot kunnen namelijk extrusie-ingots (billets) gegoten worden die dezelfde kwaliteit hebben als primair aluminium. Bij dit type schrootverwerking gaat de toepasbaarheid van het materiaal er dus niet op achteruit. De regel geldt, dat van een smeltmengsel de legeringsbestanddelen niet te verwijderen zijn, wel kan door toevoeging van legeringsbestanddelen en/of nieuw aluminium de legering aangepast worden. Bij het remeltbedrijf wordt ca. 75% schroot gemengd met 25% nieuw aluminium; eventueel worden nog legeringsbestanddelen bijgevoegd om de gewenste legering te verkrijgen. (fig. 2.29)

**Alu-eco** Voor aluminium gevelprofielen is door de brancheverenigingen VMRG en VAS geregeld dat het schroot teruggebracht wordt in de keten door er nieuwe billets van te vervaardigen voor profielextrusie (legering 6060/6063). In Duitsland en Zwitserland is ook een kringloopsysteem geïntroduceerd, onder de naam A/U/F.

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen remelt-aluminium en recycling-aluminium. Het eerste type is een smelt uit een combinatie van gesorteerd aluminium schroot en primair aluminium. Afhankelijk van de zuiverheid van het schroot kan binnen het type legering (kneed- of gietlegering) dezelfde kwaliteit geleverd worden als van primair aluminium. Voor remelt-aluminium moet hoogwaardig schroot gebruikt worden: aluminium met een geringe hoeveelheid legeringsbestanddelen, zoals bijvoorbeeld type 6060/6063 voor kneedlegeringen. Remelt-aluminium kan dus niet in alle legeringen worden geleverd (fig. 2.30). Recycling-aluminium is een smelt uit aluminium schroot met relatief veel legeringsbestanddelen, eventueel aangevuld met



2.30 Recycling/ remeltoven

- 1 invoer van schroot, primair aluminium en toevoegingen
- 2 verbranden van vreemde elementen (720°C) en het smelten van het aluminium met de toevoegingen
- 3 afvoer en filteren van de gassen, benutten van de calorische waarde
- 4 aluminiumsmelt met de 'dross' (metaalschuim)
- 5 deur voor het uitschrapen van de 'dross' en voor het nemen van monsters voor controle van de legering
- 6 uitloop remelt-aluminium naar ingot gietmallen
- 7 afvoerkanaal rookgassen
- 8 branders

primair aluminium. Deze kwaliteit aluminium ingots is geschikt voor gietwerk en voor de extrusie van profielen voor binnengebruik. Recycling-aluminium wordt voor minder hoogwaardige toepassingen benut.

Om het gemiddelde energiegebruik te bepalen voor de productie van aluminium profielmateriaal kan de volgende berekening dienen. We gaan uit van primair aluminium dat vijf keer een remelt-hergebruikscyclus doorloopt. Andere uitgangspunten zijn:

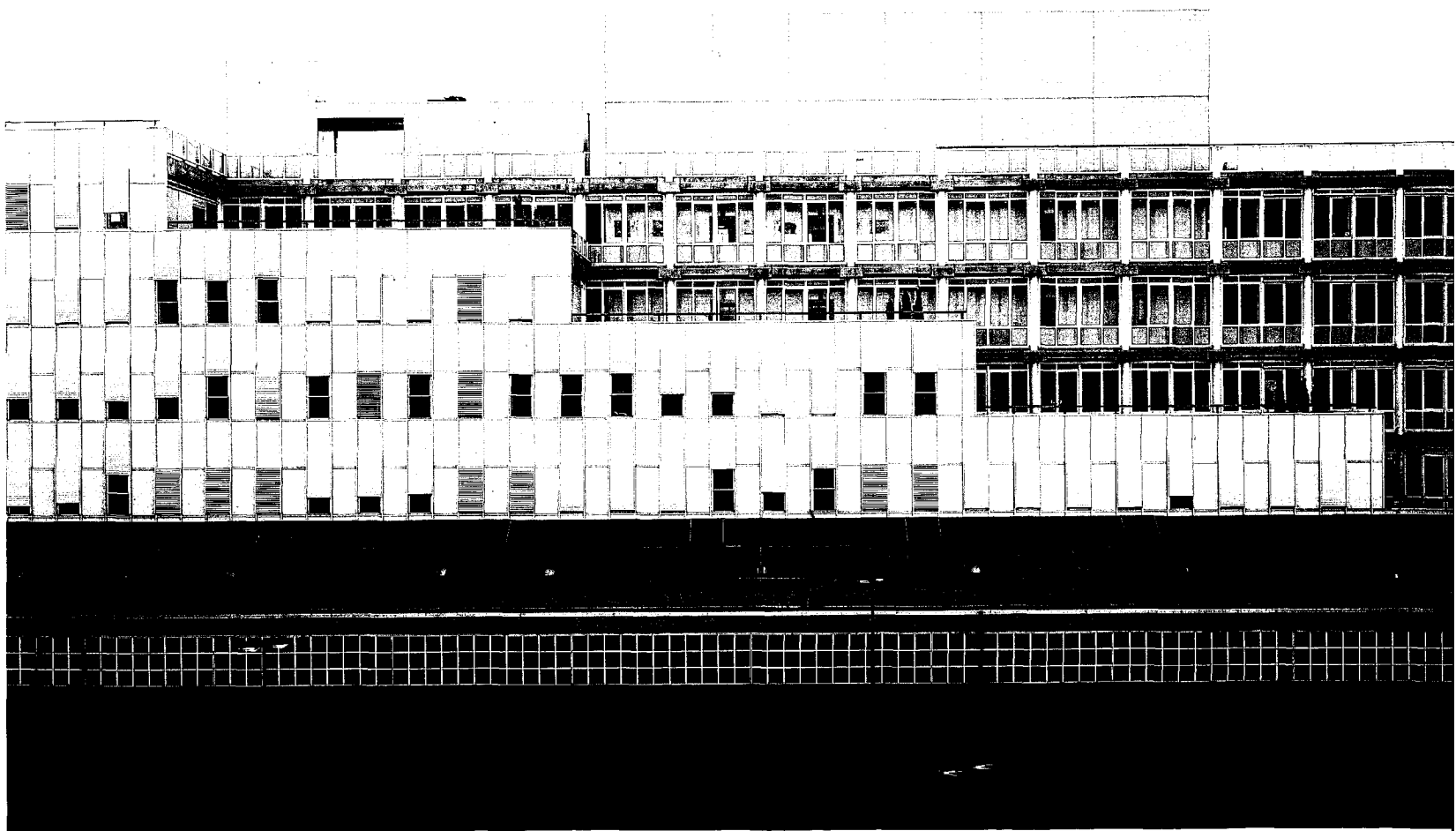
- bij elke inzameling (productie- en sloopschroot) van aluminium schroot gaat 5% verloren;
- bij elke remeltproductie wordt 25% primair aluminium toegevoegd (extra energielast);
- bij elke remelt gaat 2% van het aluminium verloren;
- voor de remeltbillets (schrootproduct) is 5% van de energie nodig die gebruikt wordt bij de productie van billets uit nieuw aluminium.

Op basis van deze uitgangspunten bereiken we het volgende resultaat. Het totale energieverbruik per levenscyclus is gemiddeld ca. 26% van de energie die nodig is voor de productie van primair aluminium, namelijk ca. 38 MJ ten opzichte van 148 MJ (fig. 2.10). Deze uitkomst is gunstig in vergelijking met andere constructiemetalen, die primair minder energie verbruiken maar in het recyclingproces minder efficiënt zijn. Voor staal is veel meer energie nodig in het recyclingproces en na enige cycli is dit constructiemetaal energetisch duurder dan aluminium.

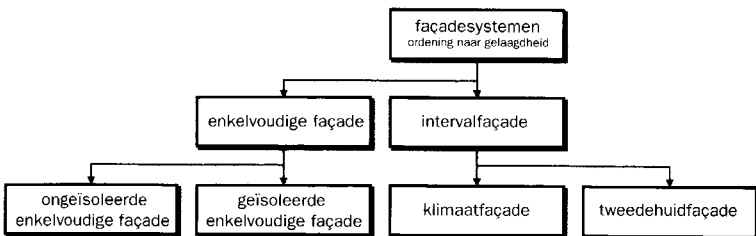
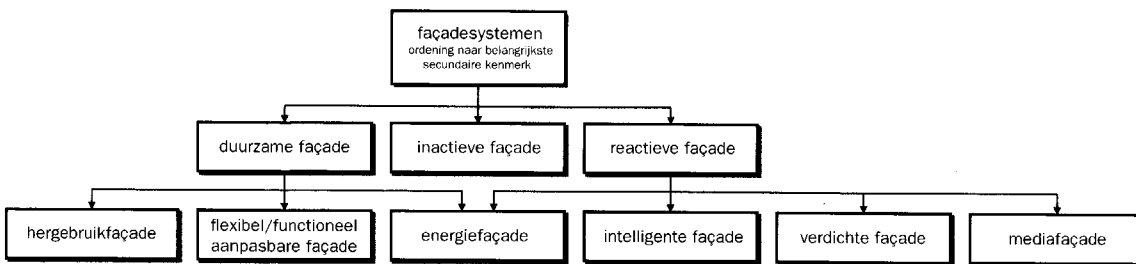
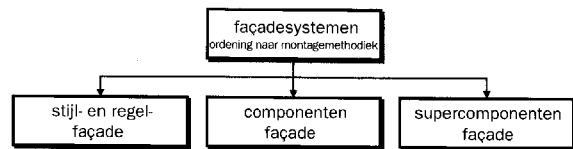
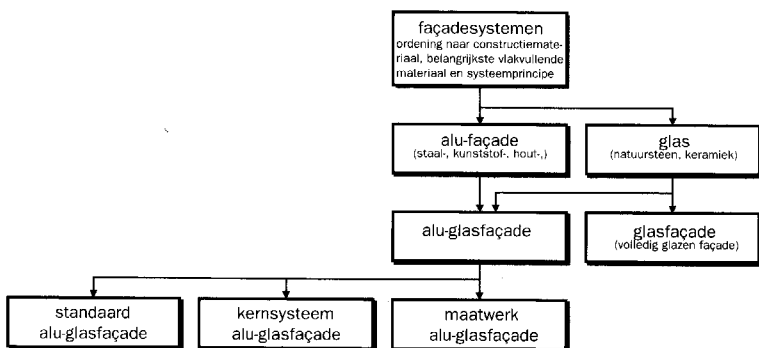
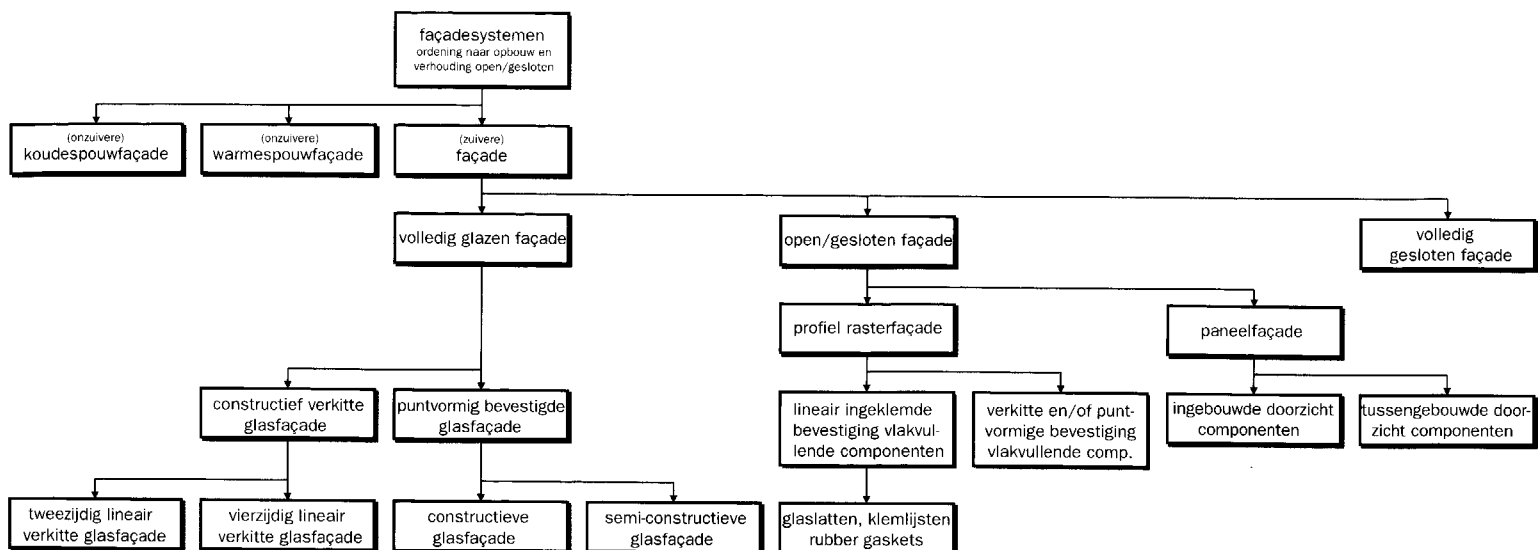
Aluminium is door hergebruik een energievriendelijk bouwmetaal. Een opgave blijft om het energiegebruik voor de productie van primair aluminium te verlagen, daarbij de dodekop (Redmud) te benutten, en verder gebruik te maken van milieuvriendelijke elektriciteitsopwekking (waterkracht). Het rendement van het recy-

clingproces kan nog verder worden verhoogd door het verminderen van inzamelings- en verwerkingsverliezen. Hierbij kan men denken aan het versnipperen van het profielschroot en het daarna scheiden van aluminium en isolatormateriaal. Isolatormateriaal bestaat vaak uit polyamide, dat ongeveer twee maal zo duur is als aluminium en dus gescheiden meer waard is dan zijn verbrandingswaarde in de smeltoven.

**Ontwikkelingen** De industrie besteedt veel aandacht aan een hogere efficiëntie van de productie van primair en secundair aluminium. Hierbij spelen de ecologische factoren, milieu en energie, een belangrijke rol. Andere onderzoekinspanningen betreffen de ontwikkeling van legeringen met betere mechanische eigenschappen en met een hogere elasticiteit.



Stadhuis Almere: vliesgevel.  
architect: Cees Dam en Partners architecten

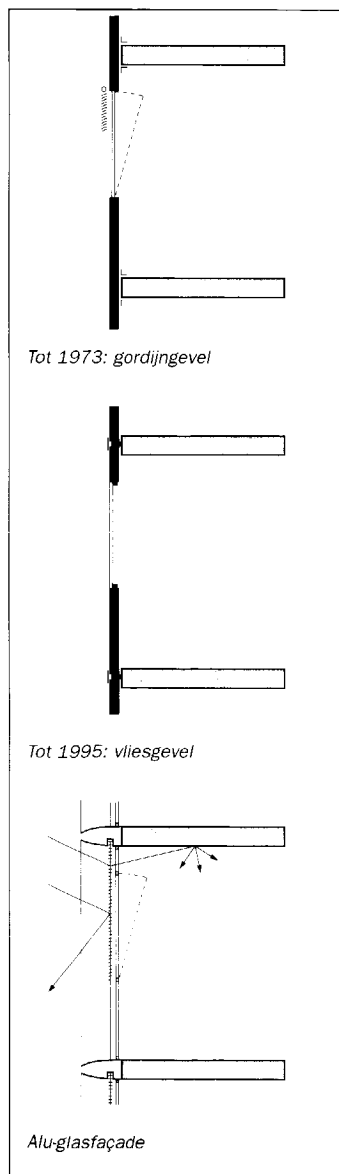


# Façadesystemen



# Façadesystemen

Paneelfaçade met ingebouwde ramen in rubber gaskets, Nieuw Amsterdam, Amsterdam. architect: Pi de Bruijn



## ALU-GLASFAÇADE

De alu-glasfaçade is een gebouwhulling die zich heeft losgemaakt van de bouwdragconstructie. De façade functioneert als een 'interface' tussen binnen en buiten. Volgens Eekhout [3.1] is een alu-glasfaçade 'een type gevel waarvan de buitenschil – die over meerdere lagen kan doorlopen – wordt gevormd door relatief lichte constructiedelen, waarin zowel ramen als borstweringcomponenten zijn opgenomen.' Een meer omvattende definitie wordt in hoofdstuk 1 gegeven. Omdat de alu-glasfaçade als een huid om het gebouw heen bevestigd is, spreekt men ook wel van vliesgevel en gordijngewel. Als indeling wordt aangehouden:

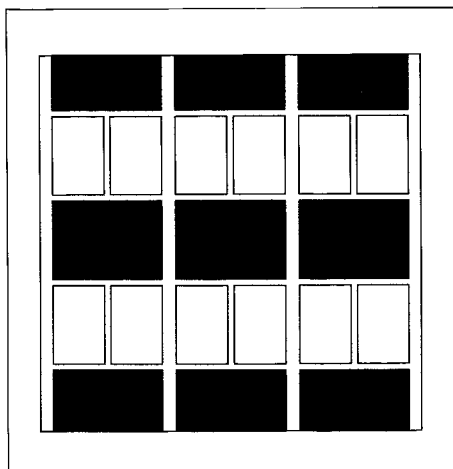
- tot 1973 gordijngewel: enkelvoudige klimaatscheiding;
- tot 1995 vliesgevel: thermisch isolerende klimaatscheiding;
- vanaf 1995 alu-glasfaçade: klimaatanticiperende interface. (fig. 3.1)

Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee typen alu-glasfaçades: zuivere en onzuivere (of echte en onechte). (fig. 3.2) De zuivere alu-glasfaçade is de gebouwhulling als vlies of membraan. Dit geveltype kunnen we constructief definiëren als zelfdragend omdat de erop werkende krachten via de gevelstijlen naar de kolommen of verdiepingsvloeren worden overgebracht. [3.3] Bij de onzuivere alu-glasfaçade is door het achterliggende spouwblad een verankering op meerdere plaatsen mogelijk. Deze gevel ontleent de vereiste sterkte en stijfheid voornamelijk aan de achterliggende bouwkundige constructie. Onzuivere alu-glasfaçades zijn onder te verdelen in gelaagde gevels met koude spouw en met warme spouw. Bij beide

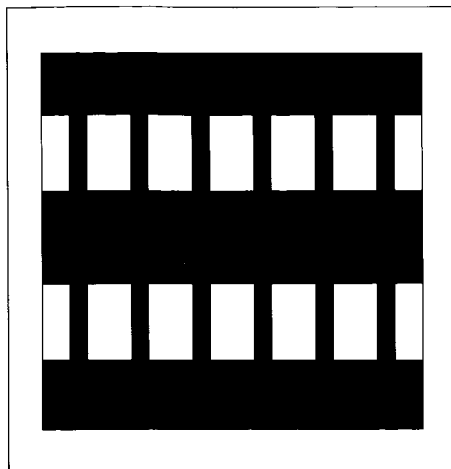
geveltypen worden thermisch geïsoleerde doorzichtramen geplaatst. Bij de koudespouwfaçade wordt het binnenspouwblad aan de buitenzijde geïsoleerd en wordt op spouwafstand een esthetische paneelafwerking, de regenjas, aangebracht. De spouw wordt met buitenlucht geventileerd. Bij de warmespouwfaçade worden de niet-doorzichtdelen op spouwafstand afgewerkt met een gesloten schil van thermisch geïsoleerde sandwichpanelen: de spouw is 'warm'. Bij de onzuivere alu-glasfaçades dient het binnenspouwblad luchtdicht afgewerkt te zijn. Onzuivere alu-glasfaçades kunnen door de veelvuldige verankering aan het binnenspouwblad licht geconstrueerd worden.

Alu-glasfaçades worden niet alleen gebruikt in de nieuwbouw. Tegenwoordig worden onzuivere alu-glasfaçades op grote schaal toegepast voor bekleding van bestaande gevels ('overcladding'). Het technisch niveau en het uiterlijk van bestaande gebouwen worden hiermee opgewaardeerd. Een nadeel kan zijn dat de gevel haar karakteristieke ontwerp, structuur en textuur verliest.

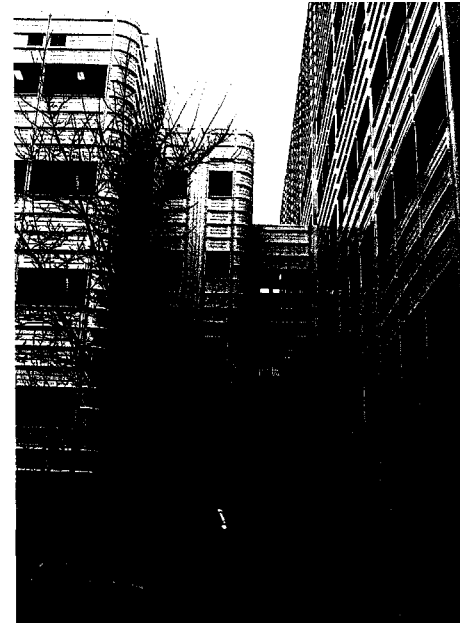
De eerste gordijngelvelsystemen bestonden uit stalen stijl-en-regelwerkconstructies. 'De vorm van de gevel werd bepaald door een raster van rechthoekig kruisende lijnen, gevormd door het profielsysteem met vaak een verticaal accent of zelfs een accentuering van de constructieve opbouw van het bouwskelet. De vlakvullende elementen bestonden bij de eerste vliesgevels uit panelen van glas of metaal. Bij een andere vliesgevelopbouw die destijds ook toegepast werd, ging men uit van verdiepingshoge metaalplaatcomponenten, waarin de doorzicht-subcomponenten opgenomen waren.' (fig. 3.3) Vanaf de jaren vijftig bestaan de gordijngelvels voornamelijk uit staal en aluminium voor



3.3 Profielraster met verticale accentuering.



Verdiepingshoge paneelcomponenten met daarin opgenomen de doorzichtigbeglazing.



3.5 Koudespouwfaçade met geprofileerde aluminium paneelbekleding, Koninklijke Bibliotheek, Den Haag.  
architect: OD.205, Delft

de constructieve onderdelen, enkelglas voor het doorzicht en geïsoleerde panelen met verschillende buitenafwerkingen (o.a. aluminium plaat, geëmailleerd glas) voor de niet-doorzichtvlakken. Vanaf 1973 is de ontwikkeling van enkelglas naar dubbelglas toepassing onomkeerbaar geworden. Het is in de jaren tachtig mode geweest de dichte en open delen van de gevel in zonreflecterend glas uit te voeren. (fig. 3.4) Zo zijn de kenmerkende spiegelende gebouwen ontstaan waarbij aan de buitenzijde geen verschil te zien is tussen de doorzicht- en de niet-doorzichtglaspanelen. De afgelopen jaren is er wat dat betreft veel veranderd. Binnen de groep van zuivere alu-glasfaçades blijft men weliswaar glas toepassen, maar de harde en onpersoonlijke reflecterende gevels van zonwerend glas zijn bij architecten uit de mode en worden ook door welstandscommissies steeds minder getolereerd. Als alternatieven worden ondermeer blanke beglazing met transparante coatings, natuursteen, aluminium panelen en gezeefdrukt (geëmailleerd) glas toegepast. (fig. 3.5) Bij de onzuivere alu-glasfaçades zien we dat steeds vaker natuursteen en keramische tegels worden toegepast. (fig. 3.6) [3.3]

### DE SYSTEMATIEK VAN LICHTGEVELS

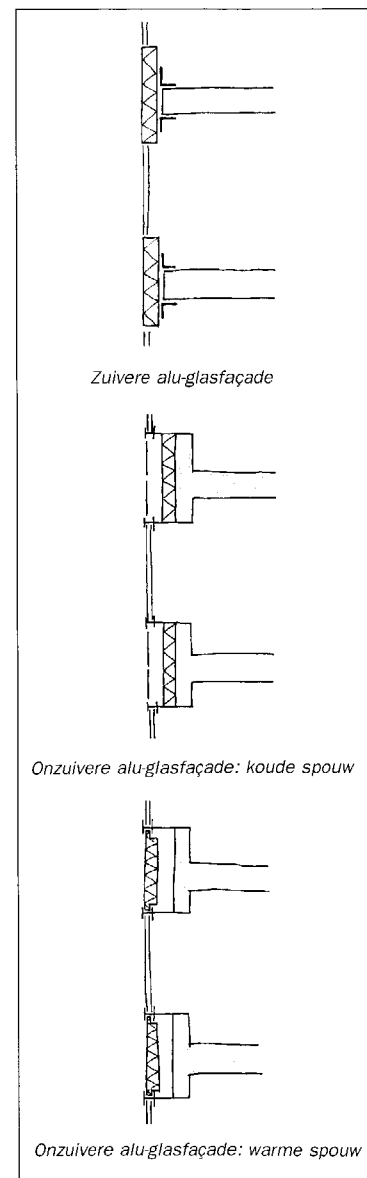
**V**olgens van Dale (1984) is een systeem 'het geheel van ordenende principes'. [3.4] Voor een bespreking van de systematiek van alu-glasfaçades zijn de ordenende principes van belang. We beginnen met een algemene typologische indeling naar gevelopbouw en geveluitvoering; vervolgens bespreken we de systematiek van de verschillende façadetypen op grond van functionele eisen. Ook de

opbouw van de alu-glasfaçade uit materiële elementen wordt behandeld. Daarna wordt ingegaan op de eisen op het gebied van mechanica, bouwfysica, gebruik, tectoniek en milieu.

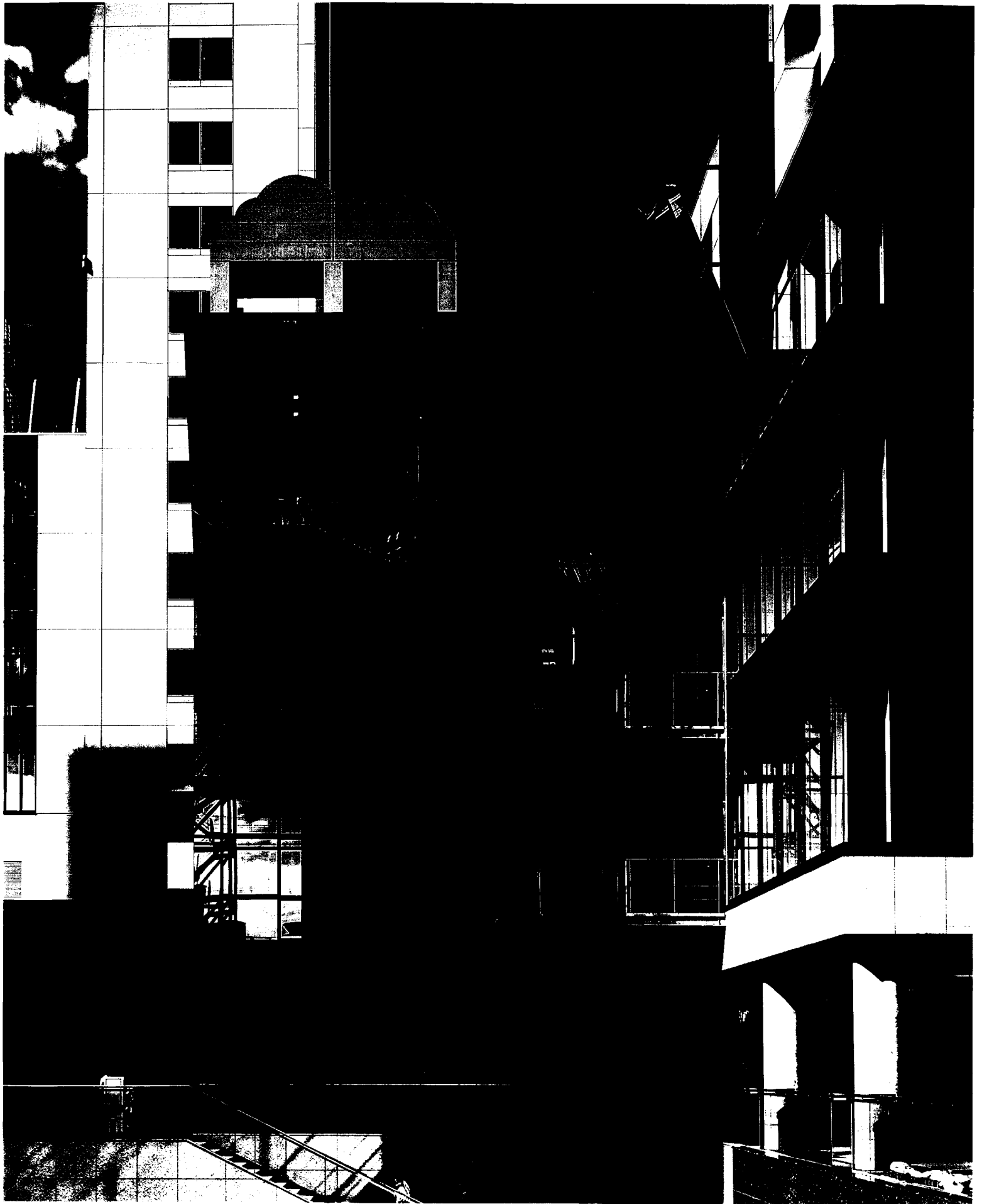
Voor de alu-glasfaçade wordt de systeemkeuze in de conceptuele ontwerpfase sterk bepaald door het gebouwtype en het gewenste gevelbeeld. Ook de middelen en mogelijkheden om de gevel te produceren en aan te brengen spelen daarbij een rol. In een volgende ontwerpfase (materialisering) wordt het gevelconcept gematerialiseerd. Naast de materiaal-, de constructie- en de systeemkeuze wordt het ontwerp dieper uitgewerkt tot op het niveau van de principes van constructiedetails en assemblage- en montage-invloeden. Pas bij de bestektekeningen is een volledig omschreven en gedetailleerd gevelsysteem weergegeven waarop kan worden aanbesteed.

We kunnen in de huidige alu-glasfaçades twee wezenlijk verschillende systemen onderscheiden: handelssystemen en projectsystemen. Systeemhuizen ontwikkelen, vervaardigen en leveren als producenten standaard systeemprofielen aan gespecialiseerde gevelbouwbedrijven, die vervolgens zorgen voor verwerking (fabricage) en montage van de gevel. Een **handelssysteem** omvat de engineering en het hele spectrum van ontwikkelde systeemprofielen, assemblage- en montagemiddelen, aansluitstukken en toebehoren. De soort vlakvulling en de oppervlakteafwerking worden bepaald door de projectarchitect. Courante handelssystemen kunnen door de systeemhuizen uit voorraad geleverd worden.

**Projectsystemen** worden per project ontwikkeld door de daartoe uitgeruste gevelbouwers. Een project-systeem is gebaseerd op een aantal principes met



3.2

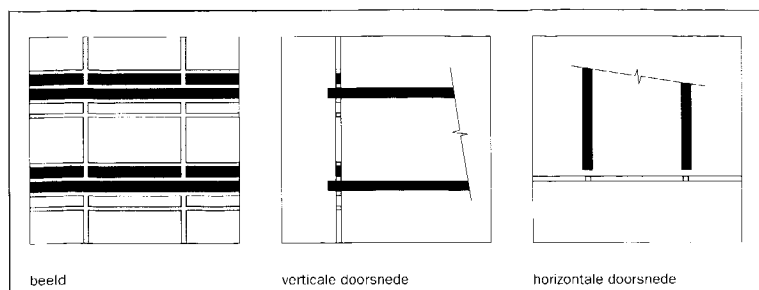


3.4 Façade met zonreflecterende beglazing.  
Umeda Sky Building, Osaka  
architecten: Hiroshi Hara + Atelir & Takenaka Corporation

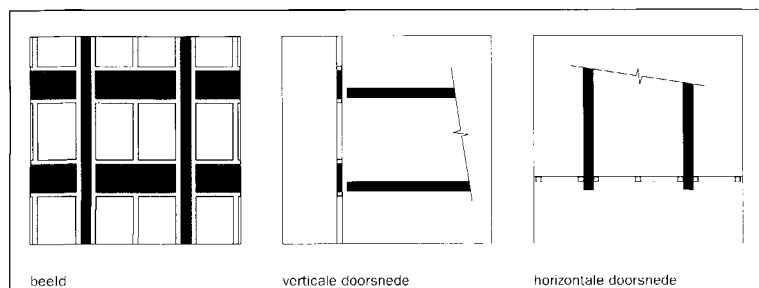




3.6 Koudespouwfaçade afgewerkt met keramische tegels, Haagse Poort, Den Haag. architect: Rob Ligtvoet, Kraaijvanger-Urbis



3.7 Horizontale raamstrook.



3.8 Verticale raamstrook.

betrekking tot bouwfysische werking, uiterlijk, opbouw en assemblage tot en met de inbouw van hang- en sluitwerk. Binnen deze principes zijn er variaties mogelijk, vooral qua sterkte en vorm van de profielen. Projectsystemen kunnen ook ontwikkeld worden op basis van handelssystemen.

Een systeem dat speciaal voor één project ontworpen wordt, is **maatwerk**. Vanzelfsprekend kunnen bijna alle wensen in zo'n systeem vervuld worden. Het karakter is vaak sterk innovatief, bijvoorbeeld op het gebied van vormgeving, bouwfysische werking, integratie van de installatie, materiaalgebruik, ophanging, paneelbevestiging of afwerking. Opgemerkt moet worden dat er voor de ontwikkeling van deze systemen extra ontwerp- en produktietijd nodig is. Uit maatwerk komen vaak kernsystemen en uiteindelijk nieuwe handelssystemen voort.

**Gatvullende componenten** Een 'gat' in de gebouwomhulling kan worden afgesloten door middel van ramen, puien en gevels. Een klein gat in een verder massieve gevel is een vensteropening, die we kunnen dichten middels een raam. Een horizontale (fig. 3.7) of verticale (fig. 3.8) aaneensluiting van ramen heet raamstrook en wanneer we de gevel tussen de vloeren en wanden of kolommen plaatsen, spreken we van een pui. (fig. 3.9) Wanneer de gevel geheel en doorlopend vóór de draagconstructie wordt geplaatst, spreken we van een façade. (fig. 3.10)

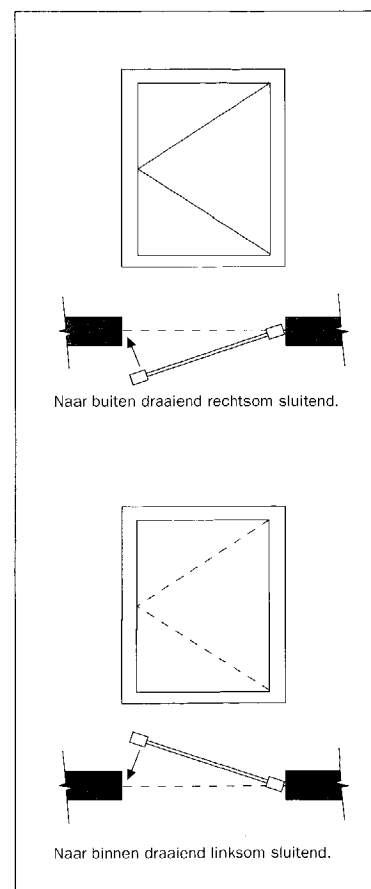
De draairichting van de ramen (en deuren) wordt - van boven gezien - rechtsom sluitend genoemd als het beweegbare deel met de wijzers van de klok mee gesloten kan worden, en linksom sluitend als de sluitrichting tegen de wijzers van de klok in is. (fig. 3.11)

We kunnen een aantal uitvoeringsvormen onderscheiden:

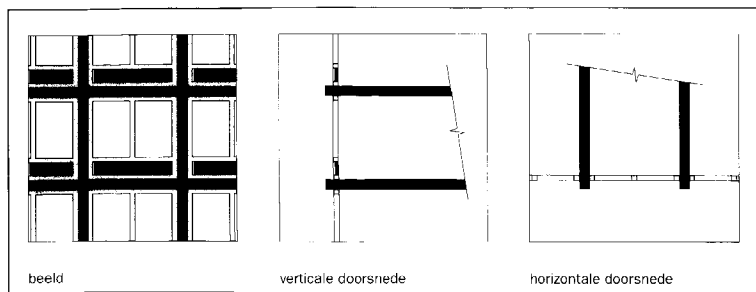
- Er zijn vier basisprincipes om een raam te openen: horizontaal draaien, schuiven, verticaal kantelen en horizontaal of verticaal taatsen. Daarnaast zijn er vele combinatiemogelijkheden.
- Ramen kunnen naar binnen of naar buiten toe openen. Een taatsraam gaat tegelijkertijd naar binnen als naar buiten toe open.
- Het raam en het omkaderende raamkozijn kunnen van buitenaf zichtbaar of niet-zichtbaar geplaatst zijn.
- Beglazing en borstweringscomponenten kunnen van binnenuit of van buitenaf geplaatst worden.

Bij het tekenen van de draairichting van ramen wordt altijd het buitenaanzicht getekend. Naar buiten draaiend wordt aangegeven met getrokken lijnen waarbij de punt de sluitzijde aangeeft, gestippelde lijnen duiden op naar binnen draaiende delen.

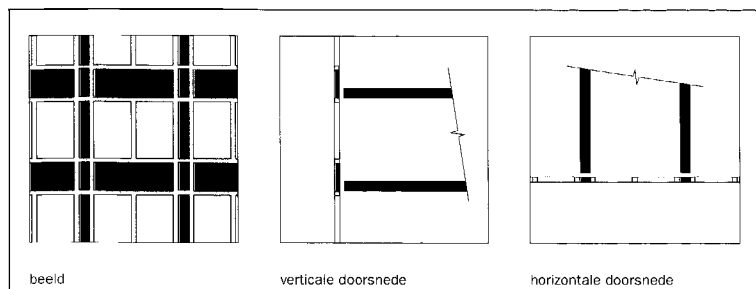
Zoals gesteld is een **pui** een uitvoering van een deel van de gevel die geplaatst wordt tussen de vloeren en tussen de kolommen of wanden van een gebouw. Een pui is verdiepinghoog en opgebouwd uit meerdere glasvlakken, waarin veelal een of meerdere beweegbare delen (ramen, deuren) zijn opgenomen. Verticale profielen worden stijlen genoemd, horizontale profielen worden regels genoemd. (fig. 3.14) Een horizontale raamstrook bevindt zich in de ruimte tussen de vloeren, loopt gewoonlijk vóór de kolommen of wanden langs en vormt horizontaal een aaneengesloten beglaasde vensteropening. (fig. 3.7) Een verticale raamstrook kan in de gevel variërende breedtes aannemen. Zij bevindt zich tussen de kolommen of wanden en loopt voor de vloeren langs. (fig. 3.8) Gewoonlijk worden hier verticale doorbrekingen van de



3.11 Bij het aangeven van de draairichting wordt het buitenaanzicht getekend.

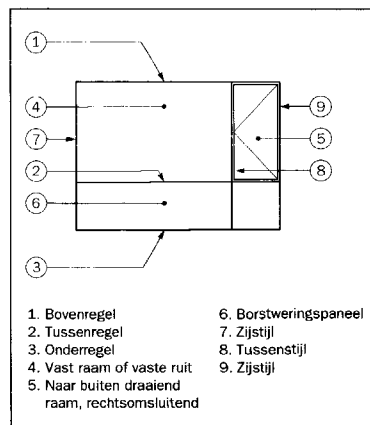


3.9 Raampui.



3.10 Alu-glasfaçade.

verdiepingsvloeren mee aangegeven: vides, liften, trappehuizen. Een **alu-glasfaçade** is de lichte, zelfdragende, regulerende klimaatscheidingsconstructie die als gebouwschil om en aan de draagconstructie van het gebouw gemonteerd wordt. De alu-glasfaçade bevindt zich gewoonlijk vóór de vloeren en vóór de kolommen of wanden. (fig. 3.10)



3.14 Profielbenamingen.

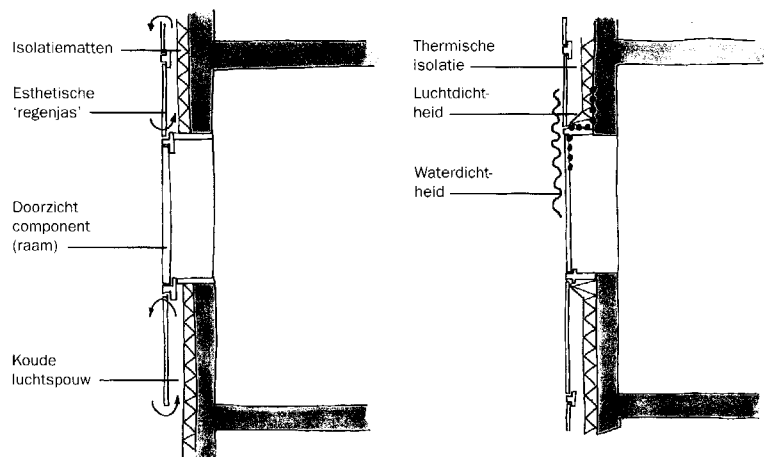
### INDELING NAAR GEVELOPBOW

**A**ls we alu-glasfaçades onderverdelen naar hun opbouw, onderscheiden we zuivere en onzuivere façades. De laatste zullen we weer verder onderverdelen.

**De zuivere alu-glasfaçade** Bij de zuivere alu-glasfaçade is er geen bouwkundig binnenspouwblad aanwezig. (fig. 3.15) De façade vormt de enige scheiding tussen buiten- en binnenklimaat. De façade is zelfdragend, wat wil zeggen dat deze de lasten van eigen gewicht en windlasten opvangt en bij de bevestigingspunten aan de hoofddragconstructie afdraagt. De alu-glasfaçade wordt in principe op iedere verdieping aan de meestal skeletvormige gebouwdraagconstructie bevestigd. De façade vormt de functionele en esthetische klimaatscheidende constructie. Door toegevoegde technieken kunnen de scheidende functies reactief aangestuurd worden (klimaatregulering).

Voordelen van zuivere alu-glasfaçades zijn:

- De façade is goed vervangbaar, indelingen van het gebouw kunnen gewijzigd worden.
- De gevelconstructie is licht.
- Goede afstemming op de milieu-eisen is door ade-



3.18 Koudespouwfaçade: drukvereffening.

3.21 Koudespouwfaçade: water- en luchtdichtheid.

quate materiaalkeuze en constructie-opbouw mogelijk.

- Componentenbouw is goed mogelijk.
- De façade is relatief goedkoop.
- Goede afstemming op de ontwerplevensduur is mogelijk.

Nadelen zijn:

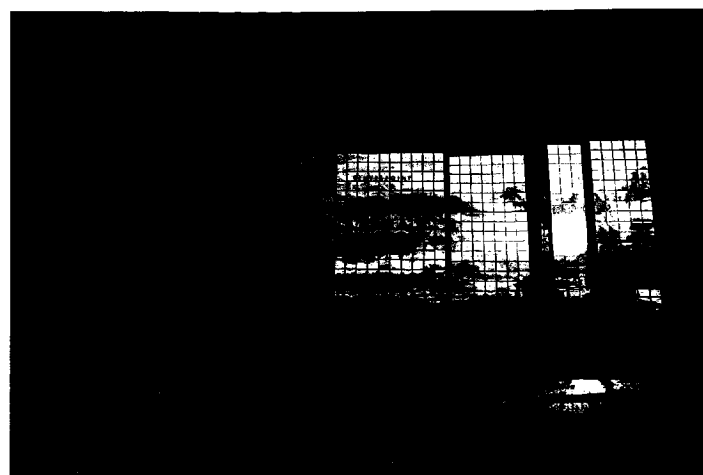
- Het accumulatievermogen van de gevel is geringer. (Het geringe accumulatievermogen kan ook een voordeel zijn, namelijk bij actief regulerende façadeconstructies: de gevel reageert onmiddellijk op de signalen voor functie-aanpassing.)
- De brandveiligheid vraagt meer voorzieningen.
- Water- en winddicht afwerken van het gebouwskelet duurt relatief langer.
- In de bouwfase kunnen meer beschadigingen optreden.
- Bij vervanging van de gevel wordt het ruimtegebruik tijdelijk verstoord.

**De onzuivere alu-glasfaçade** De onzuivere alu-glasfaçade is in feite een functionele schil vóór een achterliggende (tweede) gevelconstructie. (fig. 3.17) De onzuivere alu-glasfaçade ontleent haar sterkte en stijfheid juist in grote mate aan de achterliggende gevelconstructie. De bevestiging van de buitenhangende alu-glasfaçade aan de tweede buitenwand (het binnenspouwblad) geschiedt middels een soort spouwverankeringen. De onzuivere alu-glasfaçade wordt doorgaans bevestigd aan een gesloten bouwlichaam met doorzichtopeningen (vensters). We kunnen twee typen onzuivere alu-glasfaçades onderscheiden, de koudespouwfaçade en de warmespouwfaçade.

**De koudespouwfaçade** De koudespouwfaçade



3.15 Zuivere alu-glasfaçade. Gebouw MOC München (D).  
architect: Murphy/Jahn Chicago



3.17 Warmespouwfaçade: links het bouwlichaam van de uitbreiding.  
Centerpoint Amsterdam.  
architect: Witt en Van Well architecten

functioneert als een esthetische regenjas en vormt met het binnenspouwblad een met buitenlucht geventileerde spouw. (fig. 3.18) De spouw bevat dus buitenlucht. De gevelisolatie bevindt zich aan de buitenzijde tegen het binnenspouwblad. Deze opbouw wordt vaak voor een gebouw met constructief dragende gevelpanelen of betonnen spouwblad aangebracht. De openingen in de binnenspouw worden gedicht met een thermisch geïsoleerd raam in een raamkozijn. De isolatie wordt tegen het binnenspouwblad aangebracht en het geheel wordt afgewerkt met een weersbestendige ongeïsoleerde buitenschil die op spouwafstand aan het binnenspouwblad wordt verankerd. De panelen van de buitenschil kunnen met open voeg gemonteerd worden. (fig. 3.19)

De esthetische regenjas zorgt ervoor dat het achterliggende isolatiemateriaal niet nat wordt (regenkering) en dat het gebouw het gewenste aanzien krijgt door de verhulling van de achterwand. De regenkering berust op het principe van drukvereffening. Door de openingen in de buitenschil wordt bereikt dat de luchtdruk in de spouw steeds (nagenoeg) gelijk is aan de buitenluchtdruk. Door de drukvereffening in de spouw valt de horizontale bewegingsrichting van neerslag weg. Door ervoor te zorgen dat het binnenspouwblad luchtdicht is afgewerkt wordt bereikt dat waterdoorslag tot op het isolatiemateriaal voorkomen wordt. (fig. 3.20) Tevens wordt in de luchtspouw de waterdamp, die van binnen naar buiten diffundeert, afgevoerd. (fig. 3.21)

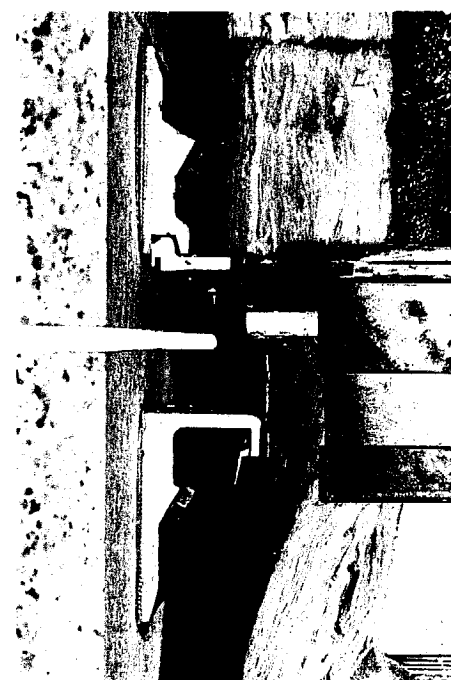
De werking van de luchtspouw kan verbeterd en beter beheerst worden door compartimentering. Dit is vooral op de gebouwhoeken en aan de onder- en bovenzijde van de spouw effectief, doordat ongewens-

te luchtstromingen en daardoor luchtdrukverschillen in de spouw vermeden worden. Tevens wordt bereikt dat de windbelasting van buitenschilcomponenten bij de gebouwhoeken en dakranden verminderd wordt.

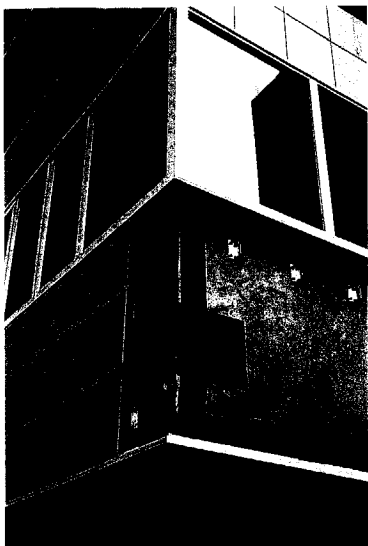
Bij de koudespouwfaçade wordt de water- en winddichtheid in die volgorde gerealiseerd: bij het koude buitenspouwblad wordt de regenwaterkering geregeld, de luchtdichtheid wordt bereikt door het luchtdicht afgewerkte binnenblad. De raamcomponenten die bijna altijd uitgebouwd geplaatst worden, dienen luchten waterdicht aan het binnenspouwblad verankerd te worden. (fig. 3.22)

Het aangebouwde raam is een thermisch geïsoleerde gevelcomponent. Bij de aansluiting van het iso-raam naar de koude buitenschil wordt het raam tevens rondom thermisch geïsoleerd. De sprong van koud naar warm is een nadeel van dit façadesysteem. Hierdoor is componentenbouw moeilijker uitvoerbaar. Bij het project Delftse Poort te Rotterdam is daarom toch gekozen voor ongeïsoleerde raamprofielen. Door het inpakken van deze doorzichtcomponenten met isolatiemateriaal werd voldoende thermische isolatiewaarde gerealiseerd. Door deze maatregelen is componentenbouw wel uitvoerbaar. Dit was door de omvang van het project en de gestelde bouwsnelheid noodzakelijk.

**De warmespouwfaçade** Een warme voorzetfaçade heeft een warme, van de buitenlucht afgesloten spouw. (fig. 3.23) De borstweringpanelen bevatten de gevelisolatie en zijn tezamen met de doorzichtcomponenten op spouwafstand van het dragende bouwlichaam gemonteerd. De gebruikte profielen dienen van een thermische isolator voorzien te zijn. Een



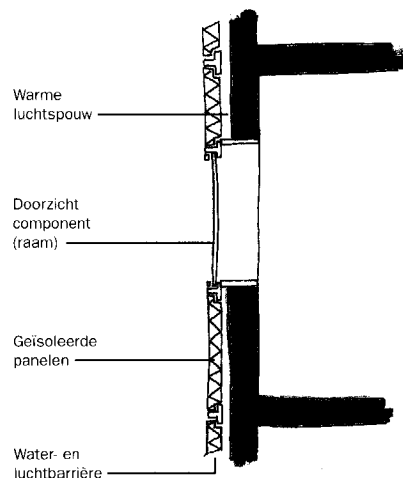
3.19 Openvoegmontage van graniet gevelbekleding.



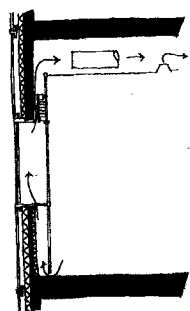
3.20 Luchtdichte afwerking van het binnenspouwblad van de koudespouwfaçade.



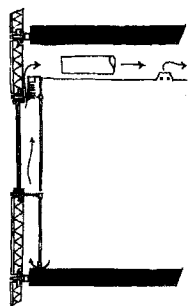
3.22 Water- en luchtdichte aansluiting van de raamcomponent op het bouwlichaam (binnenspouwblad).



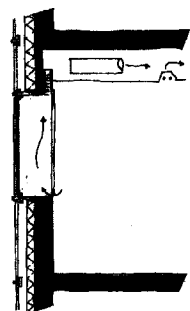
3.23 Warmespouwfaçade: water- en luchtdichtheidzone.



3.24 Klimaatgevel.



3.25 Klimaatfaçade.



3.26 Klimaatraam.

voordeel ten opzichte van de koudespouwfaçade is dat deze opbouw geschikt is voor componentenbouw en supercomponentenbouw (unitbouw). Het is dus een complete façade vóór een (gewoonlijk) dragende gevel. Nadelen zijn: hogere bouwkosten (in vergelijking met de zuivere alu-glasfaçade) en minder mogelijkheden in het materiaalgebruik voor de niet-doorzichtdelen (in vergelijking met de koudespouw alu-glasfaçade). Bovendien is de toegankelijkheid bij water- en luchtlekage minder en is het systeem minder flexibel bij vervanging of aanpassing van de gevel. De water- en winddichting wordt in de buitenschil geregeld. Ook bij deze constructie dient het binnenspouwblad zoveel mogelijk luchtdicht afgewerkt te zijn om te voorkomen dat vochtige binnenlucht in de spouw lekt: dit geeft warmteverlies en kans op condensvorming in de spouw. De raamcomponenten dienen luchtdicht aan het binnenspouwblad bevestigd te worden en water- en winddicht aan de dichte componenten aan te sluiten.

**De klimaatgevel** De klimaatgevel zoals we die kennen vanaf de jaren zeventig wijkt af van de voorafgaande types; hij bevat een bouwkundige spouw en zowel een geïsoleerd glazen buitenblad als een ongeïsoleerd glazen binnenblad. Een klimaatgevel is opgebouwd uit een normale buitengevel met blanke dubbelglascomponenten zonder te openen delen en een separaat binnenblad met blank enkelglas. Tussen buiten- en binnenschil bevindt zich een brede afgezogen spouw waarin een zonregulerende voorziening is aangebracht. Deze spouw wordt verbonden met de ruimteluchtinvoer en -afzuiging. In de winter zorgt de warmte uit de afgezogen vertrekklucht voor een kunstmatige verhoging van de temperatuur van het binnenspouw-

blad, hetgeen comfortabel is. De meeste klimaatgevels hebben voorzieningen om convectieve zonnearmte opnieuw te gebruiken. De door de zon verwarmde lucht in de spouw wordt afgezogen en langs een warmtewisselaar geleid; daardoor kan een gedeelte van de afgezogen binnenwarmte worden teruggevoerd. In de zomersituatie is het mogelijk de zonnearmte op te vangen en af te voeren, waardoor de koellast van het gebouw daalt. Een belangrijk kenmerk van klimaatgevels is dat er geen verwarmingsunit bij de gevel nodig is. Een voordeel hiervan is dat het nuttige vloeroppervlak groter wordt en doordat er geen koudeval ontstaat kan men zich comfortabel dichtbij de gevel bevinden. Een tweede voordeel is dat de zonregulerende voorzieningen onafhankelijk van de windbelasting en dus ook onafhankelijk van de gebouwhoogte gebruikt kunnen worden. Ten opzichte van een buitenzonwering vergt de zonregulerende installatie in de spouw minder onderhoud. Het reinigingsonderhoud is echter bewerklijker dan bij een enkelvoudige glasfaçade door het aparte binnen- en buitenblad met de tussenliggende spouwruiimte. Wanneer de vertrekklucht via de hele gevel afgevoerd wordt, spreekt men van een **klimaatgevel** (fig. 3.24) of **klimaatfaçade**. (fig. 3.25) Wanneer de lucht alleen via het raam wordt afgezogen, dan spreekt men van een **klimaatraam**. (fig. 3.26) [3.7] Geschakeld zijn het **klimaatraamstroken**.

Een klimaatgevel verdient de voorkeur boven een klimaatraam. Bij een klimaatgevel is de borstwering ook opgenomen in het systeem en wordt deze ook opgewarmd door de vertrekklucht. De stralingstemperatuur van de gevel wordt dan dichterbij de binnenluchttemperatuur gebracht. Vaak wordt er een filter ingebouwd om de stof uit de ventilatielucht op te vangen.

De dagkanten van de luchtspouw moeten luchtdicht aansluiten op het buitenkozijn. Voor een prettige beleving van het daglicht is een lichte kleur van de dagkanten vereist. Voor de spouwdiepte geldt een maat tussen ca. 60 en 200 mm. Het binnenglasblad kan van kaderloos hardglas zijn of in een compleet raam gevat worden. [3.7] Het moet wegneembaar, schuifbaar of draaibaar zijn voor het reinigen van de binnenspouw, de zonreguleringsinstallatie en de spouwzijden van de buiten- en binnenbeglazing. Schuivende glasbladen zijn hiervoor het eenvoudigst. De spouw vervuult onder andere door luchtbewegingen.

Het ventilatievoud van een klimaatgevel kan hetzelfde zijn als bij een gewone gevel. Hoewel een variabele debietregeling bij klimaatgevels zeer interessant kan zijn (zonder zon weinig luchtafzuiging; met zon veel luchtafzuiging) wordt een dergelijke regeling weinig toegepast. Uit praktische en financiële overwegingen wordt vaak gekozen voor een constant debietsysteem. Doordat de materiaaltemperatuur van de binnenschil weinig afwijkt van de ruimteluchttemperatuur zal met een klimaatgevel een hoog thermisch comfort bereikt worden. De equivalente U-waarde ligt tussen de 0,6 en 1,35 W/m<sup>2</sup>K. [3.7] Een klimaatgevel met een geventileerde borstwering moet aan de binnenzijde van de buitenschil van een isolatielaag voorzien worden om opwarmproblemen te voorkomen.

De spouwzonwering kan bestaan uit horizontale of verticale lamellen of een horizontaal rolscreen. Verticale lamellen kunnen onder bepaalde omstandigheden gaan bewegen door de luchtstromingen in de spouw. Uit oogpunt van effectieve lichtsturing, lichtregeling en warmteterugwinning verdient automatische bediening, eventueel met individuele regeling van de

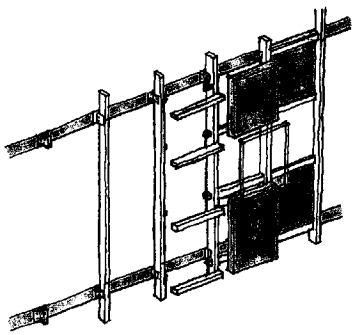
zonreguleringsvoorziening, de voorkeur.

Met klimaatgevels is een lage zontoetredingsfactor (ZTA) mogelijk. Afhankelijk van het type zonwering en het debiet zijn ZTA-waarden van ca. 0,11 tot 0,23 te halen. Een lichte lamelkleur reguleert zoninstraling het best. Een klimaatgevel met spouwzonwering kan qua prestatie concurreren met buitenzonwering en heeft als voordeel dat de zonwering windonafhankelijk is. Zonder zonwering is de ZTA-waarde ca. 0,5 (vergelijk: ZTA blank isolatieglas ca. 0,7).

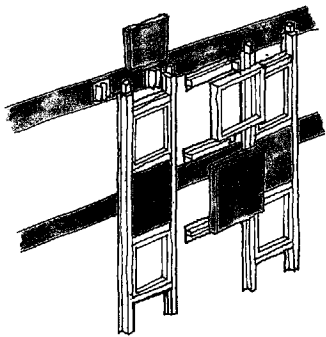
De exploitatiekosten van klimaatgevels kunnen lager zijn dan die van gewone gevels. Dit komt vooral door de lagere energiekosten en door het geringe onderhoud aan de zonwering. Het wassen van de beide spouwzijden van de binnen- en buitenglaspanelen is een kostenverhogende factor.

**Tweedehuidfaçade** Nog betrekkelijk nieuw zijn de tweedehuidfaçades. (fig. 3.27) Deze façades zijn geconstrueerd voor de benutting en regulering van de opvallende zonne-energie (zonnearmte, zon- en daglicht) en voor de natuurlijke ventilatie van de binnenruimten. In principe wordt blanke beglazing toegepast en zijn er te openen ramen in de binnengevel opgenomen. Voor dit type gevel bestond tot nu toe nog geen goede Nederlandse benaming. We pretenderen in dit boek een nieuw stelsel van namen te introduceren: zie het schema bij de aanvang van dit hoofdstuk.

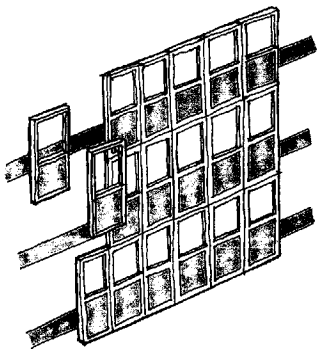
Tweedehuidfaçades bestaan uit een binnenconstructie van blank isolatieglas, een forse klimaatdempende luchtspouw met daarin een zonreguleringsvoorziening en een buitenconstructie van (blank) enkelglas. De luchtspouw vormt een buffer tussen het buiten- en binnenmilieu. Zie verder hoofdstuk 9.



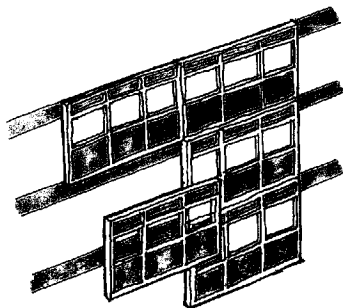
3.29 Stijl-en-regelwerkbouwwijze.



3.30 Ladderbouwwijze.



3.31 Componentenbouwwijze.



3.33 Supercomponentenbouwwijze.

**Het glasdak** Het dak wordt wel de vijfde gevel van een gebouw genoemd. Vooral als men vanaf hoge gebouwen op lagere gebouwdaken kan kijken is ook de buitenvormgeving van het glasdak van belang. Een glasdak is een lichtdoorlatende ruimtelijke afsluiting en kan technisch gezien uitgevoerd worden in een aangepast alu-glasfaçadesysteem. (fig. 3.28) Het glasdak wordt energetisch gezien zwaar belast doordat het voortdurend bloot staat aan directe zonnestraling (UV-belasting) en doordat de natuurlijke waterafvoer door de vlakke of schuine afdekkende elementen belemmerd wordt. Bij het alu-glasdak is het verstandig dat er aan de binnenzijde een 'tweede' wateropvang bestaat om eventueel lekwater en ook condenswater op te vangen en af te voeren. Verder dient men erop bedacht te zijn dat het toegepaste glas in de onderste glasplaat tegen breuk beveiligd moet zijn. Veiligheidsbeglazingen zijn: gelamineerd glas, verlijmd met een PVB-folie of epoxyhars, een gelamineerde combinatie van glas en polycarbonaat (inbraakvertragende opbouw), het ouderwetse draadglas of volledig voorgespannen glas. Zie ook hoofdstuk 5.

De buitenafdichting van glasdaken kan met siliconenkit geschieden. Vooral het vlakliggend met kit dichten van de horizontale voegen komt veel voor. Dit heeft het voordeel dat er ter plaatse geen water blijft staan, hetgeen wel het geval is bij een klem- en kliklijstafwerking. Deze laatste methode is ook minder gunstig vanwege het risico van lekkage, vuilafzetting en algvorming. Lekkage kan plaatsvinden doordat bevestigingschroeven een eventuele onderliggende waterdichte band perforeren. Een nadeel van de afwerking met kit is de noodzaak van regelmatige inspectie en het onderhoud van de kitvullingen. De horizontale kitvoegen kunnen ter verhoging van de zekerheid ook afgewerkt worden met een siliconenkitband met een breedte van 50/60 mm.

Overgangen tussen daken en gevels komen nogal eens voor in de vorm van schuine luifels of schuine wanden. Vaak wordt gedacht dat een gevelsysteem op dezelfde wijze functioneert in horizontale als in een verticale positie. Grote omzichtigheid moet hier echter in acht genomen worden, speciaal met betrekking tot de waterdichting en de afvoer van lekkagewater, intern of extern.

## INDELING NAAR BOUWWIJZE IN DE UITVOERING

**Stijl-en-regels** Doordat alu-glasgevels gewoonlijk grote oppervlakken beslaan, is het logisch dat aanvankelijk de traditionele opbouwwijze op de bouwplaats werd gevolgd. Dit betekende dat alle elementen los naar de bouwplaats werden vervoerd om daar geas-

sembleerd en gemonteerd te worden. Latere ontwikkelingen leidden tot een hogere graad van industrialisatie.

Een stijl-en-regelwerkgevel wordt als volgt opgebouwd. (fig. 3.29) Eerst worden de stijlen (verticale profielen) op maat verankerd aan de bouwconstructie, dan worden de regels (horizontale profielen) aangebracht en tenslotte worden de vlakvullende componenten geplaatst. De vlakvullingen kunnen zowel borstweringspanelen als vaste glaspanelen of te openen ramen zijn.

Veelal wordt per verdieping gedilateerd, waarbij het vaste punt van de stijl zich aan de bovenzijde bevindt: elke stijl hangt vanaf dat punt, vandaar de benaming gordijngevel. De onderaansluiting is schuivend in verband met de thermische bewegingen van de constructie. Verbindingen tussen stijlen en regels komen op verschillende manieren tot stand:

- Op de stijlen worden verbindingsstukken gemonteerd waarop de regels worden bevestigd. Het voordeel is dan dat zowel stijlen als regels recht afgezaagd kunnen worden.
- De regels worden 'gecontramald' en op steunblokjes aan de stijlen bevestigd.
- De regels worden in uitsparingen in de stijlen ingelegd en waterdicht afgewerkt (deze methode wordt zelden toegepast).

Dichte panelen en doorzichtbeglazing worden veelal met dezelfde montagetechniek geplaatst, bijvoorbeeld door middel van opsluiten met klemlijsten of glaslatten. Rijmontage kan men beter niet toepassen: daarbij is het moeilijk een regel of stijl te vervangen.

Door de opbouw van de gevel op de bouwplaats bestaat de mogelijkheid om maatverschillen in de ruwbouw op relatief eenvoudige wijze op te vangen. Als nadelen van stijl-en-regelwerkgevels kunnen worden genoemd de langere uitvoeringsduur op de bouwplaats en de afhankelijkheid van het weer. [3.3] Voor kleine werken is het een goed bruikbare en goedkope montagemethode. Er zijn vele standaardsystemen in de handel voor stijl-en-regelwerkgevels.

**Ladders** In de gang van traditionele bouw (alles op de bouwplaats assembleren) naar rationalisatie (arbeidbesparende methoden op de bouwplaats), is allengs de ladderbouwwijze ontwikkeld. (fig. 3.30) Een ladder is een gevelsubcomponent die bestaat uit twee of meer stijlen van minimaal één verdieping hoog, een aantal regels en vóóraf aangebrachte paneelinvullingen zoals borstweringscomponenten en gesloten of te openen ramen. De ladders worden aan de bouwdragconstructie bevestigd, op maat gesteld en verankerd. Er wordt tussen twee gemonteerde ladders een ruimte ter grootte van één regel opengehouden. De ontbrekende regels en vlakvullende componenten worden later aangebracht. Daardoor krijgt men geen stijl-



3.34 Montage van prefab-supercomponenten.

verdubbeling. Door deze werkwijze is het mogelijk meer assemblage-uren in de fabriek uit te voeren en minder op de bouwplaats. De ladderbouwwijze vindt ook toepassing in glasdaken waarbij de ladders een perfect intern waterafvoersysteem kunnen hebben.

**Componenten** Bij de componentenbouwwijze worden minimaal verdiepingshoge en toch nog makkelijk hanteerbare gevelcomponenten vanuit de fabriek getransporteerd en aan de gebouwconstructie bevestigd. (fig. 3.31) De gevelcomponenten zijn geheel geprefabriceerd en vaak afgemonteerd met borstweringspanelen en doorzichtbeglazing, eventueel voorzien van keuringscertificaten die de kwaliteit garanderen. (fig. 3.32) Dit staat tegenover de op de bouwplaats geassembleerde systemen, waar eindcontrole op prestatiekwaliteit nauwelijks kan plaatsvinden.

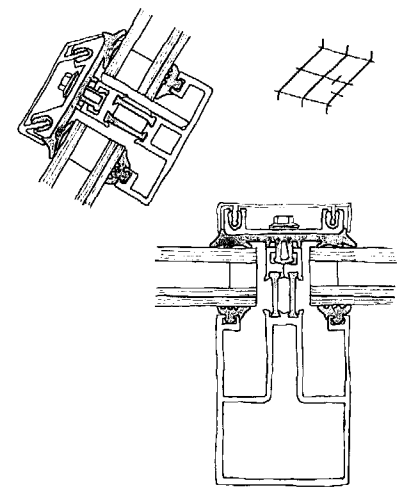
De componentenopbouw werkt vaak volgens een aanschuifprincipe ('messing en groef' of 'manetje/vrouwje'), een alternatief is de afdekking middels een onzijdige dekljst over de voegen. Bij deze methode worden de componenten veelal per verdieping rondom geplaatst, met als laatste een sluitcomponent met een afwijkende detaillering. Waar de verschillende componenten elkaar ontmoeten ontstaan dubbele stijlen en regels. Doorgaans worden in verband met het uniforme uiterlijk van de gevel alle stijlen en regels in dezelfde breedte toegepast; de breedte van de stijlen en regels bij de koppelingen is maatgevend. Als gevolg hiervan zijn de gevelprofielen minder slank dan bij stijl-en-regelwerk- en ladderbouwgevels mogelijk is. De geprefabriceerde componenten stellen hogere eisen aan de maattoleranties van het gebouwskelet dan bij stijl-en-regelwerk het geval is. Hierdoor

is vaak een minder fraaie tolerantieovergangszone nodig tussen de geprefabriceerde gevelcomponenten en de aansluitende ruwbouw.

Door de verregaande fabrieksbouw van gevelcomponenten is een betere kwaliteitsbeheersing mogelijk en kunnen er geavanceerde technieken voor de gevelbouwwerkzaamheden en voor de functionele prestaties gebruikt worden. In de montagefase is de afhankelijkheid van het weer op de bouwplaats minder. Door componentenbouw zijn korte montagetijden op de bouwplaats mogelijk.

**Supercomponenten** Deze manier van bouwen gaat uit van zo groot mogelijke gevelcomponenten die geprefabriceerd op de bouwplaats aankomen. (fig. 3.33) De maximale afmetingen van de componenten worden bepaald door de transportmogelijkheden over de weg en de hijscapaciteit op de bouwplaats. De gevel bestaat uit compleet afgewerkte en minimaal verdiepingshoge en brede (gebouwstramienmaat) gevelcomponenten die aan de gevel in positie gesteld en verankerd worden. De gevelcomponenten zijn vaak gemonteerd op een (tijdelijk) subframe voor transport en montage met behulp van kranen. (fig. 3.34)

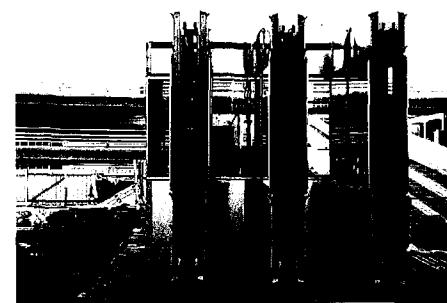
Voordeel van deze bouwwijze is de gecontroleerde fabricage van de supercomponenten en de snel te bereiken wind- en waterdichtheid van de gebouwomhulling. De onderlinge voegvulling is vaak onzijdig (bijvoorbeeld twee keer rubber), en niet van het type messing-en-groefverbinding zoals bij de componentenbouw.



3.28 Glasdakprofielsysteem.



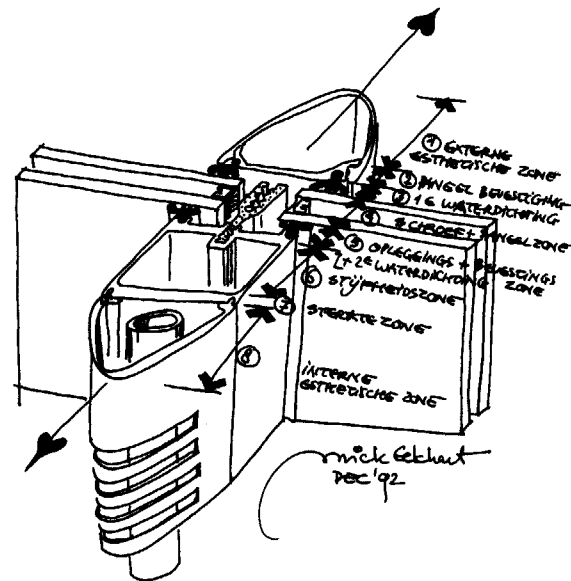
3.32A Montage van gevelcomponenten.



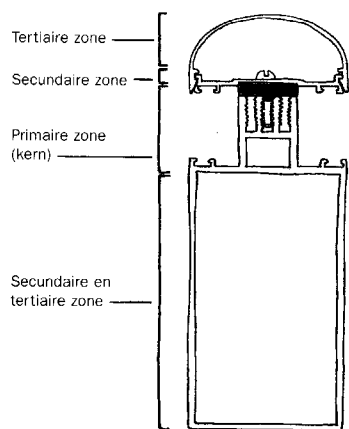
3.32B Opslag van gevelcomponenten.



Stalen hoofdconstructie en componentenbouwwijze. 10 Fleet street, London (UK)  
architecten: Adrian Smith / SOM



3.36 Functies van de afzonderlijke profielzones.



3.35 Zone-indeling van profielen.

## INDELING NAAR FUNCTIES

**Algemene benamingen** De primaire zone van een aluminium gevel is het technisch-functionele gebied waarin bouwphysische prestaties alsmede actieve functies zoals de bediening van opengaande delen, gerealiseerd worden. In de profielsysteemopbouw kunnen aanpassingen op projectniveau worden afgestemd op specifieke prestaties. De secundaire zones dienen voor de sterkte, voor de samenbouw en bevestiging aan de hoofdconstructie. De tertiaire zone is voorbehouden voor vormgevingsafwerkingen. (fig. 3.35)

De samenstellende profielelementen ontleen hun functie, bevestigingswijze en afwerking aan de zone waarin zij zich bevinden. (fig. 3.36)

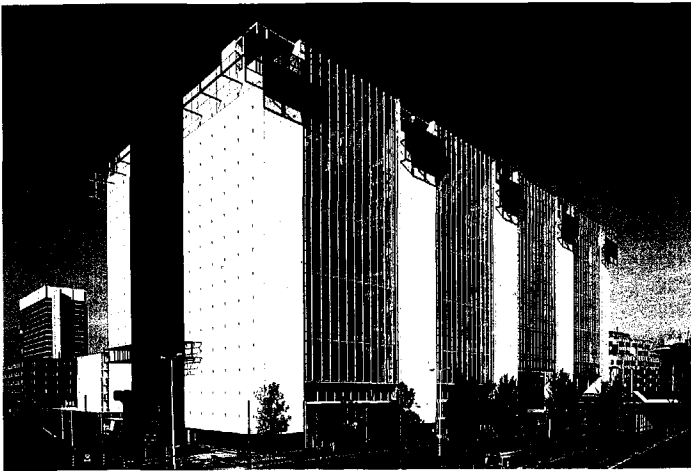
**Profielssystematiek** Gevelbouwbedrijven betrekken hun aluminium profielen direct bij extrusiebedrijven indien zij een eigen profielontwerp hebben verzorgd, of bij systeemhuizen indien ze handelsprofielen verwerken. Als er op projectniveau speciale profielen nodig zijn, dan ontwikkelen de engineeringafdelingen deze profielen per project als maatwerk. Ook deze profielen moeten als een systeem functioneren: het projectsysteem. De profielgeometrie wordt aan een extrusiebedrijf verstrekt voor de aanmaak van matrijzen voor de extrusie (en eventueel de samenstelling met thermische isolator) van de aluminium profielen. Er zijn maar weinig gevelbouwbedrijven in Europa met een eigen extrusieafdeling. In Amerika en Japan hebben de grotere gevelbouwers eigen extrusiepersen. Het samenstellen van de thermisch geïsoleerde profielen door het inrollen of ingieten van de thermische isolator wordt door een aantal gevelbouwbedrijven wel zelf uitgevoerd.

Systeemhuizen zijn ontstaan doordat bedrijven zich gingen specialiseren in de ontwikkeling en productie van totale gevelsystemen als halfproducten en het per project engineeren en fabriceren van de gebouwtoepassing overlieten aan gevelbouwers. In de loop van de tijd is door deze arbeidsdeling het aantal accessoires van deze handelssystemen zeer uitgebreid geworden, uitgebreider dan een individuele gevelbouwer op projectbasis kan ontwikkelen.

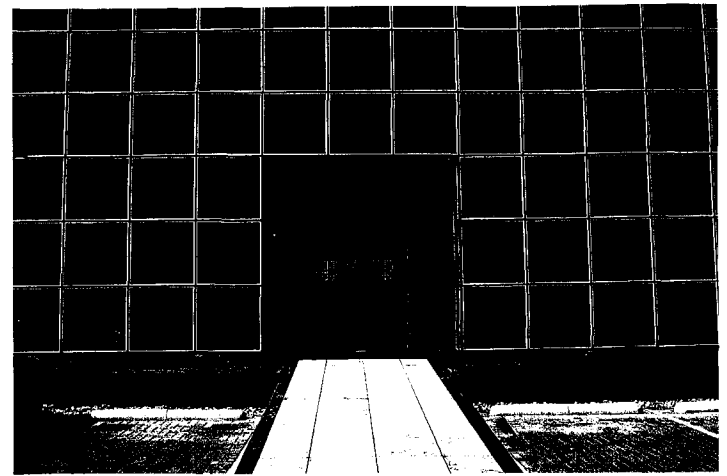
Een systeemhuis voert gewoonlijk meerdere systemen van op elkaar passende series profielen en accessoires. Er is bij **handelssystemen** vrijwel alleen variatie mogelijk in profielseries, oppervlaktebehandeling (kleur) en typen te openen delen. De variatie in profielvormen is beperkt, maar bewezen en getest. Er kan vrij snel uit voorraad geleverd worden, het systeem is beproefd. De prijs is inclusief de aanvankelijke systeem-engineering en ondersteuning van de applicatie-engineering die door de gevelbouwer geschiedt. Het is mogelijk bij de systeemhuizen systeemvarianten aan te vragen. Binnen het standaardprogramma worden dan meestal profielvormwijzigingen aangebracht die als speciaalprofielen op projectbasis aangemaakt en toegeleverd worden. In dat geval wordt de levertijd verlengd met de tijd voor de productie van de matrijzen en de extrusie van de speciaalprofielen. Gewoonlijk wordt de afwijkende standaardserie niet als handelsstelsel in het programma opgenomen; de speciaalprofielen worden op het project afgeschreven en de ontwerprechten worden tot het project beperkt, tenzij anders overeengekomen.

Een **kernsysteem** heeft vastgelegde constructie- en uitvoeringsprincipes voor de te leveren technische en functionele prestaties. Hierbij gaat het onder meer





Glasfaçadeconstructie: enkelglasfaçade en glasdakafsluiting van ruimte met overgangsklimaat, Ministerie VROM, Den Haag, architect: Jan Hoogstad



Imagoglasscherm, kantoorgebouw te Naarden.

om water- en winddichtheid en thermische isolatie, maar ook om vattingen voor hang- en sluitwerk en opname van dichtingsrubbers. Hoe deze principes worden beheerst is producentafhankelijk. Onder handhaving van deze principes van de primaire functionele zone zijn veel variaties mogelijk in vorm en uiterlijk van de profielen, de secundaire en tertiaire zones. Voor de accessoires worden zoveel mogelijk standaardonderdelen gebruikt. Dit betreft bijvoorbeeld isolatoren, hoek- en T-verbinders, rubber kaders, hang- en sluitwerk en ankerstoelen.

Een speciaal ontwikkeld projectsysteem is **maatwerk**. Bij het ontwerpen van een projectsysteem moet men rekening houden met een lange ontwerptijd, met het aantal verschillende profielen en met de minimaal af te nemen hoeveelheid aluminium (vaak 250 tot 500 kg per profielextrusie). Extrusiematrijzen zijn relatief goedkoop (zo'n f 1500,- tot f 5000,-). Na gebruik worden de matrijzen beperkte tijd bewaard. Dit is een aandachtspunt in verband met eventuele toekomstige behoeften (uitbreiding, schades e.d.).

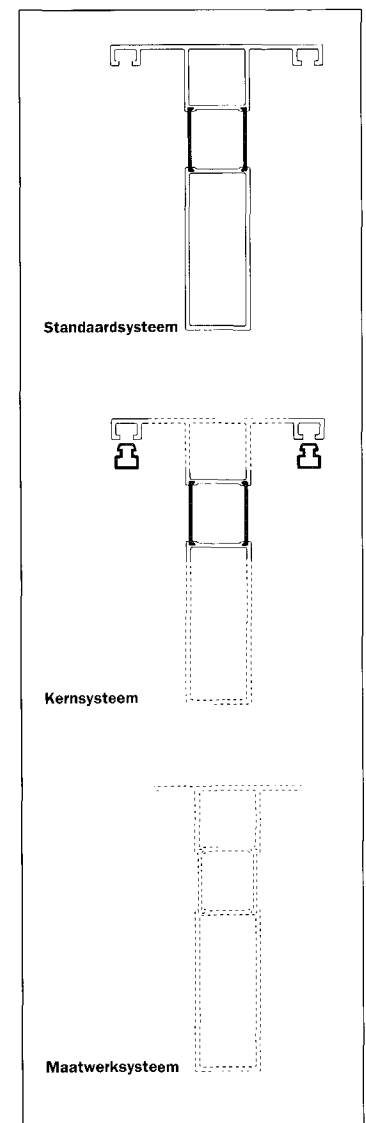
Voor nieuwe gevelconcepten waarbij aan heel specifieke eisen moet worden voldaan, zijn bestaande systemen en oplossingen vaak ontoereikend. Een geheel nieuw gevelsysteem dient dan opgezet te worden. Meestal geschiedt dit voor een heel speciaal of grootschalig project. Als zo'n nieuw projectsysteem een succes wordt, kan het gevelsysteem uitgewerkt worden tot een standaardsysteem. Derden zullen dan ook afgeleide oplossingen bedenken en uitwerken. Zodra een nieuw gevelconcept meer toegepast wordt, haken gewoonlijk de systeemproducenten erop in door standaardoplossingen te ontwikkelen, te produceren en op de markt te brengen.

Een **kernsysteem** is meestal een uitbreiding van een standaardsysteem: de technisch-functionele zone (kern) van het standaardsysteem wordt gehandhaafd, maar de vorm in de secundaire en tertiaire zones is afwijkend. Gevelbouwers die zelf gevelsystemen ontwerpen en ontwikkelen kunnen een eigen standaardsysteem, gebaseerd op bepaalde principes en voor bepaalde typen gevels, projectonafhankelijk uitwerken als kernsysteem. (fig. 3.38)

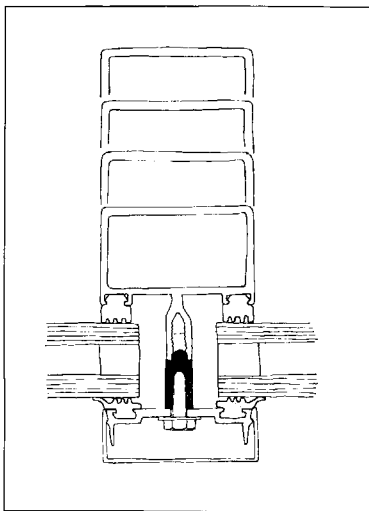
**Vorm en statica** Metalen profielen voor alu-glasfaçades moeten een aantal belastingen op de gebouwdraagconstructie overbrengen: de belasting van het eigen gewicht en het gewicht van de vlakvullingen, de windbelasting op de gevel en eventuele incidentele belastingen (glazenwassers, sneeuwlast op daken en luifels). Stijlen en regels worden voornamelijk belast door de wind (krachtrichting loodrecht op het bouwwerk) en het gewicht van de gevel (krachtrichting verticaal). Regels worden verticaal belast door het eigengewicht, het gewicht van panelen en beglazingen en door de windbelasting. (fig. 3.39)

Bij componenten met tussenregels, tussenstijlen en vlakvullingen moeten de belastingen per stijl en regel bepaald worden. Profielen houden vlakvullingen vast bij winddruk en windzuiging (klemlijsten, glaslaten binnen of buiten, haken, lijmen, schroeven of bouten). Met name de windzuiging is een bron van aandacht bij chemische bevestigingen (verkitte en verlijmde beglazingen).

Voor de bevestiging van gevelcomponenten dient bepaald te worden waar de vaste en waar de glijdende verankering aan het bouwlichaam plaatsvindt. Dit in verband met lengteveranderingen van elementen door



3.38 Profielsystematiek.



3.39 Profielen met toenemende sterkte en stijfheid.

thermische zettingen en de constructieve vervormingen in de hoofdconstructie. De ankerstoelen dienen op sterkte berekend te worden, evenals de bevestigingsmiddelen (ankerrail, kunststof instortschroefplug, spreidanker). Ook kunnen extra profielen (staal of aluminium) voor de sterkte aan gevelprofielen bevestigd worden. Sterkere profielen kunnen plaatselijk nodig zijn vanwege een grotere overspanning of omdat er in een raveling in de profielen een deur geplaatst wordt. Soms worden aluminiumprofielen inwendig versterkt met een ingeschoven stalen profiel. (fig. 3.40)

**Bevestiging- en stelmogelijkheden** De manier waarop de alu-glasfaçade aan de gebouwdraagconstructie bevestigd wordt, hangt af van een drietal factoren: de aard van de gebouwdraagconstructie, het bevestigingsmiddel en de aard van de te bevestigen gevelcomponent.

De gebouwdraagconstructie bestaat meestal uit een skelet van staal of beton, of uit een gesloten binnenspouwblad. De stijlen worden meestal ter hoogte van de vloeren aan de gebouwdraagconstructie bevestigd en aan de onderzijde gedilateerd. Bij gesloten constructies kan er vaker verankerd worden, waardoor men lichter kan construeren.

Bevestigingspunten zijn na de gevelmontage moeilijk bereikbaar. Ze staan evenwel bloot aan negatieve chemische inwerkingen uit de omgeving. Corrosie kan ontstaan door chloorinwerking (strooizout, zeewater, uitspoeling uit beton), slechte ontluchting (en daardoor vochtophoping) en door contactcorrosie van metalen met sterk verschillende spanningsgetallen. Om dit te voorkomen gebruikt men zo mogelijk bevestigingsmiddelen van roestvast staal of van aluminium.

De aard en de plaats van de gevelcomponent bepalen de benodigde sterkte en de noodzakelijke stelmogelijkheden van het bevestigingsmiddel. Supercomponenten hebben vaak doelbewust in drie dimensies nastelbare stalen ankerschoenen. Lichte gevelbeplating wordt afgehangen, geklemd, gelijmd, genageld of geschroefd.

**Vorm en bouwfysica** Wat de directe bouwfysische aspecten van alu-glasfaçadeprofielen betreft, gaat het in hoofdzaak om twee aspecten: warmteverlies moet worden gereduceerd en condensvorming op de profielen aan de binnenzijde moet worden voorkomen. Dit komt doordat metaal, en vooral aluminium, een goede warmtegeleider is en daardoor een relatieve koudebrug vormt in het gevelpakket.

Enkele vroege alu-glasfaçadesystemen hebben hun stijlen aan de buitenzijde. Deze hebben een groot buitenoppervlak en zullen daardoor veel warmte afstralen, waardoor ook het profieldeel aan de binnenzijde

de in temperatuur daalt en vrij zeker een condensatieoppervlak vormt.

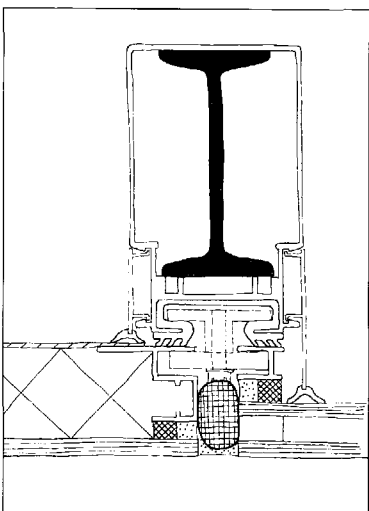
In de omgekeerde situatie, waarbij het dragende deel van de stijlen zich in de binnenruimte bevindt, heeft men door het kleinere buitenoppervlak veel minder last van condensatie. Condensatie komt dan alleen nog voor onder extreme omstandigheden (hoge luchtvochtigheid binnen, lage temperatuur buiten). Het profiel vormt meestal de zwakke schakel in de thermische isolatie van de gevel, die nog verder verzwakt wordt door de thermisch ongunstige randverbinding van de iso-beglazing. (fig. 3.41) In U-waardeberekeningen neemt men voor 50 mm glasrand rondom dezelfde U-waarde aan als voor het profiel. Vooral voor kleine glasvlakken is de negatieve invloed van de warmtegeleidende aluminium afstandhouder voor de glasrandverbinding groot. Er zijn ontwikkelingen om deze koudebrug van iso-beglazing te vervangen door isolerende afstandprofielen (zie hoofdstuk 5 glas).

**Koudebrugonderbrekingen** Vanaf eind jaren zeventig is het een goed gebruik om aluminium profielen toe te passen met een thermische onderbreking. De (meestal kunststof) isolator van alu-gevelprofielen wordt bevestigd door klemmen, schroeven, lijmen, inrollen, ingieten, inschuimen en combinaties daarvan. (fig. 3.42-45) Tegenwoordig worden hoofdzakelijk ingegoten isolatoren voor low-budgetconstructies en dubbele ingerolde polyamide isolatoren voor zwaarder belaste en duurdere gevelwerken gebruikt.

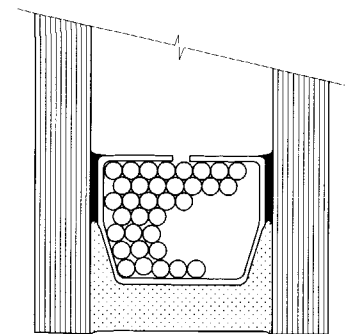
**Vorm en gebruik** De vorm van een profiel wordt, behalve door esthetische eisen, bepaald door de functies die het moet vervullen. Bij beglaasde daken vormt het binnenprofiel tevens een extra inwendige waterafvoer. Omdat de inwendige waterafvoer daar getrapt plaatsvindt hebben de stijlen gewoonlijk een grotere hoogte dan de regels. Regels voeren af in de stijlen, de stijlen voeren af op daken of in goten.

Er zijn profielsystemen waarbij het binnenprofiel wordt gebruikt om tevens als koel- of verwarmingsbuis te dienen. Zij hebben vooral een groot oppervlak. Vanwege de verbindingen worden dergelijke watergevulde systemen in staal en gelast uitgevoerd.

Massieve stalen warmgewalste stoeltjesprofielen werden voor enkelglas ramen, puien en gevels zowel vóór als vlak na de oorlog veel toegepast. De profielen zijn zeer rank. Na de energiecrisis raakte dit profiel in onbruik omdat het een behoorlijke koudebrug vormde en omdat het te smal was om dubbelglas in te bevestigen. Bovendien veroorzaken ze veel tocht door kromtrekken. Bij renovatieprojecten staat men daarom voor een moeilijk probleem. Onder invloed van de bouwfysische eisen draait de gevelrenovatie vaak uit op vervanging van het stoeltjesprofiel door een (breder) geïso-



3.40 Profielversterking door ingeschoven stalen profiel.



3.41 Thermisch ongunstige randverbinding van iso-beglazing.



3.50 Rubbergasketsysteem met te openen ramen.

leerd aluminium profiel. Maar architectonisch gezien moet het oorspronkelijke aanzicht van het rankere stalen profiel zoveel mogelijk benaderd worden. Het renovatieprofiel kan met schuine glaslatten uitgevoerd worden, eventueel nog met een afwijkende (=lichtere) kleur, om de aanzichtbreedte te beperken en daarmee de slankheid van het stoeltjesprofiel visueel te benaderen. (fig. 3.43)

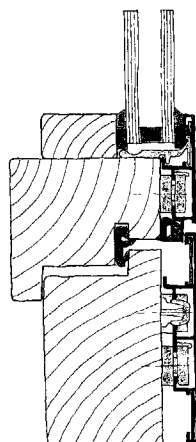
Andere extra functies die de profielvorm beïnvloeden zijn bijvoorbeeld geïntegreerde goten voor de geleiding van een glazenwassersgondel, zonweringsvoorzieningen en ventilatiekanalen.

## INDELING NAAR MATERIAALKEUZE

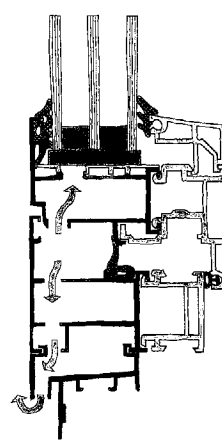
**Materialen en combinaties** De volgende combinatieprofielen worden gebruikt:

- staal - aluminium;
- hout - aluminium; (fig. 3.47)
- kunststof - aluminium; (fig. 3.48)
- kunststof - hout - aluminium.

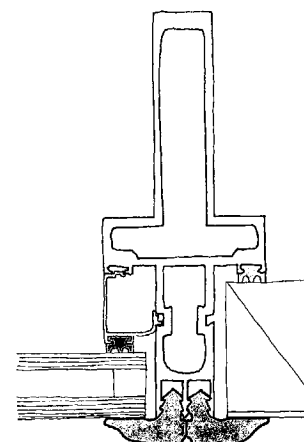
De combinatie van verschillende materialen in één gevelsysteem komt meestal voort uit de eis om de thermische isolatiewaarde te verhogen of uit esthetisch oogpunt. In Zuid-Europa worden veelvuldig alu-houtrafen toegepast: hout binnen, aluminium buiten. Bij kunststof profielen kunnen aan de buitenzijde aluminium kliklijsten worden bevestigd voor kleurafwerking van de kunststof. Bovendien worden bij grotere overspanningen stalen of aluminium profielversterkingen in de kunststof profielen ingebracht. Alu-staalsystemen worden gebruikt voor grote overspanningen (sterkte) en voor brandveilige constructies (temperatuurbelasting). In dit geval is staal het constructieve



3.47 Alu-houtraamsysteem: aluminium buitenafwerking.



3.48 Raamsysteem: kunststof binnen, aluminium buiten.

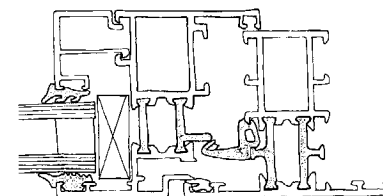


3.49 Rubbergasket-alu-profiel-systeem.

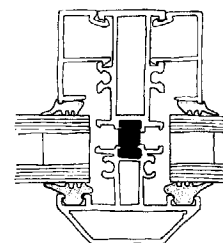
materiaal, aluminium klem- en dekljsten worden gebruikt voor de buitenafwerking. Stalen binnenprofielen worden gebruikt als verwarmings- en/of koelsysteem (staal heeft een lagere uitzettingscoëfficiënt dan aluminium en kan gemakkelijker gelast worden) en ook wel als de gevel aansluit op een staalskelet. De buitenzijde van deze systemen worden meestal met aluminium klem- en kliklijsten afgewerkt in verband met de betere corrosievastheid van aluminium en de grote vormvrijheid van aluminium profielen.

Bij het samenstellen van verschillende materialen tot een gevelsysteem dient het thermische gedrag van de elementen, de stijfheid van de combinatie en het corrosiegedrag beoordeeld te worden. Houten kozijnen die aan de buitenzijde afgedekt worden door alu-profielen kunnen gaan rotten als er geen ventilatie voor vochtafvoer tussen hout en aluminium is voorzien. De ontwikkeling van glasvezelversterkte getrokken (pulltrusie) kunststof profielen is vanwege de hoge matrijskosten en de grove vormen nog niet ver gekomen. Een voordeel van dit materiaal is de relatief grote sterkte en de lage uitzettingscoëfficiënt. Bij kunststof-aluminiumcombinaties dienen we ook de rubbergaskets te betrekken. (fig. 3.49) Hierbij wordt het kunstrubber zowel voor de inklemming van de vlakvullingen als voor thermische isolatie toegepast. (fig. 3.50) Deze techniek is al in de jaren vijftig overgenomen uit de auto-industrie.

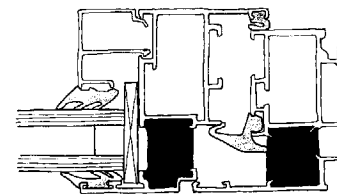
**Vlakvullingen** Bij het uitwerken van het gevelconcept is het aan de architect om uit de beschikbare materialen naar zijn 'idee' een gevelbeeld te componeren. Hierbij zijn de verschillende materiaaluitdrukkingen, oppervlaktestructuren en -texturen, kleuren,



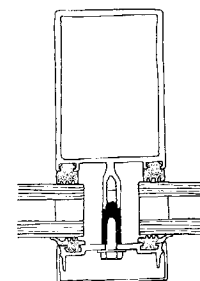
3.42 Ingerolde kunststof isolatoren.



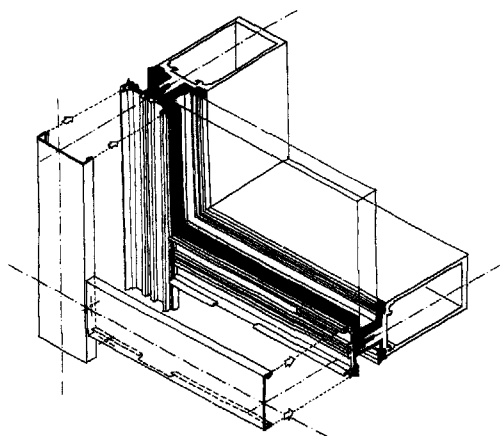
3.43 Ingegoten kunsthars isolator.



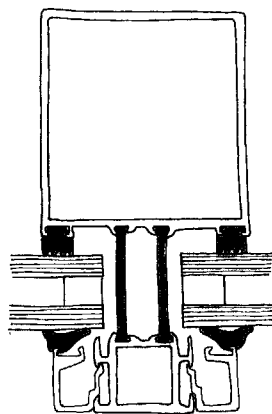
3.44 Geschuimde isolatoren.



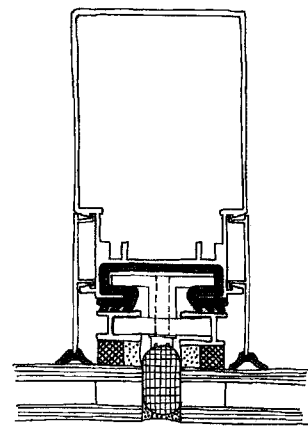
3.45 Geschroefde isolator



3.52 Beglazing met klem- en kliklijsten.



3.53 Beglazing met glaslatten.



3.54 Constructief verkitte beglazing.

maatvoering, detaillering en tektonische werking voor het gevelontwerp van belang. Het materiaalgebruik wordt ook bepaald door het type gevelsysteem. Een alu-glasfaçade met koude spouw biedt bijvoorbeeld veel meer mogelijkheden voor de combinatie van materialen (fig. 3.18) dan een onzuivere alu-glasfaçade met warme spouw. (fig. 3.23)

Het raam-, pui- of gevelframe vormt een lijnvormig raster van profielen waarin vlakvullende componenten kunnen worden bevestigd. Ramen en glaspanelen zijn doorzichtcomponenten; borstweringen en eventuele tussenpanelen zijn (vaak) ondoorzichtige componenten. De panelen worden veelal met klemlijsten of met glaslatten in een profiel bevestigd. Bij koudespouwfaçades worden de panelen van de buitenschil meestal aan de profielen bevestigd door middel van afhangen, lijmen of schroeven.

De doorzichtdelen bestaan bijna altijd uit glas:

- Glasruiten (enkelglas of dubbelglas) die door middel van klemlijsten of met glaslatten worden bevestigd. (fig. 3.52-53)
- Glaspanelen met een gekit achterkader die aan een achterconstructie worden bevestigd (constructief verkitte beglazing; zie elders in dit hoofdstuk). (fig. 3.54)
- Glaspanelen die kozijnloos en mechanisch bevestigd worden aan een achterconstructie (geschroefde en constructieve beglazing; zie elders in dit hoofdstuk). (fig. 3.55)

Borstweringsglas wordt veelal samengesteld uit geëmailleerd of gecoat glas. Het borstweringsglas wordt ondoorzichtig gemaakt door emaileren, het zwart coaten van de achterzijde (opacifier) of door de glasplaten met een gesloten achterplaat samen te stellen tot een sandwichpaneel (shadowbox). Wanneer

het borstweringsglas hetzelfde aanzicht moet hebben als het doorzichtglas wordt aangeraden voor beide componenten eenzelfde type coating (metaaloxidecoating) te kiezen. Wel kan er gevarieerd worden met de LTA-waarde (zie ook hoofdstuk 5 glas).

De dichte panelen worden toegepast tussen de doorzichtvlakken en als borstweringspanelen. We kunnen hier twee hoofdvarianten in ontdekken.

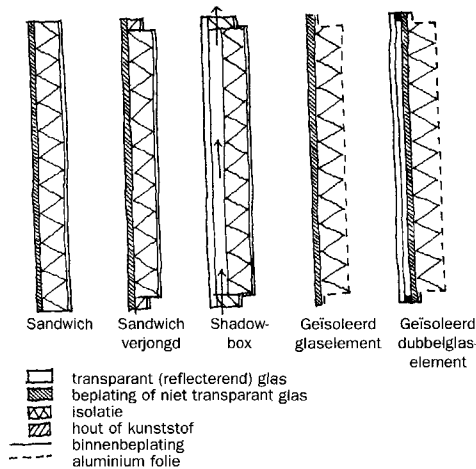
- **Enkelvoudige panelen** vormen in de gevel vaak een buitenhuid die de geïsoleerde achterconstructie beschermt (koudespouwfaçade). De panelen bestaan uit glas, geëmailleerd staal, roestvast staal, aluminium, glasvezel versterkte polyester, trespas of eterniet, keramische tegels, graniet, hout of een composietmateriaal. Sommige paneelmateriaal zijn voorzien van een versterking aan de achterzijde, in verband met de bevestiging. (fig. 3.56) Ook kan het zijn dat er anti-dreunmaterialen zijn aangebracht aan de niet-zichtzijde van metalen beplatingen om het lawaai van regen- en hagelbuien te verminderen. Dit is vooral het geval bij schuine of horizontale plaatvelden.

- **Samengestelde panelen** bestaan uit een buitenhuid, een kernlaag en een binnenhuid. (fig. 3.57) Bij sandwichpanelen zijn binnen- en buitenhuid op de isolerende kern gelijmd of wordt de kernruimte tussen de binnen- en de buitenplaat met een kunststof hardschuim volgeschuimd (PUR of PIR). De kernlaag kan ook bestaan uit een versterking, bijvoorbeeld een aluminium honingraatvulling.

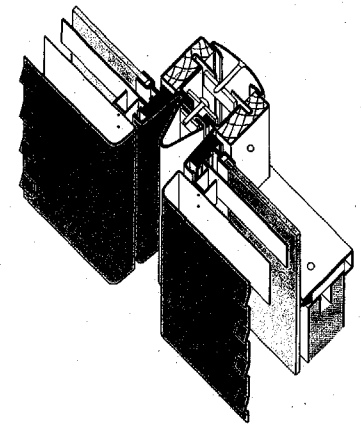
**Dilatatie, toleranties** Lengteveranderingen door temperatuurverschillen kunnen extra belasting van de constructie veroorzaken. Om dit te voorkomen moet men rekening houden met zettingsruimte voor panelen



3.55 Puntvormig bevestigde beglazing.  
project: Centre de Congres te Reims (F)  
architect: Claude Vasconi, Parijs



3.57 Samengestelde panelen.



3.56 Project Immeuble Mozart, Jean Prouvé.

in profielen en bij de verbindingen van profielen en van geprefabriceerde componenten. Stijlen zijn vaak twee verdiepingen lang, circa 7 meter. Bij een montagetemperatuur van 20 °C en een temperatuurverschil van 40 °C is de maximale verlenging van het profiel circa 1 mm per meter lengte, dus totaal 7 mm. Bij de verbinding van de stijlen moet men met deze beweging rekening houden, en wel zodanig, dat ter plaatse geen lekkages of hinderlijke geluiden kunnen ontstaan. Bij de bevestiging van stijlen aan de ankerstoel is het praktisch de bovenbevestiging als vast punt te kiezen, de onder- en eventuele tussenbevestigingen zijn dan schuivend uitgevoerd. Ook bij de regels moet men met een temperatuurafhankelijke lengte rekening houden. Afgehangen beplatingen dienen aan de bovenzijde verticaal vast en horizontaal schuivend verankerd te worden, de onderbevestiging wordt in twee richtingen schuivend uitgevoerd. Constructies met geschroefde beglazing zijn zeer gevoelig voor de bevestigingsmethode. Bij een onjuiste uitvoering ontstaat glasbreuk. In de glasplaten zijn de bovenste twee gaten gewoonlijk passend, de onderste twee ruim. In de bovengaten is er één nauw passend, de andere moet ook horizontale vervormingen toelaten. De functionele kwaliteit van een gemonteerde gevel is deels afhankelijk van het al dan niet optreden van thermische vervormingen. Verder moet men bij de maatvoering rekening houden met bewerkings- en montagetoleranties, bouwtoleranties van de hoofdconstructie en vloerdoorbuiging van het bouwkundige werk, respectievelijk kruip in de tijd bij beton.

**Prestaties van de alu-glasfaçade** De gebruiksprestaties liggen op het gebied van een gezond en comfortabel binnenklimaat, een laag energieverbruik en een lage milieulast. De belangrijkste prestaties van een façade zijn te onderscheiden in functionele, architectonische, constructieve, bouwfysische en bouwtechnische prestaties. De architectonische vormgeving bemoeit zich onder andere met de visuele beleving van de façade. De tectoniek ofwel opbouw van de gevel speelt daarbij een belangrijke rol. Bouwfysische prestaties laten zich in hoofdzaak onderverdelen in geluidisolerende, warmte-isolerende en warmteaccumulerende eigenschappen alsmede in zon- en daglichtaspecten. Bouwtechnische prestaties hebben allereerst te maken met stabiliteit en sterkte, waterdichtheid en luchtdoorlatendheid, maar ook met brandwerendheid, opbouw en passing van elementen, productie, assemblage en montage. Hiervan afgeleid zijn de materiaaltechnische prestaties. De gebruikte elementen moeten functionele prestaties leveren op het gebied van duurzaamheid, veiligheid, corrosiebestendigheid (in het geval van metalen gevels), compatibiliteit, reinigbaarheid en vervangbaarheid.

Niet alle prestaties wegen even zwaar. Bouwfysisch kunnen we bijvoorbeeld de volgende prioriteitsvolgorde aanhouden: luchtdichtheid, zon- en daglichttoetreding, ventilatie, thermische isolatie, geluidsisolatie.

**Stabiliteit** Alu-glasfaçades zijn in principe niet-dragende lichtgewicht gevelconstructies. Zij dragen niet bij aan de sterkte en stabiliteit van de gebouwdraagstructuur. Ze moeten in staat zijn de op de gevel uitgeoefende belastingen op de achterliggende draagconstructie over te brengen.

De permanente belasting wordt veroorzaakt door het eigen gewicht. Dit wordt beïnvloed door de materiaalkeuze: glas is zwaarder dan kunststof, aluminium is lichter dan staal. Incidentele belastingen kunnen veroorzaakt worden door het gebruik van hangbakken of het belopen van aangebouwde luifels en balkons. Profielsystemen met beglazing en dichte panelen leveren soms extra stabiliteit, maar deze mag niet meegeerekend worden bij het bepalen van de profieldimensionering. Tijdens het vervormen van de gevel, onder welke belasting dan ook, mogen bevestigingsmiddelen niet lostrillen. Het borgen van verankeringen na het afstellen wordt daarom aanbevolen. Zie verder hoofdstuk 7: statica.

**Water- en winddichtheid** De water- en winddichtheid van de gevel is een primaire eis. De mate van belasting van de gevel door het weer is afhankelijk van de ligging van het bouwwerk (kustlocatie of landinwaarts) en de gebouwhoogte. Verder zijn de omgevingsfactoren van invloed (bebouwde omgeving), de gevelvorm en -oriëntatie. Door een goede winddichtheid wordt tevens een goede waterdichtheid gecreëerd. Door gecontroleerde ventilatie van de gevelconstructie wordt bereikt dat vochtaanslag, condensvocht en waterdamp afgevoerd worden. De waterkering van gevelsystemen berust meestal op het principe van een dubbele kering en drukvereffening in de spouwzone. Door het compartimenteren van de spouw worden luchtbewegingen beperkt waardoor een hogere water- en winddichtheid verkregen wordt. De kwaliteit van geveldichtingen moet kritisch beschouwd worden. Door onzorgvuldige uitvoering, vroegtijdige veroudering, materiaal-incompatibiliteit en beschadigingen kan de geveldichting onvoldoende zijn. Uit de praktijk blijkt dat het ongunstig is om de water- en winddichting in dezelfde voeg te realiseren: water- en windbarrière moeten als het kan gescheiden worden.

Het binnendringen van water door het binnenspouwblad moet absoluut voorkomen worden, daarom wordt de waterkering door het buitenspouwblad met aanliggende detailleringen verzorgd. Deze eerste barrière noemen we de 'first line of defence'. Het buitenspouwblad werkt als een scherm. Water kan door luchtdrukverschillen en wind naar binnen dringen, en moet dan weer naar buiten afgevoerd worden. Om de waterhuishouding te kunnen beheersen worden veel gevels onderverdeeld in waterdichte compartimenten.

Gaten en kieren in de gevel zorgen voor tocht in de binnenruimte. De voegen in de binnenschil moeten daarom luchtdicht worden afgesloten. Dit is de 'second line of defence'. Het beste kan dit gebeuren in twee stappen zodat er in de spouw een ontspanningskamer ontstaat waar de luchtbeweging tot rust komt.

De wind veroorzaakt een luchtdrukverschil (druk of zuiging) tussen de buitenlucht en de luchtspouw. De door de buitenschil binnendringende lucht komt tot rust in de luchtspouw. Om te bereiken dat de luchtbeweging zijn drijvende kracht verliest moet men ervoor zorgen dat de luchtdruk binnen de gevel gelijk wordt aan de buitenluchtdruk. Dit doet men door gaten of voegen in de buitenschil te maken zodat er bij spouwonderdruk meer volume lucht kan toestromen en er bij spouwoverdruk onmiddellijk lucht kan wegstromen. De beweging van lucht om zulke acute luchtdrukverschillen op te heffen heet drukvereffening. Door drukvereffening is het mogelijk dat gevelbeplating met open voegen en een achtergelegen spouw waterkerend werkt en dat in profielkaders binnengedrongen water naar buiten afwatert.

Bij gebouwhoeken kan de combinatie van winddruk en windzuiging grote krachten veroorzaken. Om ervoor te zorgen dat er geen grote horizontale luchtbewegingen in de gevelzone van een koudespouwfaçade ontstaan, wordt de spouw bij de gebouwhoeken dichtgezet met verticale lamellen die over de gehele hoogte doorgezet worden. Bij grotere bouwwerken kan het nodig zijn op meer plaatsen een spouwafsluiting aan te brengen teneinde de compartimenten te verkleinen.

**Akoestisch comfort** In het Bouwbesluit zijn de waarden opgenomen waaraan de buitengeluidwering van de gevelconstructie moet voldoen. Zie hoofdstuk 7 bouwphysica. Het hinderlijk kraken, piepen en fluiten van de gevelconstructie dient bouwtechnisch voorkomen te worden. Enkelvoudige beplating moet van anti-dreunmateriaal voorzien worden als verwacht wordt dat door neerslag hinderlijk geluid ontstaat. Voor verticale metalen beplating is dit meestal niet nodig.

**Ventilatie** De kwaliteit van de binnenlucht is een belangrijk onderdeel van het comfort. We kunnen denken aan de volgende aspecten:

- mate van luchtbeweging (tocht);
- zuurstofgehalte;
- temperatuur van de lucht;
- verontreinigingen in de lucht, onder andere ozon, vreemde gassen, maar ook stof, bacteriën;
- luchtvochtigheid;
- geur.

Gebouwen gebruikers geven er de voorkeur aan, zelf de luchtkwaliteit te kunnen (bij)regelen. Opengaande ramen zijn het meest geliefd, ventilatieschuiven zijn acceptabel. Welke voorzieningen mogelijk zijn hangt van veel factoren af. Vooral bij hoge bouwwerken zijn opengaande ramen moeilijk uitvoerbaar in verband met de hoge windbelasting en de veiligheid. Dubbele alu-glasfaçades zijn daar een vooruitgang: door de extra buitenspouwruimte kan het raam onafhankelijk

van de weersgesteldheid bediend worden. De verhoogde buitengeluidlast door open ramen blijkt niet op te wegen tegen de comfortwaardering van deze voorziening. Raamventilatie kan ook benut worden voor nacht-coeling.

**Lichtregulering** Van de totale zonnestraling die de doorzichtigdelen van een gebouw bereikt valt een deel het vertrek binnen. Dit is afhankelijk van het type glas en de eventueel aanwezige zonwering. De mate van daglichttoetreding wordt geregeld door de zonregulerende voorzieningen. Zonregulering is ook van belang om opwarming van de vertrekken en vergroting van de koellast te voorkomen.

Zon- en daglichtcomfort zijn van het grootste belang voor de werkplek. Dit aspect wordt uitvoerig in hoofdstuk 6 over zonregulering behandeld.

**Brandveiligheid** De voorschriften ten aanzien van brandveiligheid zijn vastgelegd in het Bouwbesluit. Er zijn vijf gebieden waar de gevel bij brandbelasting kan falen:

- De gevelbevestiging kan het begeven.
- De geveldichting tussen vloer en gevelcomponent kan het begeven.
- Een brandend gevelement kan brand doorgeven naar een bovengelegen verdieping.
- De brand kan van binnenuit doorslaan door de gevelcomponent.
- De brand kan van buitenaf doorslaan door de gevelcomponent.

Naast het voorkomen van brand heeft brandpreventie als hoofddoelen het voorkomen van persoonlijke ongelukken bij brand en het beperkt houden van vuur- en rookschade. Zie verder hoofdstuk 7.

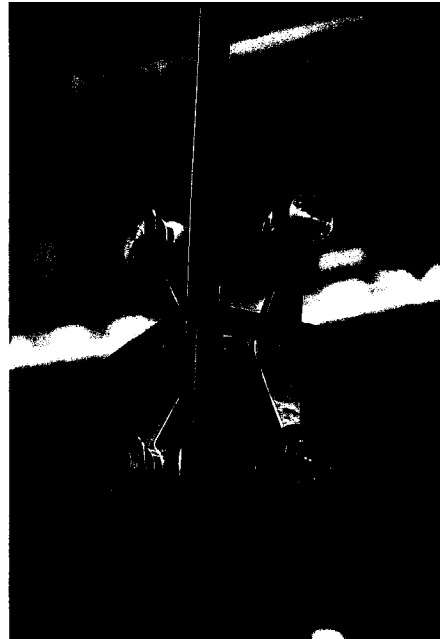
**Gebruiksveiligheid** De voorwaarden ten aanzien van de gebruiksveiligheid van de gevel staan in het Bouwbesluit. Mede door de verhoogde produktaansprakelijkheid is gebruiksveiligheid een aspect dat veel aandacht verdient. Hierbij gaat het niet alleen om de veiligheid van de gebouwgebruiker, maar ook om die van gevelreinigingspersoneel en bezoekers.

**Duurzaamheid** De levensduur van de gevel dient al in het ontwerpstadium aandacht te krijgen. Door de toename van gebruik- en gebruikerswisselingen in kantoorgebouwen zijn functionele aanpasbaarheid, flexibiliteit en demonteerbaarheid van gevelcomponenten en elementen een voorwaarde. Mede met het oog op het milieu dienen gevels en gevelcomponenten een optimale duurzaamheid te bezitten. De keuzes die ten aanzien van duurzaamheid gemaakt moeten worden variëren van het eenmalig gebruik zon-

der onderhoud (bijvoorbeeld een filter) op elementniveau tot een adequaat onderhouden gevelbekleding uit duurzame materialen (bijvoorbeeld natuursteen) met een gestelde levensduur die gelijk is aan die van de hoofdconstructie. Het is niet reëel ervan uit te gaan dat de ontwikkelingen de komende generatie (20-25 jaar) stil zouden staan, als men nagaat wat er sinds 1973 allemaal is gebeurd. Uit onderzoek is gebleken dat metalen gevels vanwege gewijzigde gebruikseisen na 20 tot 30 jaar vervangen of gerenoveerd worden. De technische levensduur is beduidend langer. Opmerkelijk is dat de levensduur van iso-beglazing, steeds gesteld op ca. 25 jaar en mede daardoor vervangbaar geplaatst, gunstiger blijkt te zijn. De in de jaren zestig nog primitief geplaatste iso-beglazing blijkt bijna altijd nog goed te functioneren. Voor het nu geplaatste glas moet deze termijn dus zeker gehaald kunnen worden. De levensduur van de gevel dient een investeringsbeslissing te zijn en daarmee een van de ontwerpuitgangspunten. Tot nu toe lag het zwaartepunt van de inzet op de bouwopleveringskwaliteit, de gebruiksduur van het produkt werd alleen betrokken bij de garantiestelling, die kort was en veel kleine lettertjes bevatte. Tegenwoordig dient de levensduur op componentniveau in de aanbestedingsfase bekend te zijn, omdat de uitvoerende partijen verantwoordelijk worden gehouden voor de gebruikskwaliteit tijdens de overeengekomen prestatieperiode.

Een belangrijk aspect van de duurzaamheid van een metaal-en-glasgevel is de gevelreiniging. Algemeen bekend is dat de glasdelen van de gevel regelmatig (4 keer per jaar) gewassen moeten worden. Minder bekend is dat aluminium ook een paar keer per jaar met water en sop gereinigd en gespoeld moet worden. Zo wordt namelijk voorkomen dat de chemische stoffen uit de oppervlakteverontreiniging in gaan werken op de bescherm laag van het aluminium. Zie verder hoofdstuk 4 onder reinigingsonderhoud.

**Visuele beleving** Het uiterlijk van een gevel is relevant voor voorbijgangers en gebouwgebruikers. Het welbehagen van de gebouwgebruiker wordt mede bepaald door de persoonlijke beleving van de werkomgeving. Ontwerp, indeling, materiaalkeuze, functionaliteit, kleur, zicht en licht zijn van grote invloed op het werkklimaat. Een technisch en functioneel goede gevel is pas duurzaam als kwalitatief ook aan de beoogde belevingsaspecten voldaan wordt: de gevel als communicatief en informatief medium. Toonaangevende architecten besteden de laatste jaren veel aandacht aan dit aspect.



3.59 Puntvormig bevestigde glasfaçade.

## DE CONSTRUCTIEF VERKITTE GLASFAÇADE

**Algemeen** De constructief verkitte glasfaçade wordt in Nederland veelal aangeduid met 'Structural Glazing' of met 'Structurele Beglazing'. Beide termen zijn onduidelijk, in de praktijk worden ze ook regelmatig voor andere façadesystemen gebruikt. Om aan deze verwarring een eind te maken volgen nu eerst de omschrijvingen van twee gevelprincipes die nogal eens met elkaar worden verwisseld doordat ze qua buiten-aanzicht op elkaar lijken; in constructieve opbouw zijn deze systemen echter sterk verschillend. We maken het onderscheid in het principe van een **lineaire** en een **puntvormige** bevestiging.

Bij de **constructief verkitte glasfaçade** (fig. 3.58) worden de glaspanelen met siliconenkit aan een metalen achterconstructie gekit. Het glaspaneel, met aan de achterzijde het verkitte lineaire bevestigingsprofiel, wordt via dit profiel mechanisch bevestigd aan een stijl-en-regelwerk of aan een metalen frame van een gevelcomponent. Het binnenaanzicht wijkt daarmee in veel gevallen niet af van de traditionele glasfaçade. Aan de buitenzijde zijn geen gevelprofielen zichtbaar, het glasvlak wordt aan die zijde alleen onderbroken door voegen tussen de glaspanelen.

Andere termen die voor de constructief verkitte glasfaçade gebruikt worden zijn: Structural Sealant Glazing (SSG-systemen), Structural Silicone Glazing en Vitrage Extérieur Collé (VEC). Al deze termen hebben met elkaar gemeen dat het zo kenmerkende aspect van het verkitten wordt genoemd in de aanduiding.

Bij de **puntvormig bevestigde glasfaçade** (fig.

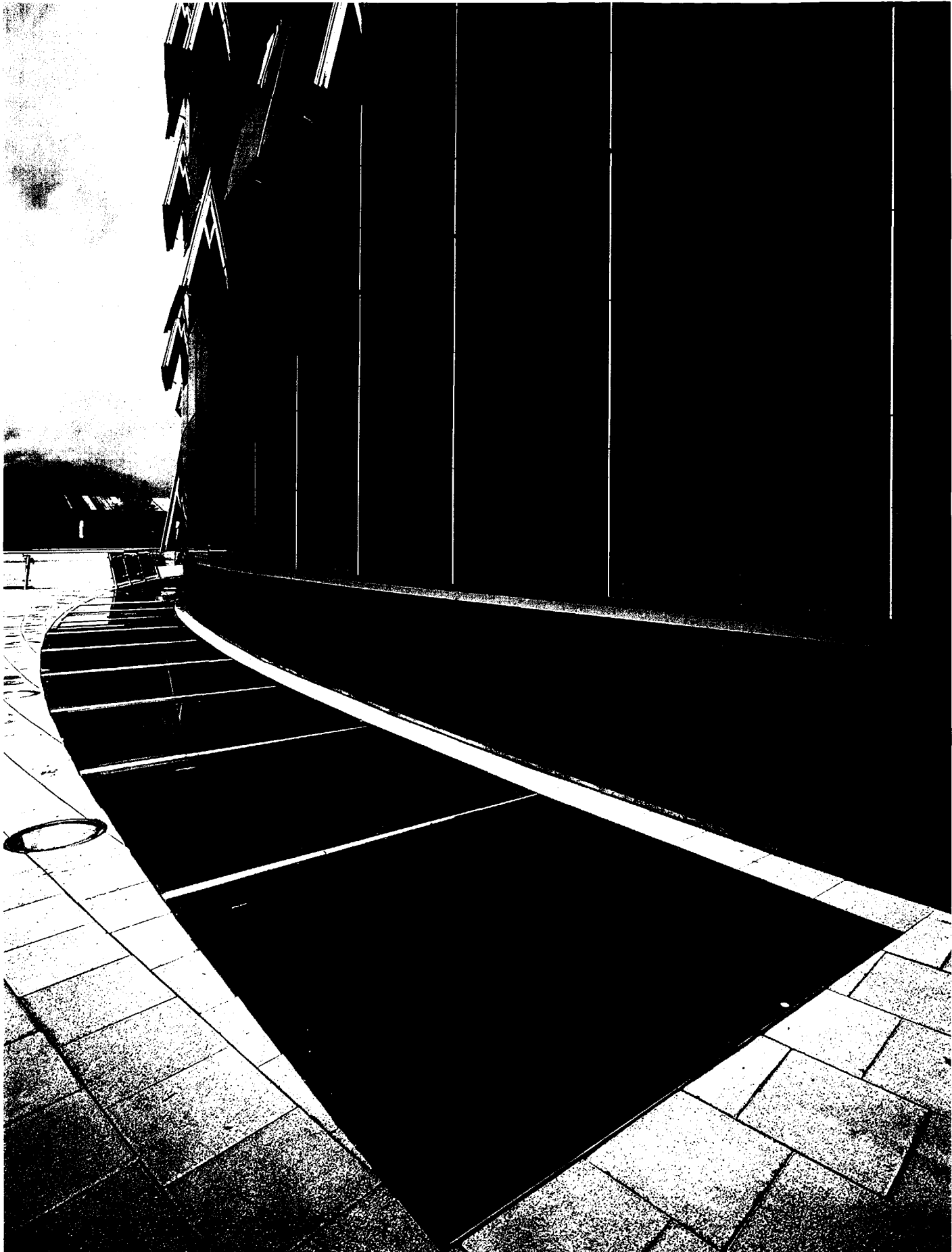
3.59) worden de glaspanelen puntsgewijs aan een niet-geïntegreerde achterconstructie bevestigd. De glaspanelen worden dus geheel frameloos bevestigd: stijlen en regels in het vlak van de gevel ontbreken. Daarom worden deze systemen ook wel aangeduid met kozijnloze glasfaçade.

De verwarring in de twee benoeringen (constructief verkitte en puntvormig bevestigde glasfaçade) ontstaat doordat het buitenaanzicht van de façadetypen een vlak glazen vlies betreft. Hiermee houden de overeenkomsten tussen de systemen op. Bij de constructief verkitte glasfaçade wordt veelal reflecterende beglazing toegepast om zo de achterliggende constructie te verbergen. Dit is een groot verschil met de puntvormig bevestigde glasfaçade, waarin juist blank glas wordt toegepast omdat de draagconstructie uiterst filigrain kan zijn, de transparantie van de façade zeer belangrijk is en de beeldbepalende constructie niet mag verdwijnen achter getint glas. Zie verder de paragraaf over de puntvormig bevestigde glasfaçade. Beide typen glasfaçades worden meestal met een op het werk aangebrachte kitvoeg waterdicht gemaakt (deze weatherseal heeft niets te maken met de constructieve kitvoeg).

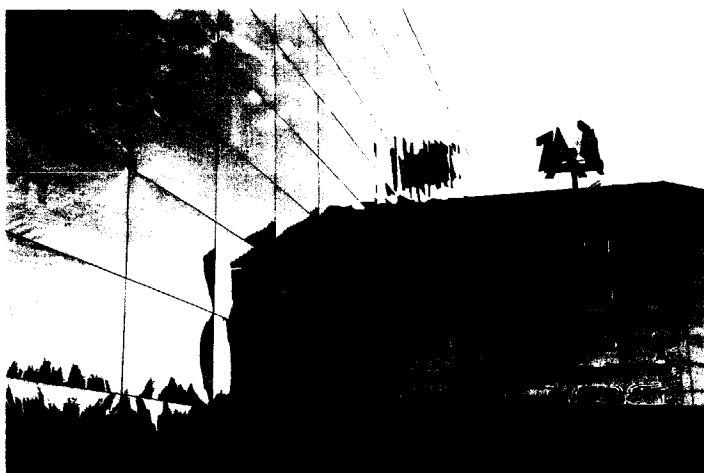
### Historische ontwikkeling van de constructief verkitte glasfaçade

De wens om een volledig glazen gevel te ontwikkelen (eine Ganzglasfassade) stamt uit de pre-Bauhausperiode. 'Das Glas bringt uns die neue Zeit, Backsteinkultur tut uns nur Leid' en 'Ohne einen Glaspalast ist das Leben ein Last'. [3.13] Ludwig Mies van der Rohe was één van de architecten die deze gedachte in zijn ontwerpen wilde realiseren. Zijn ontwerp van een transparante





3.58 Constructief verkitte glasfaçade, Hoofdgebouw Bauholding AG, Spittal (Au).



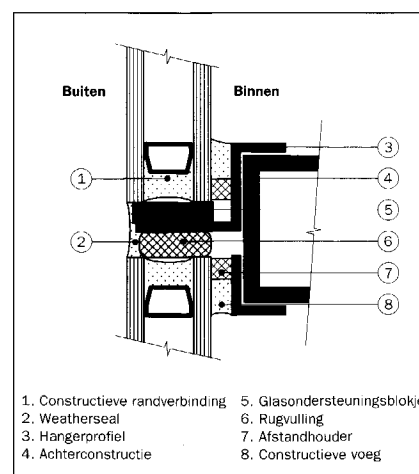
3.60 Zwolsche Algemeene, Nieuwegein, 1984.  
architect: P. Gerssen

glazen wolkenkrabber (Berlijn, 1922) werd door de jury als utopisch terzijde geschoven. Hij streefde een volkomen gladde, glazen gevel na die de constructie bloot zou leggen: 'Een architectonische versmelting van het constructieskelet en de gevel'. De raamstijl werd zo dun mogelijk gedacht, maar bleef van buiten zichtbaar.

Het volledig glazen gevelaanzicht kwam pas in zicht door de ontwikkeling van de siliconenrubbers in de jaren vijftig. Deze siliconen elastomeer bleek uitermate geschikt voor de samenstelling van kittens, onder andere voor het verkitten van glas. Dit vanwege de uitstekende hechting met het glas, de thermische stabiliteit, de elasticiteit en de UV- en ozonbestendigheid. Met deze siliconenkit werd het verkitten van glas op een achterliggende constructie mogelijk. Dit bracht de 'volledig' glazen gevel binnen de technische mogelijkheden van de architect. Met de constructief verkitten glasfaçade is weliswaar aan de buitenzijde een volledig glazen aanzicht gerealiseerd, binnen zijn nog steeds stijlen en regels noodzakelijk.

De nieuwe kittechniek is de basis van de constructief verkitten glasfaçade en werd als zodanig in de bouw voor het eerst toegepast in de jaren zestig in Amerika. In eerste instantie als enkelglas bekledingssysteem, voor gebouwrenovaties. Andere industrieën maakten al langer gebruik van de siliconenkit zoals de lucht- en ruimtevaart en de autoindustrie.

Door het stijgende aantal gebouwrenovaties in de jaren zeventig nam de vraag naar de constructief verkitten glasfaçade sterk toe, vooral dankzij de geringe onderhoudsbehoefte en de prestigieuze uitstraling. In de jaren tachtig, de periode van de uitbundige glasarchitectuur, groeide de behoefte aan 'totaalglasafwer-



3.62 De basiselementen van de constructief verkitten glasfaçade.

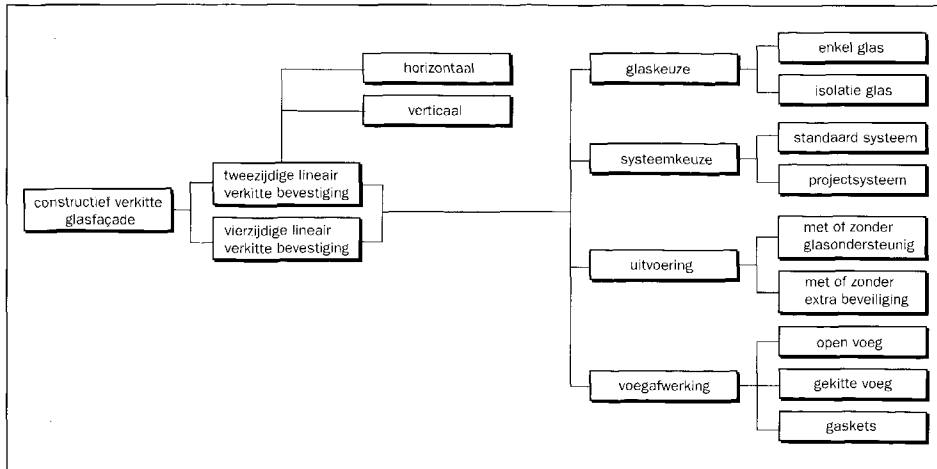
kingen'. Ten behoeve van de nieuwbouw verschijnen de eerste constructief verkitten glasfaçades met isolatieglas en paneeltoepassingen. In Amerika was het vooral de glasfabrikant PPG, in samenwerking met de siliconenkitproducent Dow Corning, die deze ontwikkeling stimuleerde en verschillende systemen op de markt bracht.

De eerste toepassing in Nederland dateert uit 1984, het kantoorgebouw van de Zwolsche Algemeene in Nieuwegein (architect: Peter Gerssen). (fig. 3.60) Hierbij werd reflecterend enkelglas als esthetische 'regenjas' met gesloten voegen om het geïsoleerde betonnen bouwlichaam met raamunits getrokken. Een ander bekend vroeg voorbeeld is het Muziektheater in Den Haag: een constructief verkitten iso-glasfaçade met zonreflecterende beglazing. (1986, architect: Van Mourik Vermeulen). (fig. 1.34)

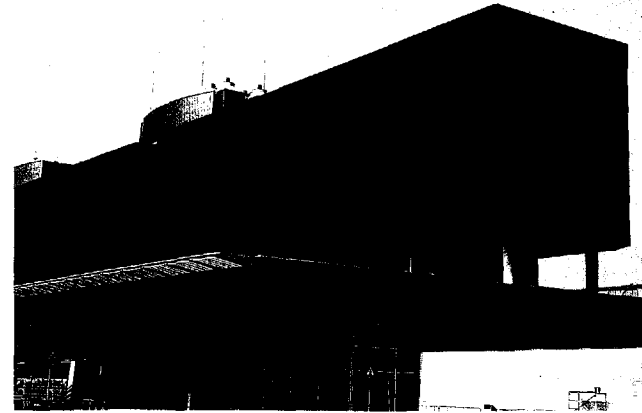
### De basiselementen van de constructief verkitten glasfaçade

Het met siliconenkit verkitten van een bevestigingsprofiel (hangerprofiel) achterop het glaspaneel is elementair voor deze glasfaçade. De constructieve kitvoeg tussen het glaspaneel en het bevestigingsprofiel heeft als primaire functie het overbrengen van de positieve en negatieve windbelasting van het glaspaneel naar de achterconstructie. Het hangerprofiel wordt gemonteerd aan de achter het glas gelegen constructie, bestaande uit stijlen en regels. Het glaspaneel wordt ondersteund zodat het eigengewicht niet via de kitvoeg hoeft te worden afgedragen. Bij sommige systemen moet de kit naast de windbelasting echter toch het eigengewicht van het glaspaneel dragen.

Als beveiliging is een extra mechanische borging



3.63 De diverse uitvoeringsmogelijkheden binnen de constructief verkitte glasmafçade.



3.64 Kantoorgebouw Schiphol, 1994.  
architect: Benthem Crouwel Architecten

van het glaspaneel mogelijk en in sommige landen zelfs vereist. Deze extra meestal plaatselijke borging tegen horizontale windzuiging en verticaal verzakken bij brand treedt alleen bij onthechting van de kit in functie. Het glaspaneel wordt daardoor tijdelijk op zijn plek in de gevel gehouden. Hiervoor zijn in de loop der tijd talloze uitvoeringsvarianten ontwikkeld. (fig. 3.61)

Bij de constructief verkitte glasmafçade zijn de volgende materialen, elementen en subcomponenten te onderscheiden: het glaspaneel, de siliconenkit, het bevestigingsprofiel, de achterconstructie en in sommige gevallen de extra mechanische borging. (fig. 3.62) Deze materialen, elementen en subcomponenten moeten op onderlinge verenigbaarheid zijn afgestemd.

### **Uitvoeringsoverzicht constructief verkitte glasmafçade**

Figuur 3.63 geeft een overzicht van de verschillende uitvoeringen en keuzemogelijkheden van de constructief verkitte glasmafçade. Indien er gekozen wordt voor een standaardstelsysteem bepaalt het stelsysteem welke varianten en uitvoeringen er mogelijk zijn. De belangrijkste keuze is die tussen twee- en vierzijdig lineair verkitte bevestiging.

### **Tweezijdig constructief verkitte glasmafçade**

Bij de tweezijdige bevestiging zijn twee tegenover elkaar liggende zijden van het glas (meestal de verticale) door middel van een constructieve kitvoeg aan de achterliggende constructie bevestigd. De twee andere zijden van het glas (gewoonlijk horizontaal) zijn in een conventioneel profiel gevat. De keuze tussen horizontaal of verticaal is afhankelijk van het gewenste gevelbeeld. Bij de keuze voor een verticaal verkitte bevestiging krijgt het gebouw een sterk horizontaal accent

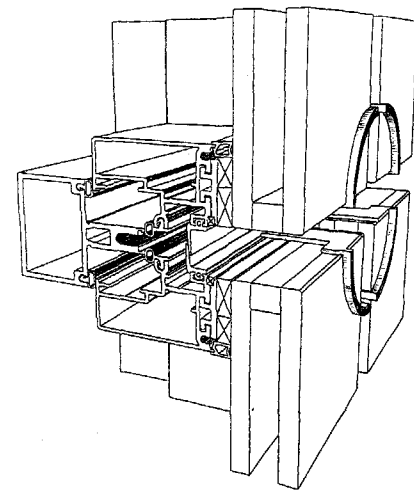
omdat het glas niet meer onderbroken wordt door stijlen, enkel dunne kitvoegen. Deze glasstroken vormen een horizontaal 'gekleurde' band over de gevel. Een mooi voorbeeld hiervan is het kantoorgebouw op Schiphol van Benthem Crouwel Architecten, Amsterdam, 1994, zie figuur 3.64. Bij glasdaken worden daarentegen veelal de horizontale zijden als kitvoeg afgewerkt in verband met een ongehinderde afwatering. Dit geeft een effect van verticale lijnen door de doorlopende verticale bevestigingsprofielen die de mechanische borging tegen windzuiging vormen.

In Amerika wordt de tweezijdig constructief verkitte glasmafçade veel toegepast omdat zij zich beter leent voor constructieve kitapplicatie op het werk ('field glazing'). Er zijn dan geen tijdelijke bevestigingen nodig tijdens het uitharden van de siliconenkit. Het glaspaneel wordt aan twee zijden, horizontaal of verticaal, mechanisch op zijn plaats gehouden door de glaslijsten. Ook in Japan is het tweezijdige systeem erg populair; de vierzijdige uitvoering wordt vanwege het grote risico van aardbevingen niet gebruikt.

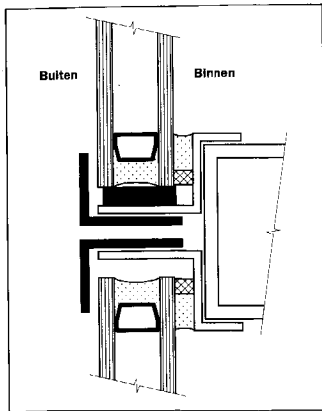
Bij het gebruik van blank doorzichtglas bestaat de mogelijkheid om bij glaspanelen hoger dan 2 meter ook de stijlen (bij horizontale tweezijdige systemen) in glas uit te voeren.

### **Vierzijdig constructief verkitte glasmafçade**

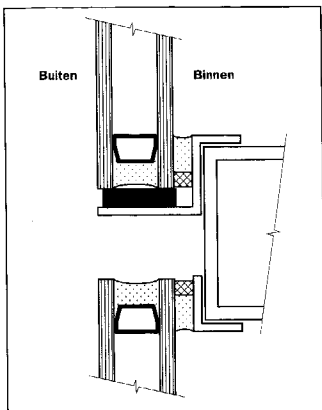
Bij de vierzijdige bevestiging is het glaspaneel aan vier zijden constructief verkit aan de metalen hangerprofielen, die op zich weer mechanisch zijn bevestigd aan de achterconstructie. Dit systeem werd in eerste instantie als enkelglas gevelrenovatiesysteem in Amerika op de markt gebracht (oude gebouwen konden zo snel, eenvoudig en goedkoop van een nieuw uiterlijk worden



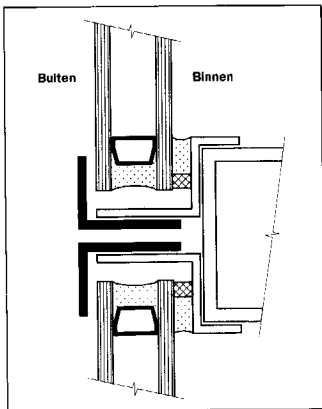
3.61 Voorbeeld van een systeem met extra mechanische bevestiging in de vorm van een open rozet.



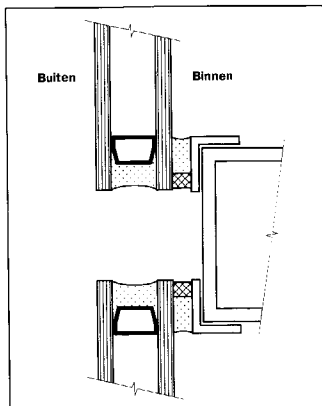
3.66A *Systeem met glasondersteuning en extra beveiliging.*



3.66B *Systeem met glasondersteuning.*



3.66C *Systeem met alleen een extra beveiliging.*



3.66D *Systeem zonder glasondersteuning en zonder extra beveiliging.*



3.67 *Dakbeglazing hoofdkantoor Nationale Nederlanden, Budapest (H), 1994. architect: Mecanoo*

voorzien). Al snel bleek dat er ook voor nieuwbouwprojecten belangstelling bestond voor dit soort gevelconstructies. De technische en esthetische mogelijkheden bleken doorslaggevend te zijn voor de vraag naar deze gevel.

Nadat de vierzijdig constructief verkitte glasfaçade oorspronkelijk alleen met enkelglas werd toegepast, ontstond door de verhoogde isolatie-eisen na 1975 behoefte aan systemen met dubbele beglazing, een complicerende factor die veel uitvoeringsvarianten met zich meebracht. De meeste van deze varianten kunnen worden ingedeeld in de volgende vier basisuitvoeringen:

**1** Een uitvoering waarbij het eigengewicht van het glaspaneel op mechanische wijze direct wordt afgedragen aan de achterconstructie, waardoor slechts de positieve en negatieve windbelasting door de kitvoeg moet worden opgenomen en afgedragen. Er is een extra beveiliging aangebracht om in het geval van het falen van de kit het glaspaneel tijdelijk tegen uitvallen te behoeden. (fig. 3.66A)

**2** Een uitvoering als 1 alleen zonder extra beveiliging. (fig. 3.66B)

**3** Een uitvoering waarbij de kitvoeg zowel het eigengewicht van het glaspaneel als de windbelasting moet opnemen en afdragen aan de achtergelegen constructie. Er is een extra beveiliging aangebracht zoals bij 1. (fig. 3.66C)

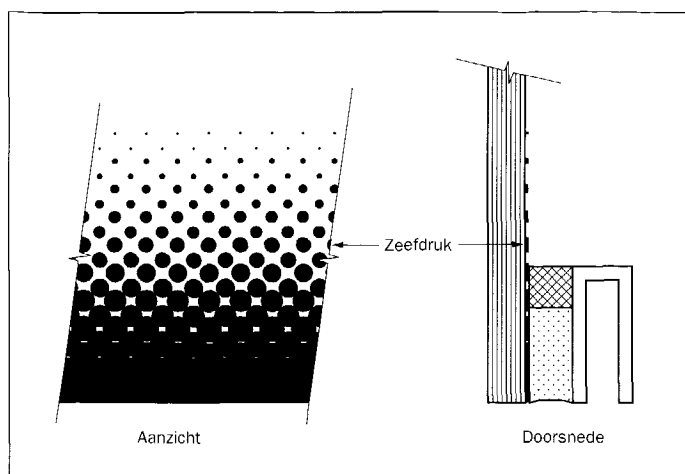
**4** Een uitvoering als 3 echter zonder de extra beveiliging. (fig. 3.66D)

De uitvoeringen 3 en 4 komen tot op heden niet veel voor.

#### **Constructief verkitte glasfaçades voor hellende gevels en daken** Voor hellende gevels en

daken komt zowel het tweezijdige als het vierzijdige systeem in aanmerking. In beide gevallen zal het glas ondersteund moeten worden en wel zodanig dat de kitvoeg niet belast wordt door schuifspanning door het eigengewicht van het glaspaneel. Bij toepassing van het tweezijdige principe worden meestal de horizontale voegen met een weatherseal afgewerkt; de verticale voegen worden door een waterdichtend schroefprofiel afgedekt en met een kliklijst afgewerkt. De meeste systemen zijn voorzien van een dubbele afdichting, de weatherseal is de eerste dichting en een tweede dichting zit achter het glaspaneel in het achtergelegen profiel. Het systeem zal in dat geval moeten voorzien in een inwendige waterafvoer (lek- en condenswater), uitlopend in een goot. (fig. 3.67)

**Glaskeuze** De glaskeuze is bepalend voor het architectonische beeld van een constructief verkitte glasfaçade. Naast esthetische overwegingen beïnvloeden ook functionele eisen de glaskeuze: zonwering (absorptie en reflectie), doorzicht- of borstweringcomponent, brandwerendheid, isolatiewaarde, ZTA, LTA, RA (zie hoofdstuk 5: glas). Indien de architect de aluminium achterconstructie en de constructieve verkitting aan het oog wil onttrekken zal er voor een reflecterende glassoort moeten worden gekozen. Bij een tweezijdige verkitting (bijvoorbeeld horizontale doorzichtstroken) is ook een blanke beglazing mogelijk; extra aandacht voor de uitvoering van de randverbinding is dan gewenst. Bovendien zal het glas geschikt moeten zijn voor verwerking in een constructief verkitte glasfaçade. Dit geldt met name voor het soort glascoating omdat deze bij constructief verkitte beglazing doorloopt tot de glasranden en daardoor constructief



3.69 De geëmailleerde zeefdruk loopt door tot aan de glasrand en verhult zo de constructieve kitvoeg en de afstandhouder.

belast wordt. (fig. 3.68) De kit- of glasfabrikant moet een recent testrapport hebben waaruit deze geschiktheid blijkt. Als dat niet beschikbaar is zullen vooraf de noodzakelijke testen moeten worden uitgevoerd. Het volgend overzicht geeft een korte beschrijving van glasprodukten die geschikt zijn voor toepassing.

**Blank of in-de-massa-gekleurd floatglas.** Bij de toepassing van blank glas is de achterconstructie zichtbaar. Dit stelt extra esthetische eisen aan de uitvoering van de verkitting aan de achterconstructie. Een oplossing hiervoor kan zijn het aanbrengen van een gezeefdrukte overgangsmaskering zoals gebruikt wordt in de autoindustrie. (fig. 3.69) In-de-massa-gekleurd glas kan zondermeer toegepast worden. Afhankelijk van de glaskleur is de achterconstructie dan minder tot nauwelijks zichtbaar.

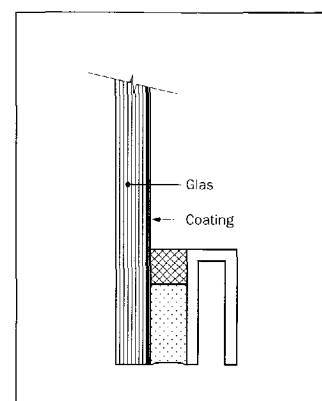
**Gecoat of geëmailleerd glas.** Gecoate of geëmailleerde glaspanelen worden veel toegepast in de constructief verkitte glasfaçade. De achterliggende constructie is niet meer zichtbaar. Het onderscheid tussen borstwerings- en doorzichtglas is met deze glassoorten minder groot zichtbaar. De coating dient door te lopen tot aan de glasranden, dus ook op de constructieve hechtvlakken; echter niet alle coatings zijn hiervoor geschikt. Alleen de 'harde' pyrolitische coatings zijn geschikt, de zachte coatings moeten op de constructieve hechtvlakken worden weggesneden en het glas wordt dan op de randen doorzichtig. Zilvercoatings mogen niet op het glas worden toegepast omdat het gevaar bestaat dat de coating corrodeert waardoor onthechting kan optreden.

**Half en volledig voorgespannen glas.** Het half en volledig voorgespannen glas is goed bestand tegen thermische spanningen. Door de grotere buig- en treksterkte is de kans op constructieve breuk klein. Door het ontbreken van buitenprofielen valt de onvlakheid van het glaspaneel, als gevolg van spanningen ontstaan tijdens het voorspanproces, eerder op.

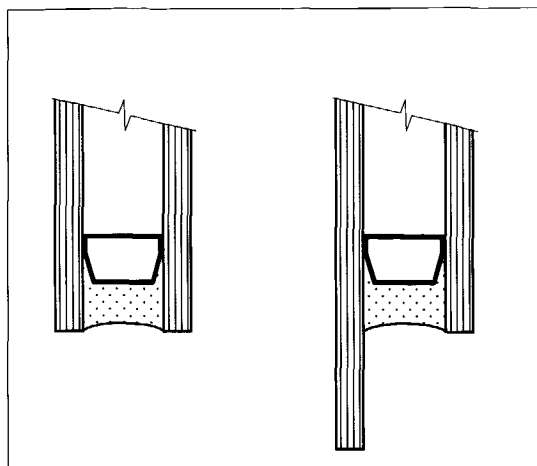
**Gelaagd en gelijmd glas.** Dit glas is samengesteld uit twee of meer bladen glas over het gehele oppervlak met elkaar verkleefd door middel van één of meer lagen PVB-folie of een gegoten epoxyhars. Bij direct contact tussen de folie en de siliconenkit aan de randen van de gelamineerde panelen bestaat er een kans op verkleuring van de folie. Over het lamineren van glas met een epoxyhars zijn nog geen testgegevens beschikbaar. Daarvoor bestaat dan ook nog geen ETA- of CEN-norm. Bij het gebruik van een gelaagde ruit moeten beide glasbladen worden ondersteund zodat de bladen niet ten opzichte van elkaar kunnen verzakken.

**Glas met opacifier.** Deze zwarte lak of zwarte kleeffolie dient om de lichttransmissie van borstweringsbeglazing te blokkeren en heeft een esthetische functie. De opacifier wordt aangebracht op zijde 2 bij enkele en op zijde 4 bij dubbele beglazing. Afhankelijk van het type opacifier moet deze op de constructieve hechtvlakken worden gespaard (verwijderd worden).

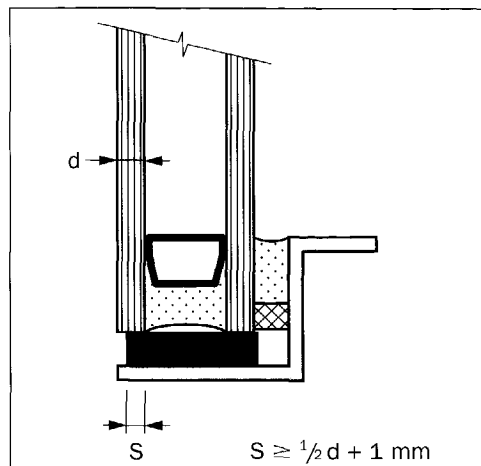
**Isolerend dubbelglas.** Bij gebruik van dubbel glas in een constructief verkitte glasfaçade is de randafdichting van het glaspaneel, anders dan bij een conventionele gevel, ook een constructieve verbinding. Dit betekent dat alle voorschriften die van toepassing zijn voor



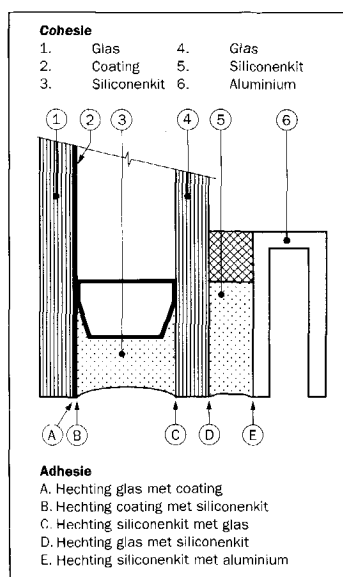
3.68 Glascoating loopt door tot aan de glasrand.



3.71 Symmetrische en asymmetrische glasrand.



3.73 Glasondersteuning.



3.72 De adhesie- en cohesieposities.

de constructieve kitvoeg tussen het glaspaneel en het bevestigingsprofiel ook gelden voor de isolatieglasrandafdichting.

Voor de randafdichting van het isolatieglaspaneel moet altijd gekozen worden voor siliconenkit in plaats van polysulfide. Dit is noodzakelijk vanwege de eisen van verenigbaarheid, de UV-bestendigheid en omdat de kit constructief belast wordt. De randverbinding moet verder gedimensioneerd worden op de verwachte dynamische (wind-) belasting en bij niet ondersteunde systemen tevens op de statische (eigengewicht buitenblad) belasting. Voor de te gebruiken glassoorten gelden dezelfde voorwaarden als bij enkelglas.

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de symmetrische en de asymmetrische glasrand. (fig. 3.71) Dit verschil wordt ook wel aangeduid als rechte versus verschoven glasrand, met als extra mogelijkheden één-, twee-, drie- of vierzijdig verschoven. Het voordeel van een asymmetrische glasrand is dat ook het buitenblad constructief verkit kan worden met de achterconstructie en niet zoals bij de symmetrische systemen alleen het binnenblad. Sommige glasleveranciers eisen bij het gebruik van glas in een asymmetrische dubbelglaseenheid dat de buitenruit thermisch voorgespannen wordt (half of volledig). Asymmetrisch dubbelglas is duurder en kwetsbaarder tijdens het transport en de montage (uitstekende glasranden) dan symmetrisch dubbelglas. Indien er een coating of emailleerlaag op één of meer van de glaszijden 2/3/4 is aangebracht zijn de volgende aspecten van belang:

- de verenigbaarheid met de materialen waarmee de coating of emailleerlaag in direct contact komt (kit, tape, etc.);
- de sterkte van de adhesie en cohesie van de coating

of emailleerlaag op het glas;

- de sterkte van de hechting van de siliconenkit op de coating of emailleerlaag (adhesie).\*

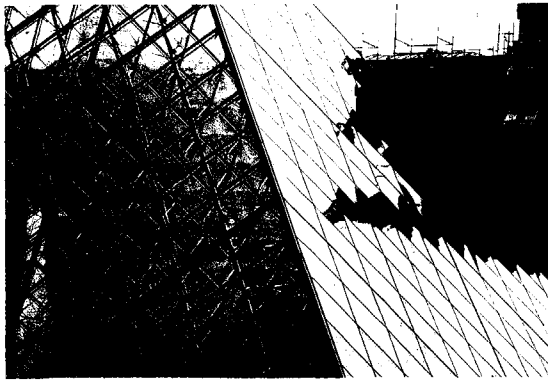
In figuur 3.72 worden de verschillende adhesie- en cohesieposities in een constructief verkitte glascomponent getoond. Duidelijk is dat ook de oppervlaktebehandeling van het metalen hangerprofiel een belangrijke schakel is. In de meeste gevallen wordt er gekozen voor een geanodiseerd aluminiumprofiel. Bij een gelakt profiel bestaat er meer risico doordat dan ook het laksysteem constructief belast wordt (lak- en conversielaag).

Bij het toepassen van isolerend dubbelglas als borstweringspaneel is er kans op extra hoge spouwtemperaturen die de druk in de glasspouw zover kunnen laten stijgen dat de randafdichting het begeeft. De drukverhoging veroorzaakt een extra bolling van het glas, wat zorgt voor een storend optisch effect. Essentieel bij de constructief verkitte glasfaçade zijn de eisen ten aanzien van de verenigbaarheid van de toegepaste materialen. Denk hierbij ook aan de vulling van de spouw: het gebruikte gas moet verenigbaar zijn met de siliconenkit.

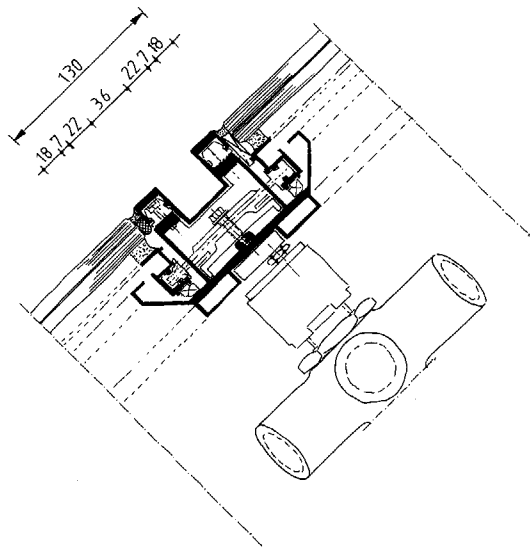
**Glasondersteuning** Ondersteuning van het glasgewicht is gewenst en in veel landen wettelijk vereist. De hiervoor te gebruiken glasondersteuningsblokken moeten vanwege verenigbaarheidseisen van siliconenrubber zijn (hardheid minimaal 50 shore). De positionering van de glasblokken komt overeen met de algemene richtlijn omtrent de ondersteuning van glas. Indien geen of onvoldoende ondersteuning plaatsvindt dient de constructieve voeg tevens berekend te worden op de statische belasting (eigengewicht) van het

\*Cohesie = aantrekking (samenhang) tussen de moleculen van eenzelfde lichaam.

Adhesie = aanklevingskracht, de kracht waarmee de moleculen van twee lichamen die met elkaar in contact zijn gebracht, elkaar trachten vast te houden.



3.74A Vierzijdig constructief verkitte extra blanke beglazing in de 'glazen' piramide van het Louvre, Parijs, 1989.  
architect: I.M. Pei



3.74B Verticale doorsnede primaire stijlen piramide van het Louvre, Parijs, 1989.

glas. De minimale ondersteuning van het buitenblad  $s$ , wordt berekend met de formule:  $s = 1/2 d + 1mm$ , waarbij  $d$  de dikte van het glas vertegenwoordigt. (fig. 3.73)

### De keuze van een constructief verkit glasfaçadesysteem

Bijna alle gevelsysteemleveranciers hebben inmiddels één of meerdere standaard constructief verkitte glassystemen in hun assortiment. De onderlinge verschillen zijn gering en een keuze zal dan ook voornamelijk bepaald worden door de mogelijkheden van het desbetreffende systeem (welke vorm en materiaalvrijheden kan de architect zich veroorloven), de prijs, de levertijd en de garanties. Aanpassingen aan een standaardsysteem zijn voor kleinere projecten moeilijk uit te voeren en prijstechnisch onvoordelig. Daarom is het logisch het systeem te gebruiken binnen de door de fabrikant aangegeven mogelijkheden en variaties. Zijn de eisen van de architect niet binnen het systeem te realiseren dan kan een nieuw te ontwerpen projectsysteem uitkomst bieden. Het ontwikkelen van een dergelijk systeem zal in de meeste gevallen in samenwerking met een gevelbouwer (en kitfabrikant en glasleverancier) gebeuren. Fabrikanten en leveranciers met ervaring op het gebied van constructief verkitte glassystemen zullen voor deze ontwikkeling en uitvoering het best toegerust blijken. Een gevelbouwer kan daarbij snel inspelen op een afwijkende vraag en naast technische en esthetische uitgangspunten rekening houden met de specifieke fabricage- en/of bouwplaatslogistieke aspecten. (fig. 3.74 A+B)

Een voorbeeld hiervan is de constructief verkitte gevelcomponentenbouw (grote gevelvullende verdiepingshoge componenten), die een optimale geprefabri-

ceerde kwaliteitsbeheersing en een snelle bouwplaatsmontage toelaat. De verkitting vindt onder geconditioneerde omstandigheden plaats. De hangerprofielen kunnen nu achterwege blijven omdat het glaspaneel direct op de achterconstructie gekit kan worden. Dit maakt het systeem eenvoudiger en dus goedkoper. Het toepassen van grote constructief verkitte gevelcomponenten is een gevelbouwmethode die in de toekomst meer gebruikt zal worden. (fig. 3.75)

**De voegafwerking** Er zijn drie typen voegafwerking mogelijk: de open voeg, de gekitte voeg (weatherseal) en de berubberde voeg. (fig. 3.76) Elk voegtype heeft zijn eigen voor- en nadelen. De keuze voor een bepaalde voegafwerking kan op verschillende manieren tot stand komen. De voegafwerking kan bepaald zijn door het gekozen systeem, uit esthetische overwegingen (afwerking glasrand), uit uitvoeringsoverwegingen en/of uit bouwfysische overwegingen (geluidsichting). Verder kan het type gevel van invloed zijn op de voegconstructie. Als laatste kunnen ook onderhoudstechnische overwegingen een rol spelen.

De volgende aspecten zijn afhankelijk van de gekozen voegafwerking:

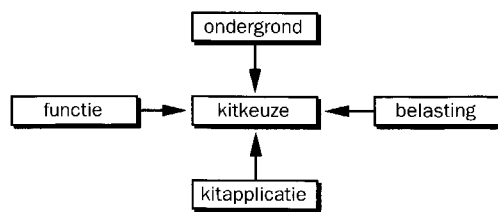
- aantal handelingen op de bouwplaats;
- afhankelijkheid van weersomstandigheden;
- vervuiling van de voeg;
- zelfreinigend effect van de gevel;
- water- en winddichtheid;
- afwatering van eventueel binnengedrongen water;
- thermische en geluidsisolatiewaarde;
- zichtbaarheid van de glasrand (in verband met glasrandbeschadigingen);
- aansluitingen op andere bouw delen, hoeken;



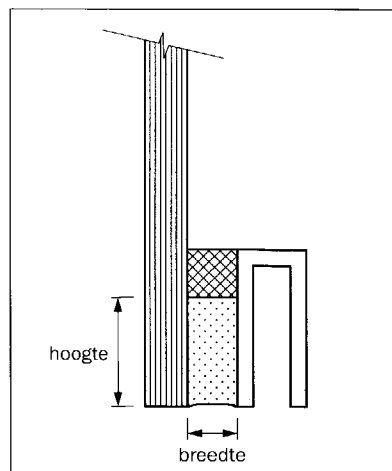
3.75 Grote constructief verkitte gevelcomponenten; op de voorgrond de subcomponenten gereed voor montage.



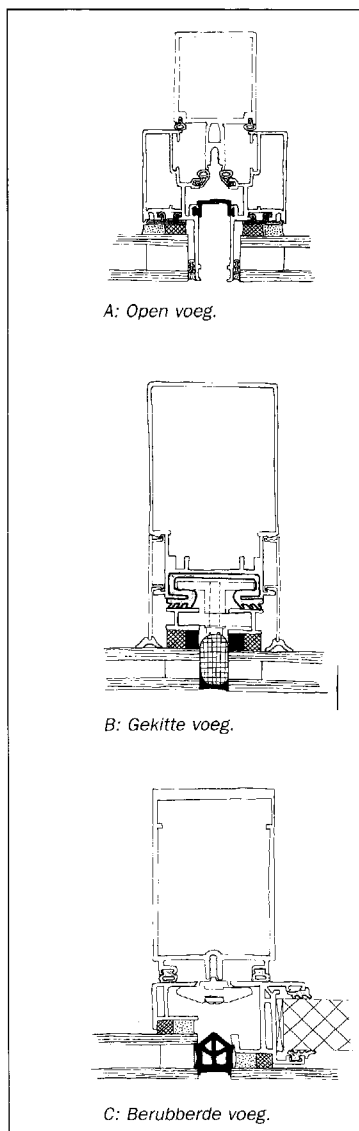
3.77 Gevelvullende componenten gemonteerd in de gevel, kantoorgebouw Algemene Verkeersdienst, Driebergen. architect: Toben, Rijksgebouwendienst



3.78 Kitkeuze.



3.79 De hoogte en breedte van de constructieve kitvoeg.



A: Open voeg.

B: Gekitte voeg.

C: Berubberde voeg.

3.76

- toleranties;
- benodigd onderhoud en levensduur;
- vandalismegevoeligheid, dit geldt voornamelijk voor de begane grond;
- kruisverbindingen (optische afwijkingen).

**Kit en kitkeuze** De siliconenkit is de basis voor de constructief verkitte glasfaçade. Keuzes van andere materialen, oppervlaktebehandeling, afmetingen, etcetera dienen afgestemd te zijn op het adhesieve vermogen van en de verenigbaarheid met de siliconenkit.

Siliconenkit wordt niet alleen gebruikt als constructief voegmateriaal, het moet ook toegepast worden als constructieve randafdichting van het isolatieglas en bij sommige systemen als buitenvoegmateriaal (de weatherseal) tussen de constructief verkitte glascomponenten. De onderlinge verenigbaarheid van de siliconenkitten gebruikt voor de constructieve voeg, de randafdichting en de weatherseal moet worden nagegaan. Er bestaan talloze soorten siliconenkitten, elk met hun eigen technische specificaties.

Een belangrijk onderscheid tussen de siliconenkitten is de manier van polymeriseren (= uitharden): bijvoorbeeld een ééncomponent siliconenkit die neutraal of alcoholisch uitreageert en een tweecomponenten siliconenkit. Van de tweecomponentenkitten zijn alleen de neutraal reagerende kitten geschikt voor toepassing bij constructief gebruik. Voor de constructieve voeg en de randafdichting (dubbelglas) wordt in bijna alle gevallen een tweecomponentenkit gebruikt vanwege de snellere uitreageertijd en een hogere E-modulus. Bovendien droogt deze kit niet aan de lucht zodat een diepere kitvoeg kan worden gemaakt. De weatherseal is meestal een ééncomponentenkit omdat deze

goedkoper en uitvoeringstechnisch gezien eenvoudiger toepasbaar is op de bouwplaats (er hoeft niet gemengd te worden). Het nadeel is de langere uitreageertijd waarin de voeg gevoelig is voor aanhechting van stof en vuil.

Figuur 3.78 is een algemeen schema voor de kitkeuze. Vier aspecten zijn bepalend voor de kitkeuze. De **ondergrond**: bijvoorbeeld aluminium, beton, staal, glas. De **kitapplicatie**: waar wordt de kit verwerkt en onder welke omstandigheden (temperatuur, luchtvochtigheid). De **belasting**: aan welke permanente en tijdelijke belastingen wordt de kit blootgesteld en welke stijfheid of elasticiteitscoëfficiënt is daarbij vereist. De **functie**: constructieve voeg, randafdichting dubbelglaspaneel, weatherseal.

Bij het dimensioneren van de constructieve kitvoeg zijn drie belastingen van belang. De **windbelasting** wordt bepaald door de vorm, de hoogte en de lokatie van het gebouw en de afmetingen en de plaats van het glascomponent in de gevel. Het **eigengewicht** van het glaspaneel speelt in de praktijk meestal geen rol omdat vaak gekozen wordt voor een uitvoering met glasondersteuning. Door het **verschil in uitzettingscoëfficiënt** tussen glas en achterbevestigingsprofiel kunnen schuifspanningen ontstaan die de kitvoeg moet kunnen opnemen. Hiervoor is een voldoende brede voeg nodig. Het aanhouden van een minimale voegbreedte van 6 mm is vereist (er zijn ook maximale breedtes, afhankelijk van de gebruikte kit!) Bij niet ondersteunde beglazing wordt er meestal een minimale voegbreedte van 9,5 mm aangehouden. (fig. 3.79)

Andere aandachtspunten voor de dimensionering en detaillering van de constructieve voeg zijn:

- De constructieve voeg wordt zó ontworpen dat hij





3.80 De weatherseal.

twee tegenover elkaar liggende evenwijdige hechtvlakken heeft. Meer hechtvlakken bemoeilijkt een eenduidige bewegingsopname en verhoogt hierdoor de kans op scheuren.

- Siliconenkit is gevoelig voor een langdurige waterbelasting in combinatie met sterk wisselende temperaturen (siliconen is méér dampdiffusiegevoelig). De constructieve voeg mag daarom niet aan een constante waterbelasting worden blootgesteld. Ditzelfde geldt voor de glasrandverbinding en de weatherseal. (fig. 3.80) Een geventileerde en/of gedraineerde dichting is hiervoor een goede oplossing.

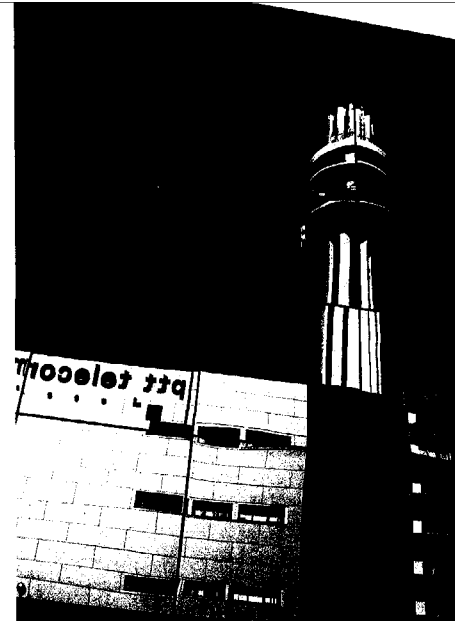
#### **Constructieve aspecten van de verkitte glasfaçade**

De achterliggende draagconstructie wijkt niet af van een gebruikelijke glasfaçadeconstructie. De eisen omtrent sterkte en stijfheid en de bouw fysieke aspecten zijn hetzelfde (glascomponenten zijn niet-dragende delen en mogen niet door de omringende bouwkundige constructies worden belast). Ten aanzien van de verankering en het stellen van de achterconstructie zijn er enkele aanvullende eisen. Voorafgaande aan het stellen moet de hoofdconstructie worden gecontroleerd op zettingen (krimp en kruip), dilatatievoegen en maatvoering. Door de geringe stel mogelijkheden van de glaspanelen zijn maatafwijkingen van de achterconstructie aan de buitenzijde zichtbaar. Het stellen van de ankerstoelen moet om die reden extra nauwkeurig gebeuren. Alleen geringe maatafwijkingen na de montage van de glaspanelen zijn toegestaan ( $\pm 2$  mm). Elke onnauwkeurigheid komt in het zicht. Bij de conventionele glasfaçade is er extra stelruimte voor de glaseenheden en panelen in het profiel of achter de klemlijst, waardoor deze systemen

minder gevoelig zijn voor optisch storende effecten als ongelijke voegen en gekantelde panelen.

**Brandgedrag** Glas in de gevel moet voldoen aan meerdere eisen. De brandwerendheid is onderdeel van dit eisenpakket. De eisen zijn sterk afhankelijk van de plaats en de functie die het glas in de gegeven situatie moet vervullen. Belangrijke normen in dit verband zijn NEN 6068 en NEN 6069. Hierin wordt een onderscheid gemaakt tussen het doorzicht- en borstweringsgedeelte. Het type constructie en de gebruikte materialen bepalen samen de weerstand tegen brand. Waarin een constructief verkitte glasfaçade verschilt van een conventionele gevel is de verkitting op de achterliggende constructie. De hiervoor gebruikte siliconenkit is een 'onbrandbaar' produkt dat bij 200 à 300 graden Celsius zijn adhesieve en cohesieve eigenschappen geleidelijk verliest. De rookafscheiding is minimaal. Het normale floatglas is de zwakste schakel en zal bij een vlamtemperatuur van tussen 100 en 150 graden Celsius breken/ knappen (voorgespannen glas bij een temperatuur van ca. 200 graden). Bij een smeulende brand, of een anderszins geleidelijke opwarming van de glascomponent, bestaat het gevaar dat de kitverbinding faalt en de glaseenheid in zijn geheel loskomt. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren als bij brand hete rookgassen langs de gevel hoger gelegen geveldelen langzaam opwarmen tot ca. 300 graden Celsius. De in veel landen verplichte extra veiligheidsmiddelen in de vorm van rozetten, bouten of klemmen moeten in zulke gevallen voor een beperkte duur het glas tegen uitvallen behoeden. (fig. 3.82)

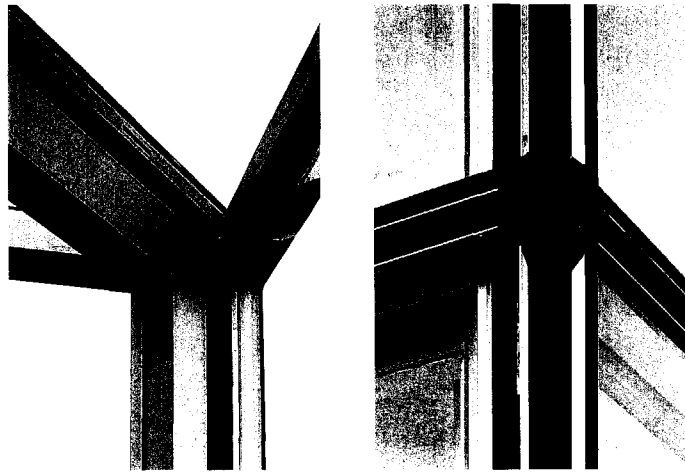
De eisen die in de verschillende landen gelden zijn nogal uiteenlopend. In Duitsland hoeft bij een con-



3.81 Lumiance, Haarlem.  
architect: M. van Schijndel



3.82 Constructief verkitten glasfaçade met rozetten op de hoekpunten als extra beveiliging, Hotel du Departement, Ajaccio (F).  
architect: P. Monserrat



3.83 Binnen- en buitenaanzicht van een constructief verkitte glasmafakade.

structief verkitte glasmafakade tot 8 meter dakgoothoogte geen beveiliging te worden aangebracht. Bij gevels hoger dan 8 meter is een beveiliging in de vorm van een additionele bevestiging verplicht. In Nederland zijn hierover nog geen voorschriften.

#### **Assemblage tot subcomponent of component**

Verreweg de meeste constructief verkitte glasmafakades bestaan uit geprefabriceerde subcomponenten. Field glazing (het verkitten op het werk) komt in Nederland niet voor en wordt afgeraden vanwege de uitvoeringsgevoeligheid van het verkitten. Er zijn twee stadia van prefabricage:

- Prefabricage van de vlakvullende subcomponenten. Dit zijn de glaseenheden met de daarachter verkitte hangerprofielen. Deze worden naar de bouwplaats vervoerd en daar aan een stijl-en-regelwerk bevestigd.
- Prefabricage tot complete gevelcomponenten. De gevelcomponenten worden in de fabriek samengesteld uit subcomponenten. De kwaliteit is door verdergaande fabrieksmatige verwerking beter te beheersen. Een voordeel is ook de snellere opbouw op de bouwplaats (de gevel is sneller water- en winddicht). De componenten kunnen direct aan de hoofdconstructie worden bevestigd.

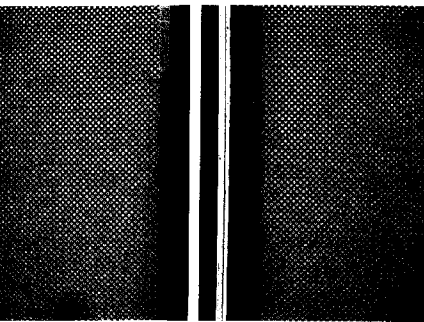
**Onderhoud** Het reinigingsonderhoud van een constructief verkitte glasmafakade is niet anders dan van een traditionele vliesgevel. Het is zelfs vaak eenvoudiger en goedkoper uit te voeren door de gladde buitenzijde zonder uitstekende profieldelen. Het is van het grootste belang dat de reinigingsmiddelen en de methode van tevoren zijn goedgekeurd door de leverancier van de siliconenkit en de garantieverstrekker

van de gevel. Anders bestaat de mogelijkheid dat het reinigingsmiddel de constructieve voeg aantast met het gevaar van onthechting. Bij openvoegconstructies is dit risico het grootst. De gegeven voorschriften dienen nageleefd te worden. Een jaarlijkse inspectie van de gevel is aan te bevelen. Tijdens deze inspecties dienen zo mogelijk de volgende zaken gecontroleerd te worden: constructieve en afdichtingsvoegen, weatherseal, het isolatieglas en de veiligheidsmiddelen. Verder moet gelet worden op de volgende aspecten: verkleuring, onthechting en scheurvorming van de kitvoegen, condensvorming tussen het isolatieglas en wijziging in de belasting op de constructieve voeg.

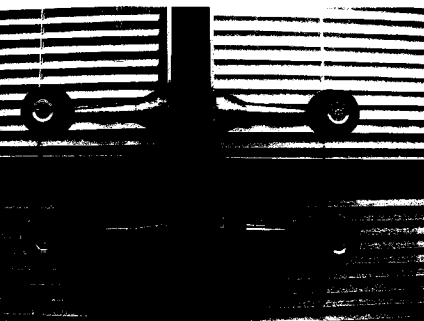
#### **Constructieve verkitting van andere materialen**

Het principe van constructief verkitten van glaspanelen aan een achterconstructie is ook voor andere plaatmaterialen geschikt. De afweging tussen een mechanische en een gekitte bevestiging zal op grond van verschillende overwegingen gemaakt moeten worden. Naast de kosten spelen de vlakheid, de geluids-overdracht, het type gevel en de esthetische aspecten een rol. Het verkitten van keramische tegels (structural sealant ceramics) is mogelijk. Ook hiervoor geldt dat de conventionele techniek (de mechanische blinde bevestiging door middel van spreidankers) goedkoper en minder uitvoeringsgevoelig is. Echter in het geval van een constructief verkitte combinatiefaçade (glazen en keramische panelen) is kitten goedkoper en mooier omdat er een uniforme bevestigingstechniek wordt toegepast.

**Trends en ontwikkelingen** Ondanks het uitblijven van de verwachte populariteit van de constructief



3.84 Constructief verkitte glasmafade met gescreende beglazing.



3.85 Detail puntvormig bevestigde glasmafade met dubbelglaspanelen, Stockley Park, London (GB). architect: I. Ritchy

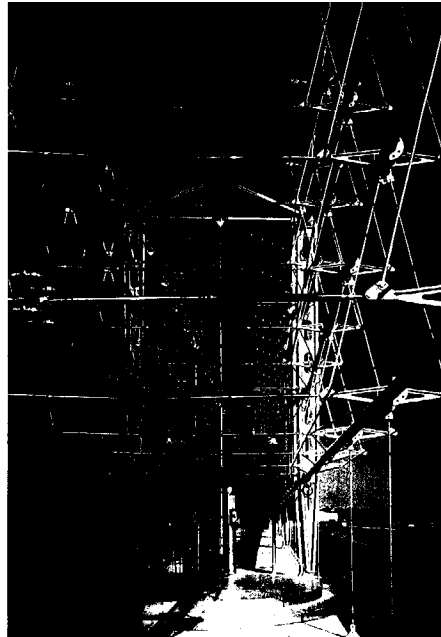


3.86 East Croyden Station. architect: Alan Brookes i.s.m. M. Stacy

verkitte glasmafade heeft dit type gevel een belangrijke technische spin-off tot gevolg gehad. De opgedane kennis van en ervaring met verkittingstechnieken wordt steeds meer benut voor andere gevelsystemen. Verkitten zal in de toekomst eenvoudiger, goedkoper en veiliger worden. In plaats van natte verkitting zal een tweezijdig klevende lijmband kunnen worden ontwikkeld die bijvoorbeeld de constructieve voeg en de rugvulling van een constructief verkitte glasmafade kan vervangen. Deze lijmband zou in de hergebruikfase op een bepaalde manier te activeren moeten zijn om de verlijmde materialen van elkaar te scheiden.

De trend om steeds meer helder glas toe te passen zet geleidelijk door. Voor de constructief verkitte glasmafade betekent dit dat de randverbinding, die nu volledig in het zicht komt, erg zorgvuldig moet worden uitgevoerd. Alle onnauwkeurigheden zijn blijvend zichtbaar. Een nieuwe afstandhouder in combinatie met een constructieve randafdichting die samen een strak en éénduidig beeld opleveren, is niet ondenkbaar. Een niet-zichtbare randverbinding is wat dat betreft nog beter.

Constructief verkitte beglazing wordt ook steeds meer toegepast voor uitvoeringen waarbij wel een buitenprofiel wordt aangebracht. Hierbij is de kitverbinding in de eerste plaats bedoeld om in bepaalde situaties een thermisch geïsoleerde beglazing goedkoper te installeren. Ook te openen ramen met een constructief verlijmd isolatieglaspaneel worden toegepast waar deze component in gesloten stand niet te onderscheiden mag zijn van de vlakken met vaste beglazing.



3.87 Banque Populaire de l' Ouest, Rennes (F). architect: O. Decq en B. Cornette

## DE PUNTVORMIG BEVESTIGDE GLASMAFADE

**Algemeen** Vlakglas (floatglas) wordt hoofdzakelijk toegepast als transparant vlakvullend materiaal dat wind- en waterdicht is. Vanwege deze eigenschappen vervult het al eeuwen de zo belangrijke functie van doorzichtige klimaatscheiding. Verder zorgen de gunstige prijsstelling en de duurzaamheid ervoor dat glas een geliefd en veelzijdig toegepast bouw materiaal is geworden.

Maar glas heeft meer eigenschappen die het gebruik kunnen verbreden, bijvoorbeeld de hoge sterkte, de krasvastheid en de chemische weerstand. De hoge sterkte van glas kan worden benut door constructieve toepassing in de gevel. Dit is het geval bij de puntvormig bevestigde glasmafade. Over deze term bestaat nogal wat verwarring, daarom is het van belang hem goed vast te leggen. Elementair is de bevestiging van de glaspanelen met puntvormige componenten aan een constructie. (fig. 3.85) De puntvormig bevestigde glasmafade is onder te verdelen in constructieve en semi-constructieve systemen.

Een kort historisch overzicht van de ontwikkeling van de puntvormig bevestigde glasmafade en de bouwfysische en esthetische eigenschappen komen aan de orde. Een aspect dat onlosmakelijk verbonden is met deze grote en gewoonlijk ongetinte glasmafaden is de kans op overmatige ruimtetemperaturen in de zomer. De zorg voor een comfortabel binnenklimaat met een minimum gebruik van energie zal in de toekomst met evenveel aandacht moeten worden uitgewerkt als de esthetische en bouwtechnische aspecten van deze glasmafade. (fig. 3.86)

Gezien de recente ontwikkelingen op het gebied



3.88 Palm House, Bickton Gardens (GB), 1818/38.  
architect: J.C.Loudon

van de glastechnologie (zie hoofdstuk 5) en de opmars van de constructieve glasfaçade is te verwachten dat na het jaar 2000 glas als constructief bouw materiaal net zo gewoon wordt als dat nu het geval is met beton en staal. In het laatste deel van deze paragraaf wordt een vooruitblik gegeven op de toekomstige ontwikkelingen.

### Geschiedenis van de puntvormig bevestigde glasfaçade

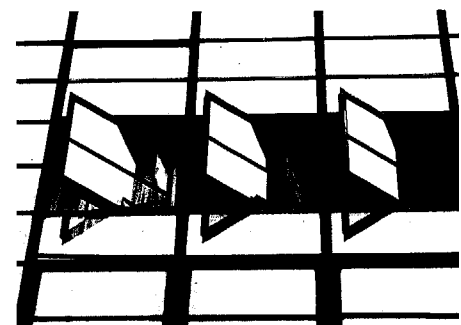
Van alle ons bekende bouwmaterialen neemt glas een speciale positie in. In de millennia dat de mens met glas omgaat, is het al op vele manieren gebruikt. En nog lijken de mogelijkheden niet uitgeput, het blijft een boeiend en voor veel architecten uitdagend bouw materiaal. De redenen om glas toe te passen zijn door de eeuwen heen niet altijd dezelfde geweest. Het toepassen van veel glas in de zeventiende en achttiende eeuw moet voornamelijk gezien worden als statusverhogend materiaalgebruik: een symbool van macht en rijkdom. Dat het binnenklimaat als gevolg van al dit glas lang niet altijd even comfortabel was nam de eigenaar voor lief. Naarmate de technieken om grotere glasvlakken te maken verbeterden en de kostprijs werd verlaagd met de introductie van nieuwe productietechnieken, verloor glas geleidelijk zijn karakter van statusartikel. Het gebruik van glas als statusverhogend materiaal kent recentelijk een opleving, gezien de vele glazen entreepartijen en opzienbarende glasfaçades. (fig. 3.87)

De behoefte om glas toe te passen als constructief bouw materiaal ontstond uit de gedachte dat een omhulling fysiek noodzakelijk was maar visueel niet altijd gewenst. Men streefde naar een volledig transparante scheiding tussen binnen en buiten. Dit nieuwe

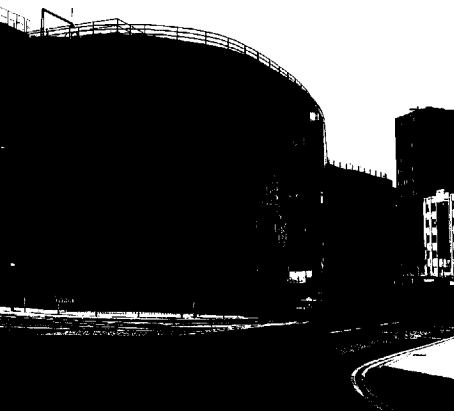
tweede glastijdperk brak aan halverwege de 18-de eeuw, toen welgestelden enorme plantenkassen en orangerieën lieten bouwen om het gehele jaar te kunnen profiteren van exotische planten en bomen. Een bekend voorbeeld hiervan is het Palm House van J.C. Loudon (Bickton Gardens, Engeland, ca. 1818 - 1838). (fig. 3.88) Loudon was één van de pioniers die de explosieve verspreiding en ontwikkeling van de 'Glass houses' heeft versneld. Het Palm House maakte voor zijn stabiliteit gebruik van de glazen omhulling; de glasplaten in de minimale roeden moesten de stabiliteit van de kas verzorgen. De schijfwerking van het glas werd hier, mogelijk onbewust, gebruikt. Dit kunnen we beschouwen als een eerste succesvolle toepassing van een constructieve glasfaçade.

Het derde glastijdperk had een expliciete begindatum: 1914. In dat jaar verschijnt het boek van Paul Scheerbart 'Glasarchitektur' en werden er ter gelegenheid van de Deutsche Werkbund-tentoonstelling in Keulen twee gebouwen gerealiseerd die van grote betekenis waren voor die tijd. In zowel het glaspaviljoen van Bruno Taut als de modelfabriek van Gropius en Meyer speelt glas een centrale rol. In het glaspaviljoen van Taut, gebouwd in opdracht van de glasindustrie, wordt het glas heel bewust gebruikt als constructiemateriaal. Het idee van Taut was de bezoeker aan alle zijden omgeven te laten zijn door glas: de vloer, de wanden, het dak en de trappen: een driedimensionale glazen ruimte. Glas werd hier toegepast in de vorm van glazen bouwstenen.

Glas zou voor een periode van twintig jaar een overheersende rol spelen in de architectuur. De architecten van het modernisme omarmden het materiaal als het symbolisch bouw materiaal van de moderne



3.89 Staal-glasgevel Bauhaus Dessau,  
1925-1926.  
architect: W. Gropius



Willis, Faber and Dumas gebouw, Ipswich (GB), 1975  
Norman Foster and Partners



Detail Willis, Faber and Dumas gebouw.

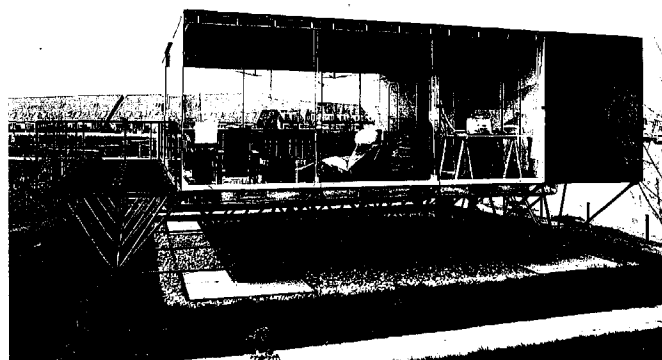
tijd. (fig. 3.89) Na het donkere tijdperk van de eerste wereldoorlog leek glas ook symbolisch de nieuwe tijd te bepleiten.

Een ander spoor dat uiteindelijk ook leidde tot de constructieve glasgevel is de fascinatie van veel architecten voor transparantie. Voor Le Corbusier, Mies van der Rohe en later Norman Foster was het een uitdaging om transparantie te bereiken in haar puurste en natuurlijkste vorm: het spanningsveld tussen af- en aanwezigheid van een materiaal. Volkomen transparantie kan in bouwfysische zin bereikt worden als alle golflengten (kleuren) van het zonnenspectrum in dezelfde mate door het glas worden doorgelaten. Glas wordt zichtbaar door zijn reflecties, de hoeveelheid gereflecteerd licht is bepalend voor de transparantie. Dit principe wordt duidelijk bij het volgende voorbeeld. Overdag is het licht dat van binnenuit gezien door het glas wordt doorgelaten vele malen hoger dan het licht dat binnen door het glas wordt gereflecteerd. Hierdoor wordt het glas visueel onzichtbaar. 's Avonds kan zich een omgekeerde situatie voordoen, waardoor het glas aan de binnenzijde als een spiegel wordt ervaren. Hiermee wordt duidelijk dat niet alléén het glas en de constructie bepalend zijn voor de uiteindelijke transparantie van de façade, maar ook de lichtbron die de glaswand zichtbaar maakt.

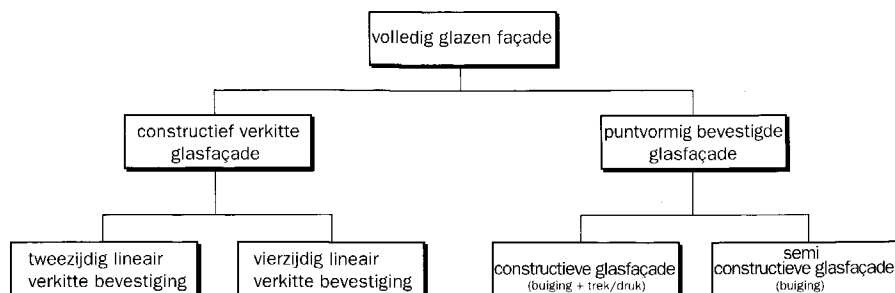
Het herwaarderden van glas vanwege zijn **fysische eigenschappen**, nadat het lange tijd voornamelijk om zijn **statusverhogende** of **transparant afdichtende eigenschappen** werd gewaardeerd, had tot gevolg dat ook de constructieve mogelijkheden ervan herkend werden. Een mijlpaal in de geschiedenis van de constructieve glasfaçade is het Willis, Faber and Dumas-gebouw van Foster (Ipswich, Engeland, 1975). (fig.

3.90) De over drie verdiepingen doorgaande gevel is opgebouwd uit aan elkaar hangende voorgespannen glazen panelen van 12 mm. Deze hangende glasverzameling ('suspended glass assembly') is bevestigd aan de dakrand. Per verdieping is een glazen stabilisator over de halve verdiepingingshoogte glijdend met het gevelvlak verbonden. De glazen ribben of stabilisatoren nemen de horizontale belastingen op. De verbindingen komen tot stand met het hiervoor ontwikkelde 'patch-system' van Pilkington. De gevel van het Willis, Faber and Dumas-gebouw is het startpunt voor de verdere ontwikkeling van de constructieve plaatselijk bevestigde glasfaçade. De volgende grote stap werd gemaakt door het ontwerp bureau RFR (Rice, Francis and Ritchie) bij de door hen ontwikkelde gevel voor het Cité des Sciences in het Park de la Vilette (Parijs, 1986). (fig. 3.91) De glazen façades van de serres van het Cité des Sciences zijn opgebouwd uit grote glasvlakken van 8,1 x 8,1 m, elk bestaande uit zestien voorgespannen glazen panelen van 2 x 2 m. Elk glaspaneel is opgehangen aan de panelen erboven. De horizontale stabiliteit wordt verzorgd door een getuide achterconstructie. De stalen knooppunten die het glas met de achterconstructie verbinden zijn speciaal voor dit project ontworpen. Een onderdeel van de opdracht aan RFR was om een bouwkundige vernieuwing te realiseren die waardig genoeg was voor een museum voor wetenschap en techniek. Die opdracht is op een uitzonderlijk niveau verwezenlijkt. Dit wordt goed weergegeven in het boek 'Le Verre Structurel' van Peter Rice en Hugh Dutton, zie [3.27].

Bij de puntvormig bevestigde glasfaçade werd tot dan toe gebruik gemaakt van enkelglas. Een logisch vervolg hierop was een transparante glazen façade



3.93 Woonhuis van Van Benthem, Almere, 1984.  
architect: Benthem Crowwel Architecten



3.95 Onderverdeling van de volledig glazen façade.

met isolatieglaspanelen. De eerste aanzet hiertoe wordt gegeven door Bewhurst Haslam Partnership voor het glazen atriumdak van het Porsche-hoofdkantoor in Reading (Engeland, 1986). Samen met Pilkington ontwikkelden zij een Planar houder voor dubbele beglazing. Ter plaatse van het knooppunt is het binnenblad van de isolatieruit niet doorgezet en wordt alleen het buitenblad aan de draagconstructie vastgebouwd. Slechts enkele toepassingen zijn verwezelijkt in dit overgangssysteem waarna het systeem verder is ontwikkeld tot een standaard knooppunt voor isolatieglaspanelen waarbij de gebouwde verbinding door beide glaspanelen is doorgezet. Inmiddels bestaan er diverse systemen die een soortgelijk knooppunt hebben. (fig. 3.92)

Enkele Nederlandse projecten die van belang zijn geweest bij de ontwikkeling van de constructieve glasfaçade zijn:

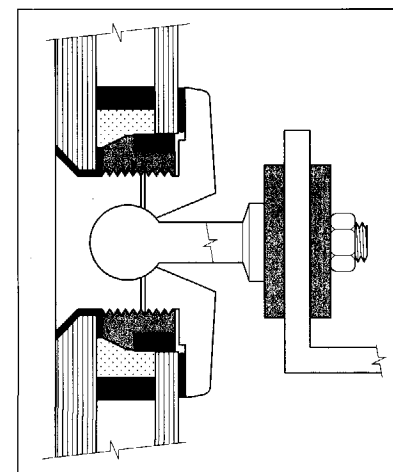
- Het huis van Jan Benthem (Benthem Crowwel, Almere, 1984); (fig. 3.93)
- Beeldenpaviljoen Sonsbeek van Benthem Crowwel (Sonsbeek, 1986);
- Glazen muziekzaal in de Beurs van Berlage (P. Zaanen i.s.m. M. Eekhout, Amsterdam, 1990): enkelglas gehangen, met trekspanten gestabiliseerd;
- Gerechtsgebouw Maastricht, 1994 (G. Passchier en M. Eekhout): dubbelglas gelijmd op roestvast stalen knooppunten.

**Basisprincipe van het constructief gebruik van glas** Het benutten van de constructieve eigenschappen van glas is in andere sectoren dan de bouw al veel eerder doorgedrongen. In het interieur zijn de volledig glazen tafel, de glazen deur en het glazen

aquarium al lang geen bijzonderheid meer en ook glazen traptreden komen steeds meer voor. (fig. 3.94) De gevelbouw is een technologische volger, ook bij het constructieve gebruik van glas gaat dat op.

Het onderscheid tussen constructieve en semi-constructieve glastoepassing is in de gevelbouw niet altijd even gemakkelijk te maken. Elke glastoepassing maakt in meer of mindere mate gebruik van de constructieve mogelijkheden. Het belangrijkste criterium voor de constructieve façade is het al dan niet overdragen van belastingen van de ene op de andere glasplaat. Bij semi-constructieve glastoepassingen overheerst het **transparant afsluitende** karakter. Een isolatieruit opgenomen in een gevelsysteem met klemprofielen kan zonder gevolgen voor de constructie uit de gevel worden verwijderd. Dit geldt niet voor gevelsystemen waarin het glas in eerste instantie een **constructieve functie** vervult. Hierin is het glas een belangrijk onderdeel van de constructieve opbouw van de gevel, hetgeen betekent dat bij het verwijderen van het glas de gevelconstructie niet meer naar behoren functioneert. Zo hebben glazen stabilisatoren duidelijk een constructieve functie in de gevel, bij het wegnemen ervan kan de horizontale windbelasting niet worden afgedragen en zal de gevel doorbuigen. Hetzelfde geldt voor de aan elkaar hangende glaspanelen: wanneer er één glaspaneel wordt weggenomen zal de gevelconstructie wezenlijk anders belast worden.

We kunnen nu een viertal verschillende glasfaçaden onderscheiden. De traditionele glasfaçade, de constructief verkitte glasfaçade, de constructief puntvormig bevestigde glasfaçade en de semi-constructief puntvormig bevestigde glasfaçade. Zie schema fig. 3.95



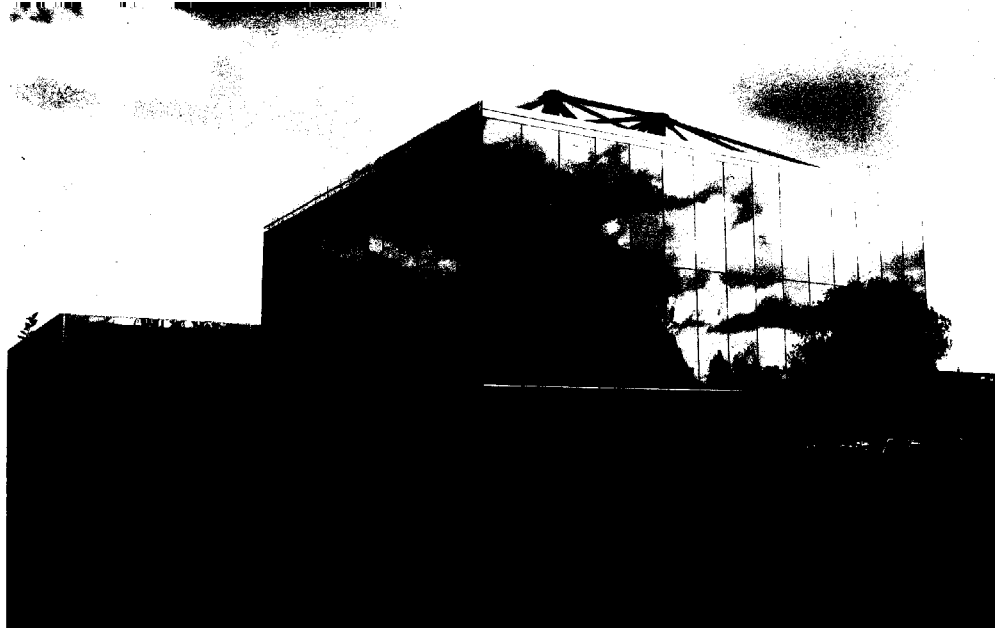
3.92 Principe van een scharnierende bevestiging van isolatieglas.



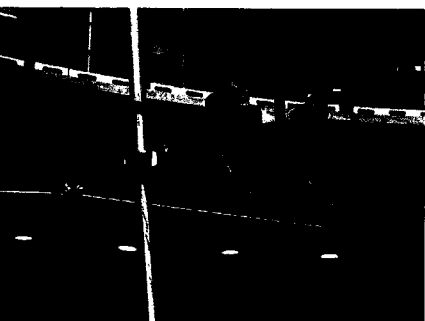
3.94 Glas als constructiemateriaal: 'glazen' trap.  
architect: E. Jiricna



3.98 A Channel 4 Headquarters, Londen, 1995. De glaspanelen hangen aan de stalen dakrand (hangschakeling). architect: Richard Rogers



3.97 Kantoor Groven, Aartselaar (B). architect: P. Paridaens i.s.m. L. Hens



3.98 B Het knooppunt met daarachter de gespannen staaldraden voor de stabiliteit van de glasfaçade.

**Traditionele glasfaçade** Bij een traditionele glasfaçade wordt het glas of het paneel rondom in een (metalen) profiel (stijlen en regels) opgenomen oftewel: systemen met ingeklemde beglazing. Het glas heeft een vlakvullende en afdichtende functie. De windbelasting wordt heel gelijkmatig door het glas afgedragen aan het lineair omvattende profiel. Elk glaspaneel wordt plaatselijk ondersteund door glasblokjes die het eigengewicht aan de regel afdragen.

**Constructief verkitte glasfaçade** De constructief verkitte glasfaçade (fig. 3.97) is ontwikkeld met als uitgangspunt een glad en profielloos buitenaanzicht. Van binnenuit gezien is er nauwelijks verschil met de traditionele glasfaçade. De glaspanelen zijn aan de achterzijde constructief verkit met een metalen bevestigingsprofiel dat in een achterconstructie wordt opgenomen. Om aan de buitenzijde de schijn van een volledig glazen gevel te wekken wordt er zonbeheersende beglazing toegepast die het doorzicht op de kitvoegen en de achterconstructie belemmert. Voor een uitgebreide beschrijving van dit geveltype zie elders in dit hoofdstuk.

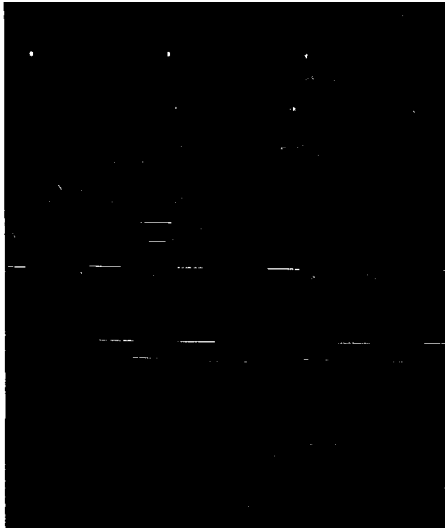
**Puntvormig bevestigde glasfaçade – constructieve systemen** Deze speciale vorm van de puntvormig bevestigde glasfaçade wordt aangeduid als de **constructieve glasfaçade**. Het constructief belasten van het glas is een essentieel verschil met de semi-constructieve puntvormig bevestigde glasfaçade. Bij beide façaden worden de glaspanelen op bijna identieke wijze puntvormig bevestigd aan de achterliggende constructie. Hierdoor lijken de verschillen gering, maar juist het constructief belasten van het glas zorgt voor

een groot aantal extra eisen. Omdat de uiterlijke verschillen slechts in de details en het constructieve systeem terug te vinden zijn wordt in veel gevallen gekozen voor de semi-constructieve glasfaçade, deze is ook goedkoper. De constructieve glasfaçade biedt echter de mogelijkheid om met minder metalen componenten te werken waardoor zij in de toekomst nog transparanter, spannender en eenvoudiger uit te voeren is. (fig. 3.98A+B)

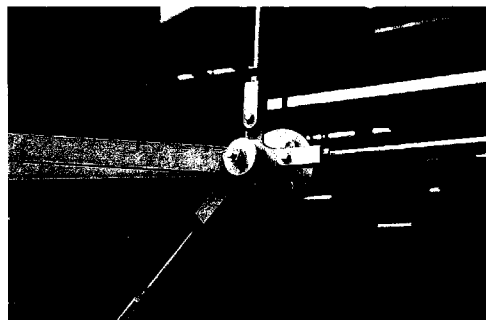
Door verschillende functies (afsluitende, zelfdragende en constructieve) te integreren in het vlakglas, kan bij minimaal gebruik van andere bouwelementen een maximaal transparante façade worden gemaakt. Dit is het uitgangspunt geweest voor de ontwikkeling van de constructieve glasfaçade. De glaspanelen worden frameeloos aan elkaar bevestigd met behulp van metalen knooppunten. Ze kunnen worden gestapeld (stapelschakeling op druk) of opgehangen (hangschakeling op trek). Bij de hangschakeling wordt het bovenste glaspaneel aan de dakconstructie van het gebouw bevestigd, de overige glaspanelen hangen op hun beurt weer aan de bovenste. Een dergelijke glasconstructie draagt zichzelf en behoeft nog een stabiliteitsvoorziening om doorbuiging door winddruk en zuiging te beperken. Een gestapelde glasconstructie lijkt gunstig omdat de druksterkte van glas vier tot vijf keer zo groot is als de treksterkte. Het stabiliteitsprobleem (knik, plooi) dat zich hierbij voordoet, is echter maatgevend. [3.24]

Samenvattend kan de volgende definitie voor de constructieve glasfaçade worden gegeven: een constructieve glasfaçade bestaat uit glaspanelen die zodanig met elkaar zijn verbonden dat krachten tussen de glaspanelen kunnen worden overgedragen; het glas-

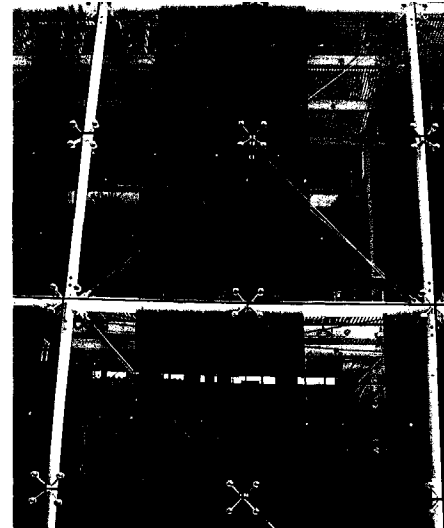




3.99 A *Financial Times Printing Press, London, 1988.*  
architect: *Nicholas Grimshaw & Partners*



3.99 B *Detail glasbevestigingsknooppunt.*



3.100 A *Façade meubelshowroom 'Moda in Casa', Mexico City.*  
architect: *Enriço Norten*

paneel maakt deel uit van het constructieve systeem.

Voor het goed constructief functioneren is de glasfaçade afhankelijk van de glaspanelen. Het risico van de voortgaande instorting ('progressive collapse') is hierdoor aanwezig. Het bezwijken van één glaspaneel mag niet tot gevolg hebben dat de gehele constructie instort. Juist bij glasconstructies is dit een belangrijk aspect vanwege het brosse breukgedrag en de afwezigheid van reststerkte. Het kruislings doorverbinden van de glaspanelen kan hiervoor een goede oplossing zijn. Bij het bezwijken van een glaspaneel blijft het paneel er direct onder hangen aan de platen ernaast en er schuin boven.

### **Puntvormig bevestigde glasfaçade - semi constructieve systemen**

Deze façade heeft als belangrijkste verschil met de traditionele glasfaçade de plaatselijke puntvormige bevestiging van de glaspanelen aan de draagconstructie. (fig. 3.99 A+B) Er is geen sprake van **extra** constructieve belastingen op het glas, dat wil zeggen belastingen anders dan het afdragen van de windbelasting en het eigengewicht (voor dakbeglazing komt daar nog de sneeuwbelasting bij). Hoewel de panelen bij de bevestigingspunten grote spanningsconcentraties kennen (als gevolg van de afdracht van de windbelasting en het eigengewicht), is er geen sprake van een constructieve toepassing van het glas.

Het verschil tussen de **semi-constructieve** en de **constructieve** glasfaçade is de onafhankelijke bevestiging van elke glasplaat aan de draagconstructie. Bij de semi-constructieve glasfaçade wordt elk glaspaneel individueel opgehangen. De krachten worden per glasplaat afgedragen en niet van de ene op de andere

glasplaat. Het wegnemen van een glasplaat heeft dan ook geen gevolgen voor het constructief functioneren van de gevel.

De puntvormig bevestigde glasfaçade bevat drie componenten: de glaspanelen, de knooppunten en de stabiliteitsconstructie. Deze drie componenten zijn in allerlei uitvoeringen beschikbaar, waardoor een grote diversiteit ontstaat. Een projectafhankelijk ontwerp en ontwikkeling van één of meer onderdelen verbreedt het aantal mogelijkheden en versterkt het gebouw-eigen karakter. Het is de taak van de architect, veelal in directe samenwerking met gevelbouwer en glasleverancier, om voor elke specifieke toepassing de optimale façade te ontwerpen. (fig. 3.100 A+B)

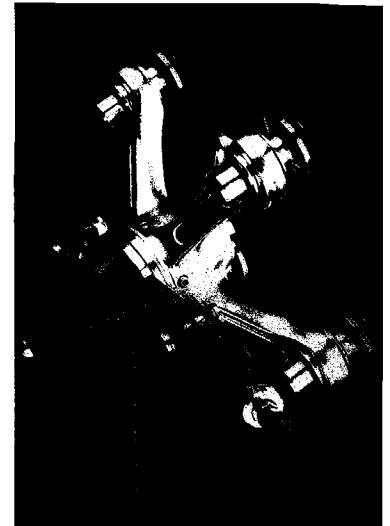
**De glaspanelen** Het glaspaneel kan op een groot aantal wijzen worden samengesteld. Er zijn echter een aantal restricties: als er boorgaten nodig zijn moet het glas volledig voorgespannen zijn en de heatsoak-test hebben doorstaan. In de andere gevallen mag ook gewoon floatglas of halfvoorgespannen glas worden gebruikt. Indien de knooppunten verlijmd worden gelden er restricties ten aanzien van het glasoppervlak in verband met de hechting. In de paragraaf over de constructief verkitten glasfaçade wordt dit verder toegelicht. Voor de eerste puntvormig bevestigde glasfaçaden werd bijna altijd helder blank monolithisch glas gebruikt. Dit werd gedaan vanuit de architectonische gedachte, te bouwen met een maximale transparantie. Voor sommige architecten was dit glas nog niet blank genoeg. Zij maakten gebruik van het extra blanke glas dat was ontwikkeld voor fotovoltaïsche panelen. Indien gebruik wordt gemaakt van isolatieglaspanelen moet de randverbinding van het paneel met sili-



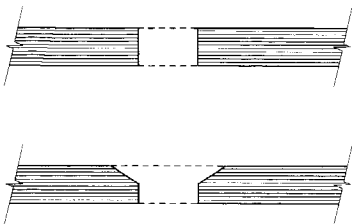
3.100 B *Detail 'Moda in Casa'.*



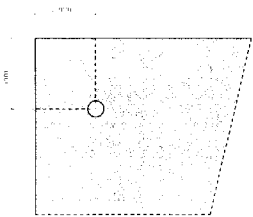
3.101 *Façade OibibiO, Amsterdam.*  
architect: P. van Vliet



3.104 *Gegegoten knooppunt, glasmafçade 'Western Morning News', Plymouth (GB), 1992.*  
architect: Nicholas Grimshaw & Partners



3.102



3.103

conenkit afgedicht worden. Bij bevestiging door de spouw van het glaspaneel (alleen bij boutverbindingen) moet de randverbinding voor een duurzame dichting zeer zorgvuldig worden afgedicht met UV-bestendige materialen.

De achterconstructie die door het toepassen van blank glas prominent zichtbaar wordt moet worden ontworpen als een ruimtelijke, van alle kanten zichtbare constructie. Menig architect en constructeur heeft deze uitdaging aangegrepen om innovatieve knooppunten en achterconstructies te ontwerpen.

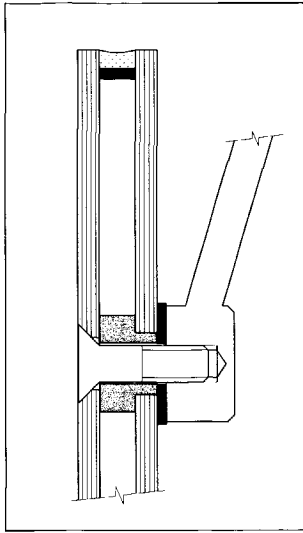
Het toepassen van blank glas bij glasmafçades heeft ook nadelen. De warmtebelasting in de zomer en het warmteverlies in de winter zijn daar voorbeelden van. Maatregelen om de zoninstraling te beperken kunnen het transparante karakter van de glasmafçade schaden. Blanke zonbeheersende beglazing in combinatie met een gunstige oriëntatie kan een oplossing zijn. Echter veel van de neutrale coatings zijn zacht waardoor ze gemakkelijk beschadigen, gebruik ervan bij geboorde glasbevestigingen is dan ook niet aan te raden. Een geïntegreerde zonwering is effectief en kan een extra dimensie toevoegen aan het ontwerp. Duidelijk is dat deze zaken tijdens het ontwerpproces uitgedacht moeten worden. (fig. 3.101)

**Pvb-gelamineerd glas** mag in geen geval worden ingeklemd. De klemkrachten zouden de pvb-folie doen uitvloeien. Er is nog geen NEN-norm waarin rekeneenheden voor pvb-gelaagd glas worden vermeld.

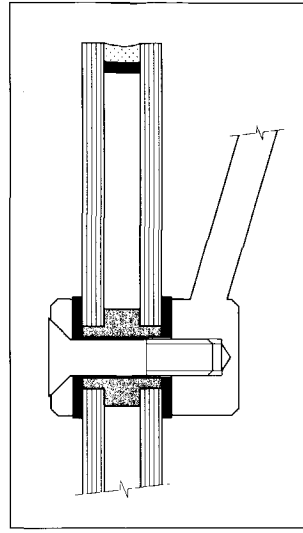
**Epoxy-gelamineerd glas** is net als pvb-gelamineerd glas opgebouwd uit meerdere glasplaten. Het grote verschil is dat de glasplaten hierbij zo hecht verbonden

en constructief effectief zijn, dat sterktes bereikt kunnen worden tot 90% van die van een monolitische glasplaat van dezelfde dikte. Het met epoxy gelamineerde glas heeft bouwfysisch interessante eigenschappen; het heeft een hoge absorptie van opvallende zonstraling met behoud van transparantie en is sterk geluidabsorberend. Een nadeel van gelijmd glas is dat het moeilijk is te controleren of de kunstshars gelijkmatig is uitgereageerd; dat is bepalend voor de sterkte. Bovendien is de fabricage handwerk en komen ingesloten luchtballen voor bij onzorgvuldig werk.

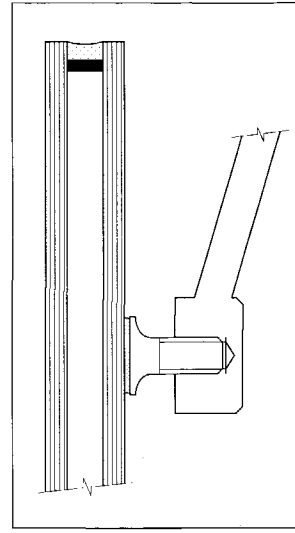
**Gaten in het glas** Bij de mechanische verbinding wordt het glaspaneel met bouten door het glas vastgezet. Afhankelijk van het type mechanische verbinding zijn dit rechte cilindrische gaten of gedeeltelijk conische gaten. (fig. 3.102) Het boren van gaten kan op een aantal wijzen geschieden. In de huidige praktijk worden de gaten veelal geboord en gesouvereind met een holle diamantboor. Voor de sterkte is het heel belangrijk dat de randen van het boorgat zo gaaf mogelijk zijn, micro-beschadigingen zijn potentiële breukpunten. Na het boren moet het gat gesouvereind of geslepen worden voor de afwerking. Het boren van de gaten moet vóór het voorspannen gebeuren. In de meeste gevallen bevat een glaspaneel 4 gaten op korte afstand van de hoeken. De minimale afstand tussen de glasrand en het boorgat is afhankelijk van de glasdikte; bij 8 mm glasdikte is dit ca. 85 mm en bij 10 mm glasdikte ca. 100 mm. (fig. 3.103) Een goede warmteafvoer tijdens de bewerking is belangrijk om temperatuurspanningen te voorkomen. Rechte gaten kunnen ook met een watersnijmachine (waterjet) of met een laser worden aangebracht. De gaten zullen



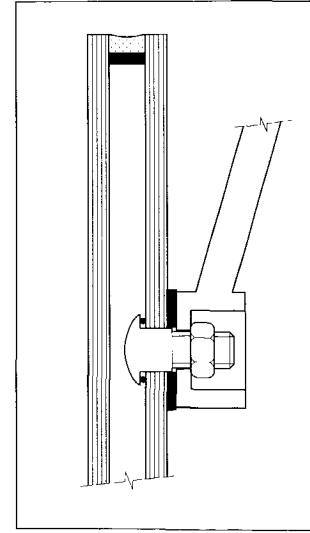
3.106 Mechanische verbinding gebaseerd op stuikdruk.



3.107 Mechanische verbinding gebaseerd op wrijving.



3.108 Chemische verbinding (half verlijmd, half verkit).



3.110 Gecombineerde verbinding (half mechanisch, half verkit).

met het toenemende gebruik van nieuwe technieken een hogere kwaliteit hebben en met kleinere maattoleranties in het glaspaneel kunnen worden aangebracht.

**Het glasbevestigingsknooppunt** Een in het oog springende component van de puntvormig bevestigde glasfaçade die ontbreekt bij de traditionele vliesgevel, is het knooppunt tussen de glasplaat en de achterconstructie. Het metalen knooppunt is een geliefd onderwerp van vormgeving. Ook vanuit technisch oogpunt blijkt het een interessant object. De overdracht van de verschillende belastingen van het glas naar de achterconstructie, en tussen de glaspanelen in het geval van de constructieve glasfaçade, geschiedt door deze knooppunten. (fig. 3.104)

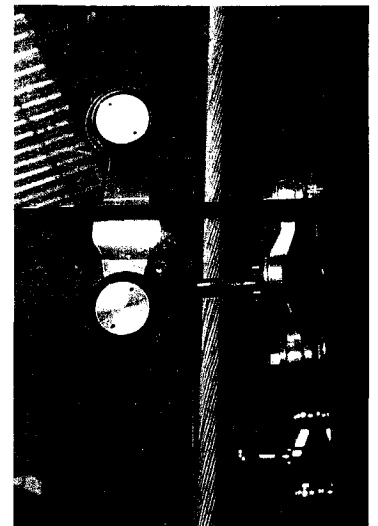
Er zijn een aantal verbindingen tussen de glasplaat en het knooppunt mogelijk. Het eerste onderscheid is dat tussen een mechanische, een mechanisch/chemische en een chemische verbinding. Bijna alle op het moment toegepaste systemen gaan uit van een mechanische verbinding maar dat zal in de toekomst veranderen. Mechanische verbindingen zijn te verdelen in systemen die gebruik maken van stuikdruk (de verzonken boutverbinding) en systemen die gebaseerd zijn op wrijving (de ingeklemde boutverbinding). Bij beide boutverbindingen moeten er gaten in het glaspaneel worden aangebracht.

**De mechanische verbinding** Bij de verzonken boutverbindingen (fig. 3.105 en 106) worden de krachten in het glas door stuikdruk van de tegen de gatrand aangedraaide bout overgedragen op het knooppunt. De bout heeft een conische kop die zich als wig in het

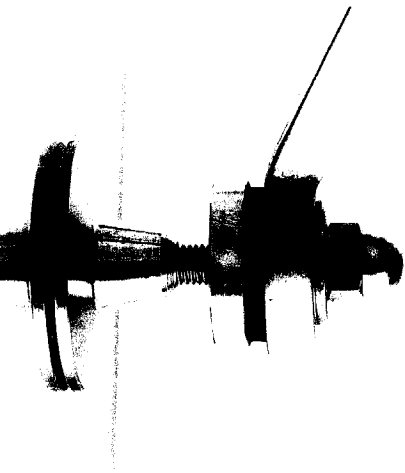
glas vastzet. Hierdoor ontstaat een complexe spanningsverdeling met grote trekkrachten. Piekspanningen rond het gat moeten te allen tijde worden voorkomen omdat de onregelmatigheden, ontstaan tijdens de bewerking, scheuren kunnen inleiden en daarmee glasbreuk veroorzaken. (De mate van harding van de glasranden, en dus ook rond het gat, is minder van kwaliteit). Bij verzonken boutverbindingen is een flexibele verbinding van het glaspaneel aan het knooppunt wenselijk om spanningen als gevolg van buigingsmomenten te voorkomen. Een scharnierend knooppunt in het hart van het glas is dan de meest optimale oplossing.

De op wrijving gebaseerde systemen (fig. 3.107) zijn wat de optredende spanningen betreft beheersbaarder. De glasplaat wordt ingeklemd tussen metalen schijven waartussen kunststof of rubber ringen als intermediair zitten. Omdat de schijven een groter oppervlak hebben dan het gatoppervlak ontstaat er een goede spanningsverdeling. De voor spanningen gevoelige glasranden rond het cilindrische gat worden niet belast door trekspanningen. Door de hoge druksterkte van het glas kunnen grote krachten door middel van wrijving betrekkelijk gelijkmatig het glas worden ingeleid.

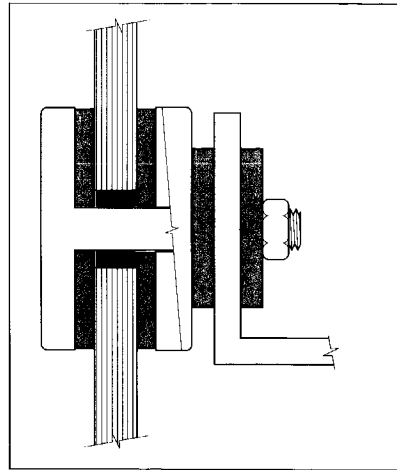
**De chemische verbinding** Bij de chemische verbinding (fig. 3.108) tussen het glaspaneel en het knooppunt hoeven er geen gaten te worden geboord. Dit is een groot voordeel vooral bij het toepassen van isolatieglaspanelen: een goede dampdichting van het isolatieglas bij de doorvoer van bouten door de spouw is een complexe aangelegenheid. Er zijn een aantal chemische verbindingen mogelijk, de stijve verlijming,



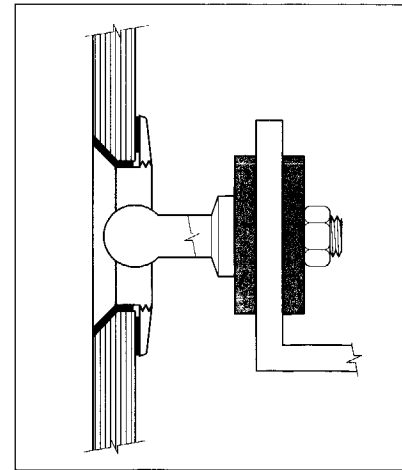
3.105 Verzonken mechanische verbinding, hoekdetail.



3.109 Chemische puntvormige bevestiging.



3.111 Stijve glasverbinding.



3.112 Scharnierende glasverbinding.

de flexibele verkitting en de stijve versmelting (lassen). Alle verkeren nog in een experimentele fase. De eerste projecten met een chemische verbinding voor kozijnloze dakbeglazingen zijn inmiddels uitgevoerd. De schuifspanningen die optreden bij dakbeglazing zijn een stuk lager dan bij een verticale toepassing zoals in de gevel. Door het geringe lijmoppervlak van de puntvormige bevestigingselementen zijn de spanningen als gevolg van het eigengewicht, winddruk en zuiging per  $\text{mm}^2$  hoog, zeer hoog voor verticale toepassingen. De in de handel zijnde kitsoorten (onder andere die bij de constructief verlijmde glasfaçade worden toegepast) kunnen dergelijke spanningen niet opnemen. De resultaten van proeven met thermohardende lijmen zijn bemoedigend. Gezien de snelle ontwikkelingen in de lijmindustrie zullen er op korte termijn lijmen beschikbaar komen waarmee een plaatselijke chemische bevestiging van glaspanelen in de gevel mogelijk wordt. Behalve dat ze spanningen moeten kunnen opnemen, mogen lijm en kit niet verouderen onder invloed van UV-licht of vocht. Dit is een belangrijke eis waarop chemische verbindingen getest dienen te worden. Ook kruip is een onderwerp van aandacht, bij sommige toepassingen zullen mechanische veiligheidsankers, de zogenaamde 'angsthaken', moeten worden toegepast (deze gaan door de kruispunten van de voegen). De op het moment beschikbare lijm- en kitsoorten zijn: poly-urethaan of poly-acetaat lijmen; UV-uithardende lijmen, alleen voor interieurtoepassingen; glascement en siliconenkit. (fig. 3.109)

**De gecombineerde verbinding (mechanisch/chemisch)** Er zijn ook combinaties van de mechanische en chemische verbinding mogelijk. Een voor-

beeld vormen de glasfaçades voor het Nederlands Architectuur Instituut te Rotterdam (Jo Coenen i.s.m. Octatube, 1993). (fig. 3.110) Hier is alleen het binnenblad van het isolatieglaspaneel mechanisch verbonden met het knooppunt, het buitenblad is chemisch verkit met het binnenblad door middel van een randafdichting met siliconenkit.

#### **Constructieve aspecten van de glasverbinding**

Te allen tijde moet worden voorkomen dat er hoge spanningen rond de gaten c.q. de glasverbinding ontstaan. Deze spanningen kunnen ontstaan door inklemningsmomenten, onder invloed van winddruk of windzuiging, thermische uitzetting, het eigengewicht, zetting van de draagconstructie en sneeuw- en impulsbelastingen. De inklemningsmomenten zijn te voorkomen door een flexibele verbinding tussen het glas en het glasbevestigingspunt. Deze flexibele verbinding kan worden gerealiseerd met behulp van scharnieren of elastische materialen. De glasplaat zal ter plaatse van de bevestigingspunten vrij moeten kunnen roteren of doorbuigen. In het meest ideale geval ligt het scharnier in het hart van het glaspaneel. Ligt het scharnier buiten het hart van het glaspaneel dan ontstaan er momenten door excentrisch aangrijpende normaalkrachten.

We moeten dus een onderscheid maken tussen een berubberde **starre of stijve** en een **scharnierende of roterende** verbinding (fig. 3.111 en 3.112). Dit onderscheid geldt zowel voor de mechanische als voor de chemische verbindingmethoden. De keuze voor een star of scharnierend glasbevestigingspunt heeft een aantal consequenties. De starre bevestiging is eenvoudiger en daarom goedkoper. Omdat dit glasbe-



3.116 Spanstaaf-onderconstructie voor het dragende glasdak van de Bloemenpoort te Hulst (NL).

vestigingspunt bij doorbuiging niet in grote mate kan roteren zullen de eisen ten aanzien van de stijfheid van de glasplaat en de constructie veel hoger zijn. Bij een glasplaat van dezelfde afmetingen moet er voor een stijf glasbevestigingssysteem een dikkere (en dus buigstijvere) glasplaat worden gekozen dan voor een scharnierende bevestiging. Door het gebruik van vervormbare rubber ringen die een zekere vervorming kunnen opnemen, wint de stijve verbinding aan flexibiliteit en kan zij een geringe doorbuiging verwerken. [3.23] In het algemeen wordt gewerkt met een doorbuiging in de orde van grootte van de glasdikte.

Een andere belangrijke constructieve eis aan het knooppunt is dat het schuifkrachten van de ene op de andere glasplaat moet kunnen overdragen. Indien de constructieve glasfaçade zijn eigen stabiliteit moet verzorgen is deze krachtoverdracht van groot belang; de glaspanelen mogen niet gaan schrammen. Het knooppunt moet, ondanks de erop werkende krachten, de afzonderlijke glasplaten ten opzichte van elkaar voldoende fixeren. De voeg tussen de glasplaten is meestal niet geschikt om de schuifkrachten over te dragen, [3.26] maar moet elastisch genoeg zijn om tijdelijke vervormingen te kunnen opnemen (zelfs de vervormingen door de glasplaten tijdens de maximale rotaties). (fig. 3.113 t/m 3.115)

Met de hier omschreven constructieve randvoorwaarden zou het programma van eisen voor het ideale knooppunt er als volgt uitzien:

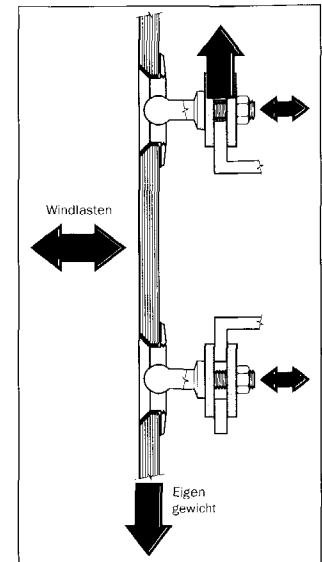
- krachtoverdracht tussen verbindingsstuk en de glasplaat door middel van wrijving;
- rotatievrijheid in alle richtingen loodrecht op het glasvlak;
- trek-, druk- en afschuifkrachten moeten van paneel

op paneel kunnen worden overgedragen;

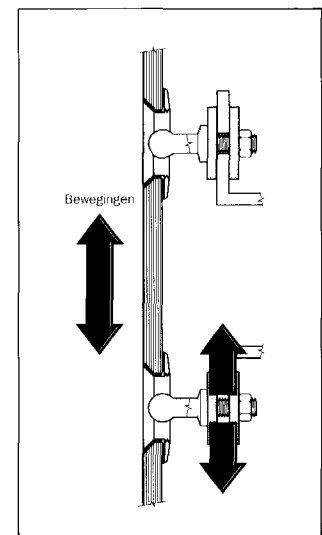
- minimaal van volume ten behoeve van een maximale transparantie.

Het knooppunt moet naast deze constructieve eisen ook aan een aantal uitvoeringstechnische randvoorwaarden voldoen. De belangrijkste eis is dat het maattoleranties kan opnemen, die onder andere ontstaan bij het plaatsen en het voorspannen van het glas en door de verschillende maattoleranties van de componenten van de glasfaçade en de achterconstructie. De gatafstanden kunnen afwijken van de ontwerpmaten. De achterconstructie bevat gewoonlijk een veel grotere mate van onnauwkeurigheid. Het neutraliseren van de toleranties in de bouwdeelen, componenten en elementen is van uiterst belang voor een nauwkeurige uitvoering.

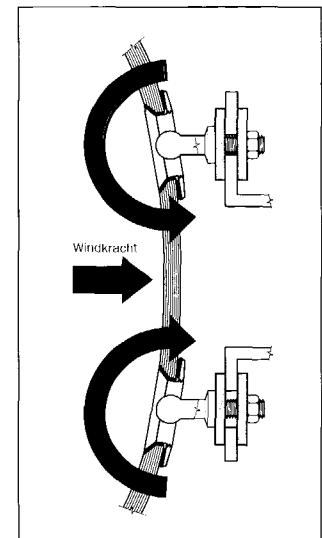
**De achterconstructie** De achterconstructie heeft afhankelijk van het type glasfaçade een dragende functie en/of stabiliserende (beide in het geval van de semi-constructieve glasfaçade). Gegeven de gewenste transparantie zal de achterconstructie zo licht en fragiel mogelijk moeten zijn. Massieve trekstaven, kabelconstructie of glazen stabilisatoren liggen dan voor de hand maar zijn geen absolute 'must'. Bestaande bouwcomponenten in het massa-actieve gebied (betonnen kolommen, balken en vloerranden) danwel in het vector-actieve gebied (vakwerkliggers) kunnen evengoed benut worden. Zolang de achterconstructie maar voldoende sterkte, stijfheid en stabiliteit bezit om zijn functie naar behoren te vervullen. De esthetische overwegingen zijn dan ook vaak doorslaggevend. (fig. 3.116) Aan de samenhang tussen de kozijnloze glaspanelen, de knooppunten en de achter-



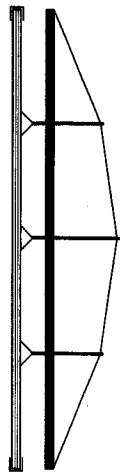
3.113 Belastingen.



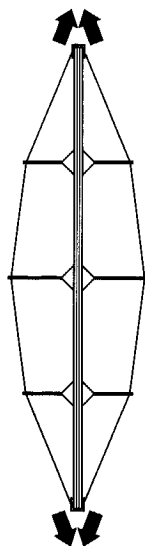
3.114 Bewegingen ten gevolge van verschil in thermische uitzetting.



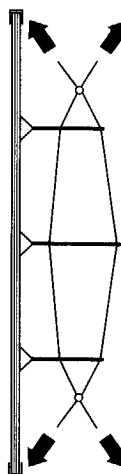
3.115 Roterende bewegingen onder invloed van windbelasting.



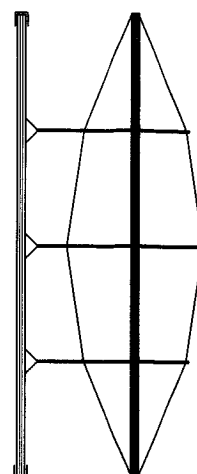
3.117 A Onderspannen buis en kabel.



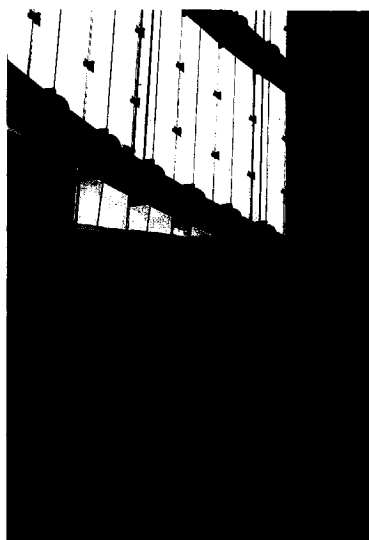
3.117 B Tweezijdig afgespannen glasconstructie.



3.117 C Visgraat.



3.117 D Lensvormig.



3.118 A Glazen stabilisatoren, ingang Messeturm, Frankfurt (D), 1991. architect: Murphy/Jahn

constructie wordt een groot belang toegekend. Gewone, slanke of superslanke constructies van diverse materialen behoren tot de mogelijkheden. Voorbeelden van gewone op buiging belaste constructies zijn standaard stalen profielen (HEA, IPE, etcetera), betonnen kolommen en gelamineerde houten balken. Tot de slanke constructies behoren ronde en ellipsvormige stalen buizen, geëxtrudeerde mastvormige aluminium profielen en samengestelde vakwerkliggers. Tot de superslanke constructies behoren de actief of passief voorgespannen trekspanten, vervaardigd uit kabels of massief stafstaal of uit een combinatie van kabels of trekstaven met een centrale drukbuis. [3.23] Het momentenverloop bepaalt de karakteristieke buikvorm, lensvorm of visgraatvorm. (fig. 3.117 A+B+C+D)

Een mogelijkheid is een achterconstructie die bestaat uit glazen stabilisatoren (vinnen), een stabilisatiemiddel uit de jaren zestig. (fig. 3.118A+B) Door de transparantie van de stabilisatoren komt de nadruk van de glasfaçade nog meer te liggen op de knooppunten. De verticale glazen stabilisatoren kunnen van vloer tot vloer lopen, of slechts een gedeelte van de façade overspannen om zo het vloeroppervlak vrij te houden van obstakels. Een voordeel van zo'n glazen achterconstructie is dat er geen differentiële uitzettingen onder invloed van temperatuur voorkomen. Dit geldt niet voor de metalen constructies, waarvan de uitzettingscoëfficiënt altijd hoger ligt dan die van glas. [3.26] Een nadeel is echter dat door een groot aantal glazen vinnen op een rij een groene kleur ontstaat, waardoor de transparantie in de zijdelingse richting sterk vermindert.

De achterconstructie kan aan de buitenzijde, aan de binnenzijde of zowel aan de binnen- als aan de bui-

zijde van de glasfaçade zijn geplaatst. Dit is volledig afhankelijk van de esthetische wensen van de architect. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de architect samen met zijn consultants en gewoonlijk met een gevelbouwer, de achterconstructie tot beeldbepalend element in het gebouw maakt. Voorbeelden die dit onderschrijven zijn onder andere:

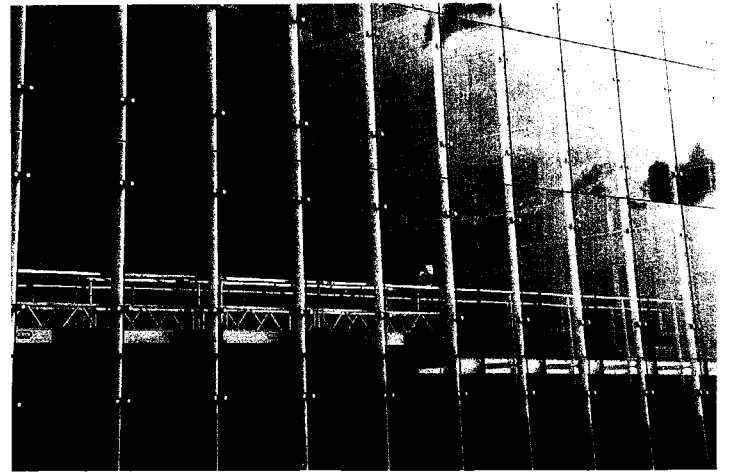
- Western Morning News - Nicholas Grimshaw (Plymouth, 1992);
- Financial Times Printing Press - Nicholas Grimshaw (London, 1988); (fig. 3.99)
- Channel 4 Headquarters - Richard Rogers (London, 1995); (fig. 3.98A+B)
- NAI - Jo Coenen (Rotterdam, 1993).

**Construeren met glas - algemeen** Bouwen met glas betekent rekening houden met de specifieke eigenschappen van dit materiaal, zoals de hoge treksterkte, de lage breuksterkte, de elasticiteit en het ontbreken van vervorming vóór breuk. Zolang met deze materiaaleigenschappen voldoende rekening wordt gehouden, kan er met glas geconstrueerd worden. Omdat construeren met glas nog betrekkelijk nieuw is, en de meeste mensen glas associëren met 'breekbaar', overheerst de gedachte van kwetsbaarheid en voorzichtigheid. In de toekomst kan glas, nadat er voldoende ervaring is opgedaan wellicht een volledig betrouwbaar constructiemateriaal worden. (fig. 3.119)

Om optimaal van de hoge treksterkte van het glas te kunnen profiteren mag het glasoppervlak (vooral aan de bewerkte randen) niet beschadigd zijn. Dit is echter alleen onder laboratoriumomstandigheden te realiseren. De effectieve treksterkte wordt bepaald



3.119 Glazen verbindingsbrug kantoor Kraaijvanger. Urbis  
architect: D.J. Postel (i.s.m. R. Nijse - ABT)



3.120 Puntvormig bevestigde glasfaçade, Ministerie VROM, Den Haag.  
architect: Jan Hoogstad

door de oppervlaktegesteldheid. In de praktijk worden veel lagere waarden aangehouden (zie hoofdstuk glas, zie ook NEN 6702) dan theoretisch mogelijk is. Dit heeft ermeê te maken dat de sterkte in het glas gespreid wordt als gevolg van het floatglasprocédé. Ook door het thermisch voorspannen of 'harden' (een moeilijk beheersbaar proces) is de spreiding in sterkte groot. Spanningen kunnen zich in het glas niet herverdelen. De karakteristieke sterkte van een glasplaat is niet te bepalen op basis van de 5% onderschreidingskans. Dit is alleen onder verhoging van temperatuur mogelijk (relaxatie). Door de brosheid van het materiaal zijn flexibele verbindingen en constructies te prefereren boven starre, het glas moet vrij kunnen bewegen zodat spanningen zich via de flexibele constructie kunnen herverdelen. Gespannen draadconstructies worden dan ook steeds meer toegepast.

Mogelijk zijn de veiligheidsvoorschriften voor vlakglas in de bouw aan de hoge kant. In de autoindustrie wordt niet gek opgekeken van buig- en trekspanningen boven de 120 N/mm<sup>2</sup> (in de voorruit van een rijdende autobus komen deze krachten bij hoge snelheden voor).

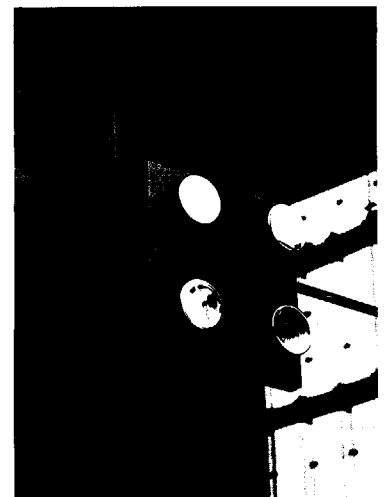
Glas is onderhevig aan materiaalmoetheid, de belastingsperiode is daarom bepalend voor de sterkte. Er bestaat echter nogal wat onbekendheid met de statische vermoeiing van floatglas. Door deze vermoeiing verliest normaal floatglas onder permanente statische belasting in de loop der jaren tot tweederde van zijn sterkte. [3.24] Deze vorm van vertraagd-elastisch-gedrag wordt in de literatuur het 'size effect' genoemd. De drukbelasting van glas ligt op ongeveer 400 N/mm<sup>2</sup> (de praktische zuivere druk gemeten onder laboratoriumomstandigheden ligt rond de 3200

N/mm<sup>2</sup>). Naast de duur van de belasting is ook het soort constructieve toepassing bepalend voor de rekenwaarde. We onderscheiden primaire en secundaire constructieve glastoepassingen. Bij de primaire constructieve glastoepassingen zijn de krachten op het glas groot en de gevolgen van bezwijken ook. Bij de secundaire constructieve glastoepassingen zijn de krachten beperkt en vaak niet constant; het bezwijken van het glas heeft ook minder ernstige gevolgen.

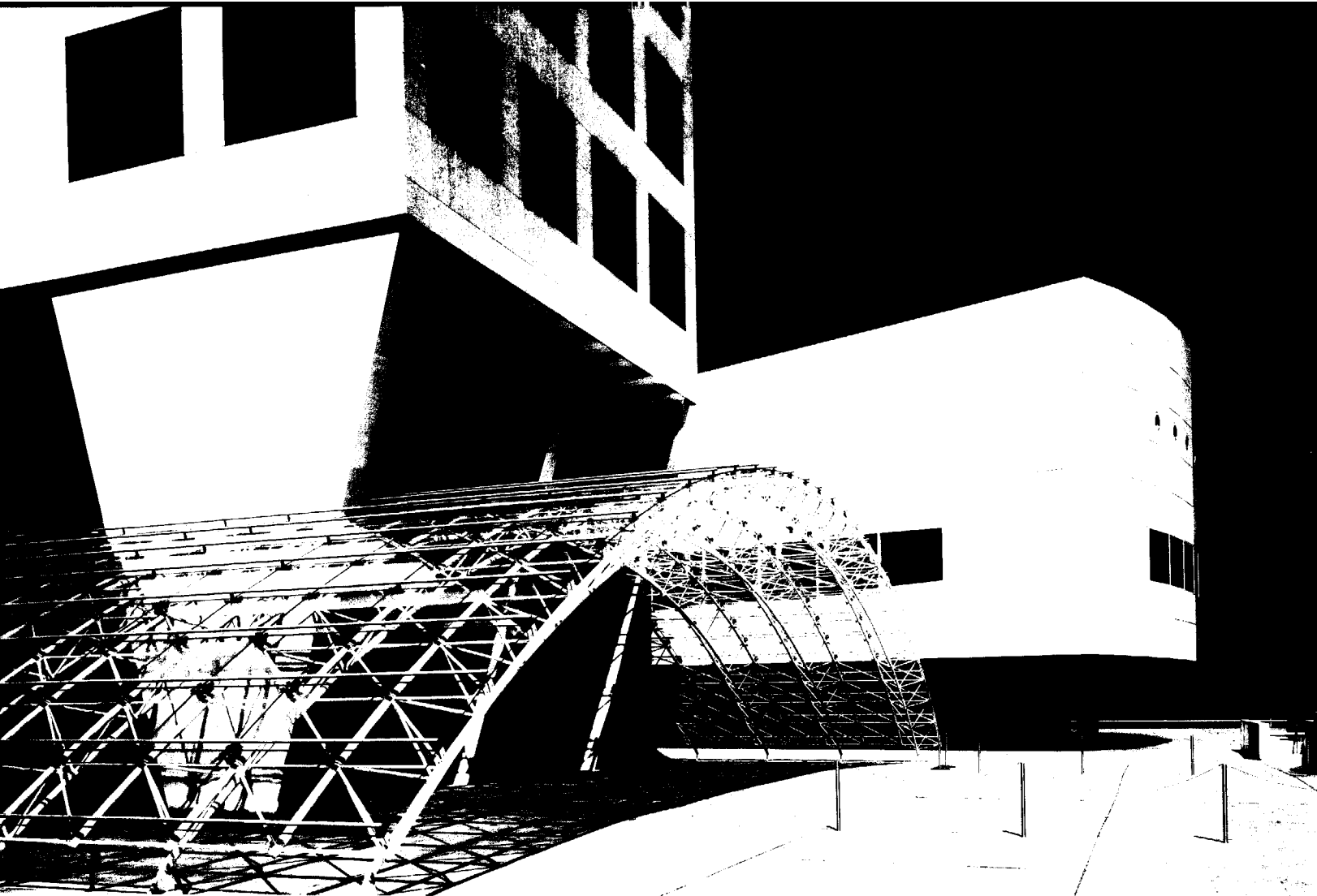
**Veiligheid** Een glasconstructie is 'voldoende' veilig wanneer het risico van vervormen of bezwijken aanvaardbaar klein is. De aanvaardbaarheid van een risico is een keuze. Glas heeft geen ingebouwd waarschuwingsmechanisme bij het overschrijden van de belasting. Wanneer de bezwijkgrens wordt overschreden zal het (voorgespannen) glaspaneel ineens in zijn geheel bezwijken. Dit is een fysische eigenschap van glas die bij berekeningen van glasgevelconstructies leidt tot hoge veiligheidscoëfficiënten en dus tot lage waarden voor de buig- en treksterkte.

Een éénduidige strategie voor het veilig ontwerpen van glasconstructies is niet te geven, wel zijn er enkele aanwijzingen te geven:

- De bezwijkkans kan worden beperkt door zwaarder te dimensioneren of glas met een hoger incasseringsvermogen te kiezen.
- De op het glas werkende spanningen moeten zo laag mogelijk worden gehouden.
- Een veiligheidsmechanisme kan worden ingebouwd, bijvoorbeeld een gelaagde opbouw waarvan de delen afzonderlijk in staat zijn de volledig belasting op te nemen of een tweede constructieve route in de achterconstructie.
- Er moet uiterste zorgvuldigheid worden betracht tij-



3.118 B Detail ingang Messeturm, Frankfurt.



3.122 VSB Bank, Utrecht.  
architect: Van Mourik Vermeulen Architecten B.V.

dens het gehele proces van glasproductie tot glasplaatsing.

- Bij primaire glasconstructies is het soms raadzaam de glazen bouwelementen stuk voor stuk niet-destructief te testen om zo eventuele zwakheden in het glas op te sporen.
- Voorgespannen glas moet getest worden op nikkel-sulfiet-insluitingen. Dit wordt gedaan door middel van de heat-soak-test, hoewel deze geen 100% zekerheid geeft.

Voor een effectieve veiligheidsstrategie bij glasconstructies moeten de verschillende belastingen in ogenschouw worden genomen: statische kortduurbelasting, langeduurbelasting, impulsbelasting, dynamische belastingen (bijvoorbeeld aardbevingen) en thermische belasting.

De psychologische veiligheid van de voorbijganger of de gebruiker kan in sommige gevallen maatgevend zijn bij het berekenen van glasconstructies. Zo kan het maximaal doorbuigen bij wisselende windbelastingen technisch ongevaarlijk zijn, maar bij de voorbijganger een gevoel van onveiligheid oproepen. Vooral bij reflecterende glassoorten met hun spiegelende oppervlak kan dit het geval zijn. Deze gevoelsmatige veiligheid

zal in sommige gevallen als maatgevend aangehouden worden bij de berekening van glasconstructies. (fig. 3.122)

### Trends en Ontwikkelingen

- Nieuwe verbindingstechnieken: verlijmen van glas, lassen, versmelten van glas en metaal.
- Een glasunit opgebouwd uit twee dunne glasplaten met daartussen een kunststof plaat als intermediair. Deze kunststof intermediair moet goed isoleren, sterkte toevoegen, kleurneutraal zijn, dezelfde uitzettingscoëfficiënt hebben als glas, warmteabsorberend zijn, buigsterk zijn en goed te verbinden zijn met glas. Een dergelijke glasunit zou de isolatieunit zoals we die nu kennen, geheel kunnen vervangen.
- Nieuwe glas-glas-bevestigingen, bijvoorbeeld met behulp van glazen klinknagels.
- Storten van glas, het nat verwerken zoals beton. Hierdoor kunnen grote gevel- en dakvlakken als één glasplaat uitgevoerd worden.
- Inductielijmtechnieken.
- Een transparante, goed isolerende randafdichting.
- Snelle lasersnijmachines voor het snijden van en boren in glas zonder beschadigingen en spanningen.



# Oppervlaktebehandeling en reinigingsonderhoud



## ALGEMEEN

**A**luminium heeft een grote affiniteit met zuurstof, zodat in lucht onmiddellijk een dunne doorzichtige oxidehuid gevormd wordt. Deze oxidehuid is gesloten: bij zuiver aluminium kan de zuurstof uit de lucht er niet doorheen dringen. Hierdoor wordt het substraat beschermd tegen corrosie: aluminium 'roest' niet. Zuiver aluminium is zacht en heeft onvoldoende mechanische sterkte voor toepassing in gevels. De mechanische sterkte kan verhoogd worden door het aluminium plaat- en profielmateriaal te legeren. Een gevolg van het legeren is dat de natuurlijke oxidehuid minder zuiver en homogeen wordt gevormd. Door de agressiviteit van het milieu wordt het oppervlak van het substraat zwaar belast. Door deze twee factoren – legering en milieubelasting – is de natuurlijke oxidehuid bij buitenexpositie onvoldoende in staat om (plaatselijk) corrosie van het substraat te voorkomen.

Daarom is het noodzakelijk het aluminium te voorzien van een bescherm laag, in ieder geval de delen die zichtbaar zijn aan de buitenzijde van de gevel. Voor het gecombineerd **beschermen** en **verfraaien** van het substraat worden twee oppervlaktetechnieken veel toegepast: anodiseren en lakken. (fig. 4.0.2) In dit hoofdstuk worden de twee belangrijkste oppervlaktebehandelingen van aluminium voor de gevelbouw behandeld: anodiseren en moffellakken. Voor plaatwerk wordt nader ingegaan op het coil-anodiseren en coilakken (coilcoaten). Aansluitend wordt het onderhoud van behandeld aluminium besproken.

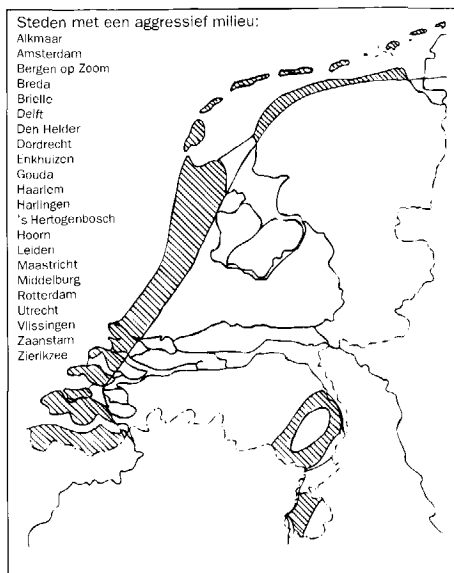
## ANODISEREN

**I**n natuurlijke staat bedraagt de laagdikte van de oxidehuid van aluminium slechts 0,01 tot 0,2 micrometer. Door anodisch oxideren wordt de oxidelaag dikker. De industriële toepassing van dit proces is in 1923 ontwikkeld.

Anodisch oxideren, ook genaamd anodiseren of eloxeren, is het elektrochemisch proces waarbij de oxidehuid ( $Al_2O_3$ ) van aluminium procesmatig opgebouwd wordt tot een gewenste laagdikte. Tijdens het anodiseren wordt door stroomdoorgang aan de oppervlakte van het aluminium door ontleding van water zuurstof vrijgemaakt. Deze zuurstof komt beschikbaar in de vorm van atomen die uiterst reactief zijn en die zich binden met het aluminium. Hierdoor wordt een oxide laag op het substraat gevormd die vele malen dikker is dan de natuurlijke oxidehuid.

Technisch is een anodiseerafwerking de meest natuurlijke veredelingsmethode van aluminium. De natuurlijke neiging tot het vormen van een gesloten oxidehuid wordt productie-technisch overgenomen en doorgezet voor de vorming van een solide bescherm laag met een fraai uiterlijk. Anodiseren was tot ca. 1980 een van de meest toegepaste oppervlaktebehandelingstechnieken. Daarna nam het moffellakken van aluminium gevelmateriaal een grote vlucht. Vanaf het begin van de jaren negentig komt het anodiseren weer meer in de belangstelling.

In de architectuur wordt een anodiseerlaagdikte van 20 tot 25 micron gevraagd. In Nederland is voor buitenzichtwerk een anodiseerlaagdikte van 20 micron voorgeschreven, maar in een agressieve of maritieme omgeving (fig. 4.1.1) is 25 micron vereist; het maxi-



4.1.1 Milieu-agressieve gebieden in Nederland.

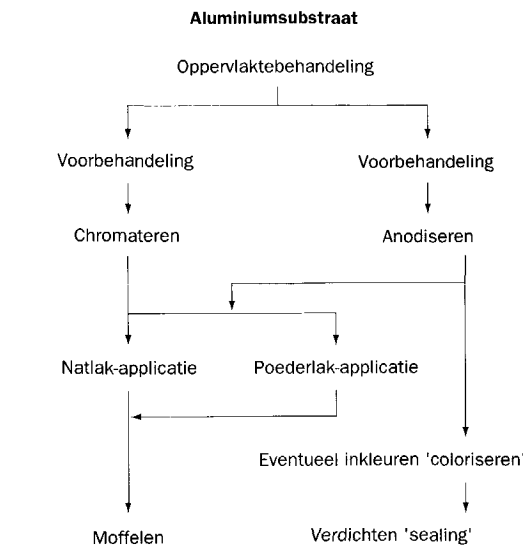
mum is in alle gevallen 35 micron. In de ons omringende landen zijn soms andere laagdikte-eisen vastgesteld. Voorafgaande aan het anodiseren kunnen de profielen (en ook plaatmateriaal, doch dit komt weinig voor) een mechanische bewerking ondergaan om een gladder oppervlak te verkrijgen (polijsten).

De anodiseerlaag is een zeer harde, glasachtige, doorzichtige, duurzame oxidelaag, die een onlosmakelijk deel van het materiaal is. Door verdichting van de poriën ('sealing') verkrijgt men een grotere corrosieweerstand. (fig. 4.1.2 t/m 4.1.5)

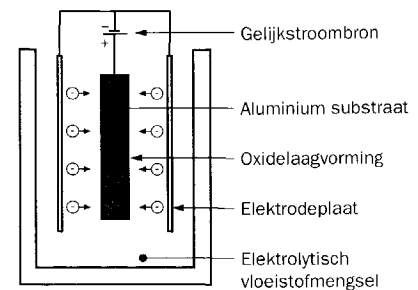
Anodiseren kan naturel ('blank') en in een aantal buitenbestendige kleuren uitgevoerd worden. Voor binnentoepassing zijn meer kleurafwerkingen mogelijk. De anodiseerlaag is geen dekkende oppervlakte-afwerking. Daardoor blijft de structuur van het substraat zichtbaar (oneffenheden zoals trek- en walsstrepen). Ook legeringsvariaties aan de oppervlakte van het substraat zijn zichtbaar door plaatselijke, streep- of vlek-vormige kleurverschillen.

Zowel het legeren van aluminium als de procesomstandigheden van het anodiseren, hebben invloed op de kleur van de anodiseerlaag. Door variaties in temperatuur tijdens de profielextrusie of tijdens de afkoeling erna kunnen optische verschillen in de anodiseerlaag ontstaan. Al met al moet bij anodiseerwerk met enige kleur- en glansvariatie rekening gehouden worden. Het is aan te bevelen vooraf grensmonsters vast te stellen, zodat een norm vastligt voor de beoordeling van het geanodiseerde materiaal. De grensmonsters dienen voor het beoordelen van kleur- en andere afwijkingen, zoals trekstrepen bij profielen.

Afhankelijk van het type legering kan de kleur van de anodiseerlaag blank tot grijs zijn (grijs door een ver-



4.0.2 Het moffelen en anodiseren van aluminium gevel-elementen: plaat en profiel.

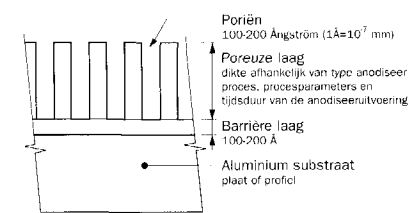


4.1.2 Anodiseerproces.

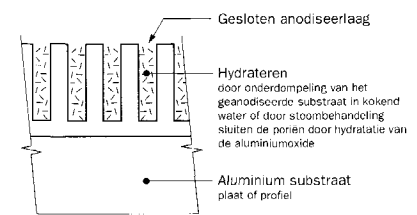
hoging van het siliciumgehalte). Een aantal buitenbestendige kleuren zijn mogelijk. Om de kleur zo goed mogelijk te kunnen beheersen dient de aluminiumlegering in anodiseerbaarheid te worden besteld. Hieronder verstaan we een gebruikelijke aluminiumlegering, met minder verontreinigingen en met een gelijkmatige verdeling van legeringsbestanddelen. Door **anodiseer-kwaliteit** te bestellen heeft men meer zekerheid dat er bij het anodiseren geen vlekken, strepen of andere optische verschillen zullen ontstaan. Voor niet-zichtwerk is anodiseerbaarheid van het substraat niet nodig; bij technisch anodiseren is alleen de beschermende functie van belang.

Voor aluminium **plaatwerk** met anodiseerbaarheid wordt meestal de legering AlMg1 gebruikt (fig. 4.1.6); door speciale behandeling wordt een zuiver en homogeen plaatmateriaal bereikt. De hoge kwaliteit wordt bereikt door de walsblokken aan de einden af te zagen en rondom af te frezen om niet-homogene delen te verwijderen. De walsblokken worden langer voorverwarmd en bij het tussengloeien wordt beschermgas gebruikt. Bij hoge eisen aan kleur- en structuurgelijkheid is het wenselijk het plaatmateriaal per object in één charge te bestellen.

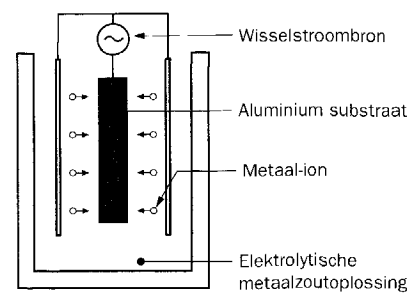
Voor de anodiseerbaarheid van **profielmateriaal** wordt speciaal gelet op het gebruik van goed gehomogeniseerde extrusiebillets en de legeringskwaliteit. Tijdens de extrusie van de ingots (billets) wordt de 'huid' afgestroopt en met een flink eindstuk als schroot afgevoerd. In deze afvalende delen zitten de meeste verontreinigingen, zoals oxiden, die daardoor niet in het produkt terecht komen. Door de speciale behandeling worden oppervlaktestructuur, substraatlegering en verontreiniging binnen voorgeschreven grenzen gehou-



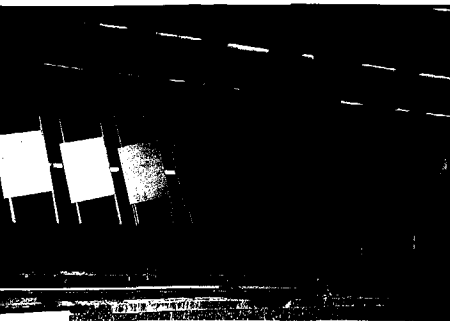
4.1.3 Anodiseerlaag.



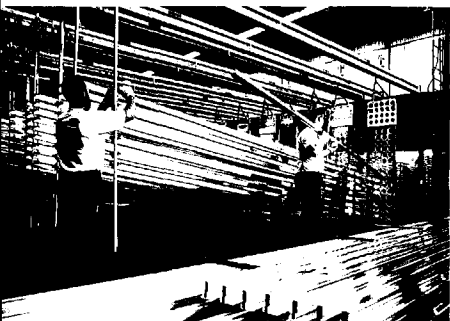
4.1.4 Sealen (verdichten).



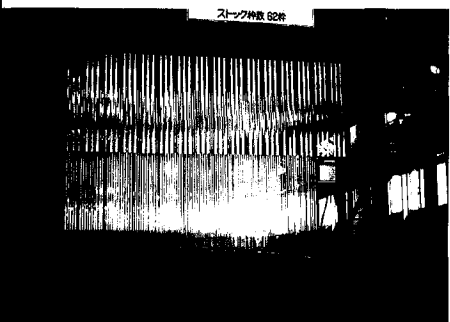
4.1.5 Elektrolytisch inkleuren.



4.1.6 Anodiseren van plaatwerk.



4.1.7 Horizontaal oprekken.



4.1.8 Verticaal flash-anodiseren.



4.1.10 Anodiseerbath.

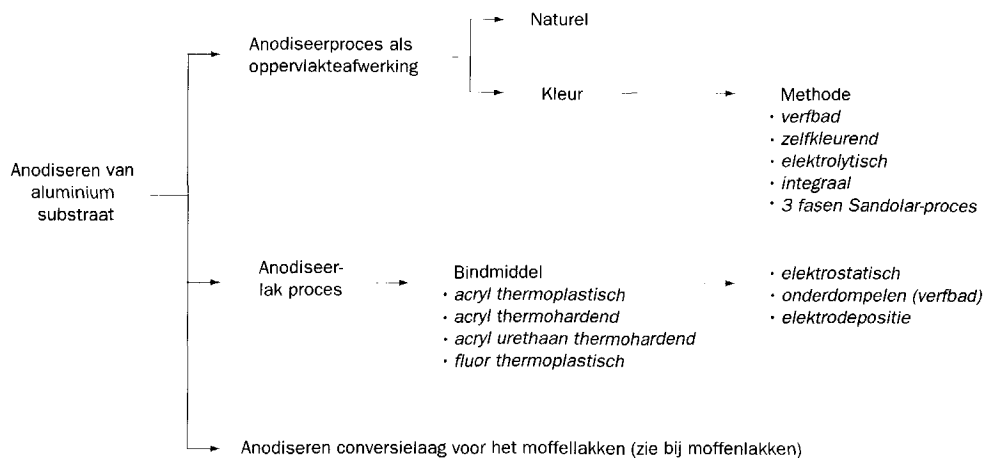


fig. 4.1.9 Onderverdeling van anodiseerprocessen.

den. Voor speciale hoogwaardige esthetische toepassingen kunnen persblokken door afdraaien eerst 'geschild' worden. Dit is een dure bewerking.

In verband met de verfraaiing van het substraat dient vooraf vastgesteld en aangegeven te worden, wat de zichtvlakken van de onderdelen zijn. Het anodiseerbedrijf houdt daar dan rekening mee bij het opspannen en elektrisch 'aansluiten' van de te anodiseren delen; de contactpunten blijven zichtbaar. Bij sommige geveldelen is het noodzakelijk voor de ophanging voorzieningen, bijvoorbeeld gaatjes, aan te brengen. Het vooraf vaststellen van de zichtvlakken is ook van belang voor het eventuele slijp-, borstel- en/of polijstwerk.

Het anodiseren van samengestelde elementen dient afgeraden te worden, omdat dan voorbehandelingsmiddelen niet goed uitgespoeld kunnen worden. Hierdoor ontstaat een slechte anodiseerkwaliteit en kan te zijner tijd corrosie ontstaan. Profielen met een thermische isolator kunnen samengesteld geanodiseerd worden. Bij het construeren dient men er rekening mee te houden dat de procesbaden in het algemeen maximaal 7 tot 8 meter lang zijn; er zijn enkele baden operationeel met een lengte van 12,5 meter. De profiellengtes zijn dus 7-8 respectievelijk 12,5 meter. De diepte van de baden is meestal geen beperking voor het anodiseren van het aangeleverde produkt (bij plaatwerk).

In Europa werken bijna alle anodiseerbedrijven met een horizontale anodiseerstraat, hetgeen inhoudt dat de te anodiseren produkten nagenoeg horizontaal (afwaterend) opgerekt worden. (fig. 4.1.7) In Japan wordt profielmateriaal bijna altijd verticaal opgehangen en geanodiseerd. Bij enige Europese bedrijven heeft

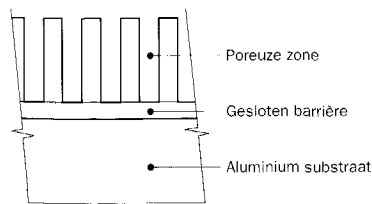
men onlangs investeringen gedaan in het verticaal anodiseren van profielmateriaal. In het algemeen kan gesteld worden, dat het verticale proces efficiënter is omdat er minder vloeistof uit de baden overgesleept wordt naar de spoelbaden, en omdat de processtraten verregaand geautomatiseerd zijn. (fig. 4.1.8) Een optimale procesbeheersing is dan mogelijk. Een nadeel is de verminderde flexibiliteit voor de behandeling van plaatwerk en gebogen profielen. Verticale anodiseerstraten zijn ingericht voor het in massa anodiseren van profielen.

## ALGEMENE INDELING VAN ANODISEERPROCESSEN

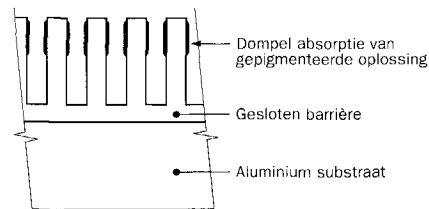
Voor bouwkundige toepassingen wordt in hoofdzaak het zwavelzuuranodiseren toegepast, eventueel met toevoeging van oxaalzuur. Het proces kan zoals in fig. 4.1.9 te zien is, onderverdeeld worden.

**Natuurlijk of blank anodiseren** Door het elektrochemisch proces wordt in een zwavelzuurbad ( $H_2SO_4$ ) op het werkstuk (anode) een oxidelaag ( $Al_2O_3$ ) gevormd. Deze oxidelaag is doorzichtig. De laagdikte van de oxidelaag hangt af van de badsamenstelling, de badbelading, de stroomsterkte, de badtemperatuur en de anodiseertijd. (fig. 4.1.10 en 4.1.11)

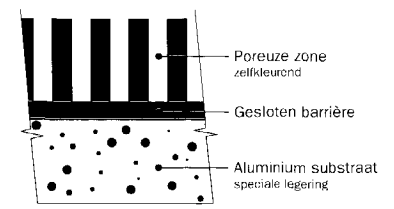
Doordat de oxidelaag isolerend is neemt de groeisnelheid af met de toename van de laagdikte van de aluminiumoxide. Na het anodiseren worden de poriën meestal verdicht door onderdompeling van de werkstukken in kokend water of door een stoombehandeling. Hierdoor wordt aluminiumoxide in de poriën gehy-



4.1.11 Anodiseerlaag.



4.1.12 Ingekleurd met organische kleurstof.



4.1.13 Zelfkleurende anodiseerlaag.

drateerd; het volume van de oxide neemt toe, waardoor de poriën gesloten worden (verdichten). Deze methode wordt hydratatie-sealing genoemd.

### Kleuranodiseren

**Kleurbad** Er zijn nog andere methoden om de poreuze anodiseerlaag af te werken. In plaats van de poriën te verdichten kan men het geanodiseerde onderdeel in een kleurbad dompelen. De kleurstof dringt in de poriën van de anodiseerlaag. Er kunnen organische en anorganische kleurstoffen gebruikt worden. De op deze wijze ingekleurde anodiseerlaag is meestal niet geschikt voor buitentoepassing als gevolg van een te geringe lichtechtheid. (fig. 4.1.12)

**Zelfkleurende anodiseerlaag** Door de keuze van speciale aluminiumlegeringen wordt de anodiseerlaag niet blank doorschijnend, maar gekleurd. De anodiseerlaag wordt grijs door een verhoogd siliciumgehalte, door chroomtoevoeging ontstaat een gelige kleur. De anodiseerlaag wordt op de gebruikelijke manier door middel van kokend water of stoom verdicht. (fig. 4.1.13)

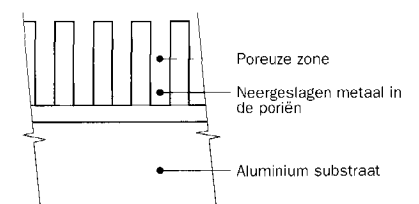
**Elektrolytisch kleurproces** Bij het electrolytisch kleurproces dompelt men het werkstuk na het anodiseren onder in een metaalzoutoplossing. Onder invloed van een elektrische stroom wordt het metaal uit de oplossing gereduceerd en neergeslagen in de poriën. Hierdoor ontstaat een gekleurde anodiseerlaag. De kleur is afhankelijk van het soort metaalzout, de tijdsduur en de spanning (wisselstroom of gelijkstroom). Dit bepaalt de kleurintensiteit en het kleurtipe. De kleuren zilver, brons, bruin, zwart en goud zijn mogelijk. De kleurlaag is buitenbestendig en duur-

zaam, omdat het metaal onderin de poriën wordt neergeslagen. Na het inkleuren wordt de anodiseerlaag op de gebruikelijke manier verdicht (sealing); het gebruik van stoom in plaats van kokend zuiver water wordt bij dit proces afgeraden. Electrolytisch kleuren is het meest toegepaste kleurproces voor anodiseerwerk. (fig. 4.1.14)

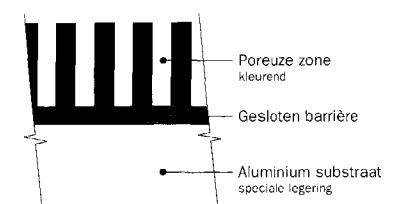
**Kleuranodiseren, integraalproces (eefaseproces)** Door in plaats van een zwavelzuuroplossing een organisch zuur te gebruiken kan het vormen en kleuren van de anodiseerlaag in één fase uitgevoerd worden. De laagdikte en de intensiteit van de kleur zijn hierbij gekoppeld. Het type kleur is afhankelijk van de gebruikte zuuroplossing in het anodiseerbak. Onder andere zijn de kleuren geel-goud, bruin en zwart mogelijk. Verdichting geschiedt door middel van kokend water: de poriënstructuur is afwijkend in vergelijking met die van het tweefasen anodiseerproces. De anodiseerlaag heeft een buitenbestendige kwaliteit. (fig. 4.1.15)

**Interferentiekleur** Door een speciale poriënvorm en kleurbreng ontstaat een wisselende kleurbelieving. Door processen te combineren, bijvoorbeeld door een zelfkleurende aluminiumlegering te behandelen volgens het electrolytische kleurproces, wordt het mogelijke aantal kleureffecten vergroot. De constante kleurstelling is moeilijker te bereiken en daardoor ook de reproduceerbaarheid. (fig. 4.1.16 en 4.1.17)

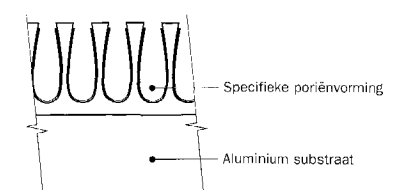
**Lakafwerking van de anodiseerlaag** Een andere methode om blank of gekleurd geanodiseerd aluminium af te werken is het aanbrengen van een



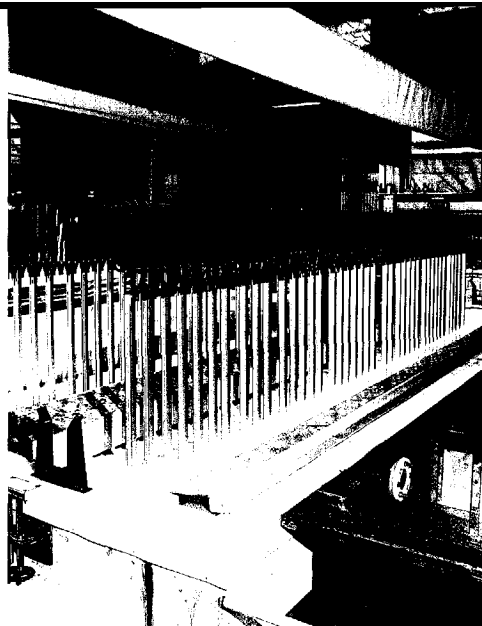
4.1.14 Elektrolytisch ingekleurd.



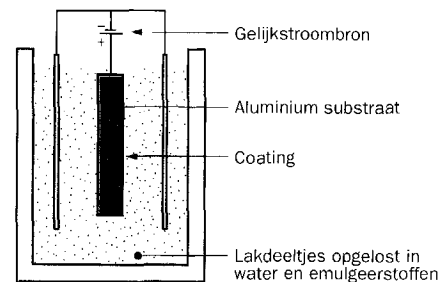
4.1.15 Direct in kleur geanodiseerd: eefaseproces.



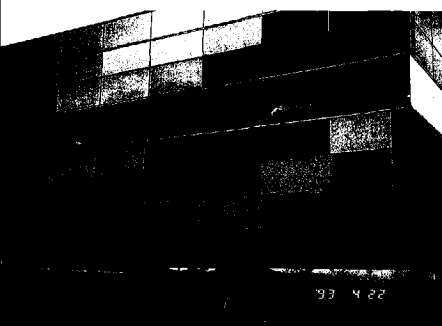
4.1.16 Elektrolytische interferentiekleur.



4.1.18 Elektroforese-lakafwerking.



4.1.19 Elektro-depositie van lak.  
Kathoforese: gering zuur.  
Anoforese: gering alkalisch.



4.1.17 Interferentiekleurung.

blanke of gekleurde laklaag. Door modificatie van de oppervlaktestructuur van de anodiseerlaag is deze geschikt voor de hechting van een lakafwerklaag. De afwerklaag dient als verfraaiing en als bescherming van de anodiseerlaag.

Bij lakafwerking van een anodiseerlaag zijn er twee mogelijkheden. In de eerste plaats kan men kiezen voor een anodiseerproces met kleurverdichting en afwerking. Hierbij worden in het algemeen transparante lakken gebruikt, waar de anodiseerlaag doorheen blijft 'spreken'. Deze methode wordt verder in dit hoofdstuk behandeld. Bij een tweede methode van anodiseren dient de oxidelaag als conversielaag voor de primaire bescherming van het substraat (de barrière) en als hechtlaag voor een lakafwerking. Dit vormt een alternatief voor het gebruikelijke chromateren als conversielaag tussen substraat en dekkende lakafwerking. Deze methodiek wordt bij moffellakken behandeld.

Het proces voor de afwerking van een anodiseerlaag met een blanke of kleurlaklaag is in Japan ontwikkeld. Bij de keuze van de lak dient niet alleen op duurzaamheid gelet te worden maar ook op de compatibiliteit van de lak in constructief opzicht. De lak dient bijvoorbeeld geschikt te zijn voor de hechting van kisten. Afhankelijk van de glansgraad van de gekozen blanke lak krijgt de anodiseerlaag meer of minder glans. Volgens de Japanse gegevens zijn de volgende lakken geschikt: [4.1.1]

- op basis van thermohardende acrylhars: het meest toegepast;
- op basis van thermoplastische acrylhars: een gecompliceerd proces;
- op basis van thermohardende acryl-urethaanhars:

relatief duurzaam, wordt steeds meer toegepast;

- op basis van fluorhars: duurzaam maar duur.

Elk type lak heeft voor- en nadelen. De keuze is onder andere afhankelijk van de gebruikseisen, het type profielisolator en de grootte van het te behandelen product.

**Het opbrengen van de lak** Bij het elektrostatisch spuiten wordt de natlak (poederlak wordt niet toegepast maar zou ook mogelijk zijn) handmatig en/of automatisch met een lakspuit op het werkstuk gespoten. Door activering met behulp van statische elektriciteit – de spuitmond is de kathode, het werkstuk de anode; het spanningsverschil is 60.000 tot 100.000 Volt – kan het opbrengen beter en gelijkmatiger uitgevoerd worden en ontstaat er minder lakafval. Na het coaten wordt de lak in een moffeloven uitgehard. Dit proces is geschikt voor kleine partijen en voor snelle kleurwisselingen. In Europa en in Amerika wordt dit proces toegepast, in Japan komt deze methode bij grote bedrijven nauwelijks voor. Een nadeel van deze methodiek is dat bij gecompliceerd gevormde werkstukken de laagdikte plaatselijk toeneemt. Dit kan hinderlijk zijn bij de assemblage.

Bij verfbadapplicatie wordt de laklaag aangebracht door het werkstuk een zekere tijd in een verfbad te dompelen. Voor het verfbad worden meestal wateroplosbare verven gebruikt. Na het coaten wordt de lak uitgehard in een moffeloven.

Bij elektro-depositie wordt het werkstuk in een verfbad met meestal wateroplosbare verven gecoat, waarbij de indringing en dekking door een gelijkstroom van 150-250 Volt geactiveerd wordt. Daardoor wordt het werkstuk rondom uniform gecoat, ook bij voorwerpen met een gecompliceerde vorm. (fig. 4.1.19) Na

aspecten	methode elektrostatisch spuiten	onderdompeling in verfbad	elektrodepositie: verfbad
drogen	lage temp. 125°C 5 min.	hoge temp. 180°C 30 min.	hoge temp. 180°C 30 min.
laagdikte ca. in micrometers	25 <i>(kan in meerdere lagen)</i>	25	30
uniformiteit laagdikte	niet uniform	bijna uniform enig verschil tussen onder- en bovenzijde van object	uniform
uitvoerings- complexiteit	Controle om de laagdikte zo uniform moge- lijk te krijgen, voorkomen van vervuiling (stof e.d.)	eenvoudig proces	de badsamen- stelling moet streng bewaakt worden, verder niet gecompliceerd
prestatie kwaliteit waardering	70	90	uitgangspunt 100
kostprijs	240-290	90	100

#### 4.1.20

het coaten wordt de lak uitgehard in een moffeloven. Deze methode wordt het meest toegepast.

In JETRO nummer 24 worden de anodiseerlakmethoden vergeleken; de volgende waarden worden vermeld: (fig. 4.1.20) [4.1.1]

**Kenmerken van de anodiseerlaag** De eigenschappen van de anodiseerlaag kunnen in een aantal punten worden samengevat:

- bescherming van het substraat tegen corrosie;
- verfraaiing van het substraat;
- slijtvast, de laag is glashard;
- bros, vooral bij toename van de laagdikte;
- elektrisch isolerend, toenemend bij grotere laagdikten;
- door legeringskeuze in beperkte mate 'zelfkleurend';
- 'inkleuren' is mogelijk;
- speciale anodiseerlagen zijn geschikt voor het elektroforetisch lakproces en het moffellakproces;
- als eindbehandeling gevoelig voor alkalische belasting, o.a. cementwater en voor voor zoutbelasting (direct aan de kust) vooral in combinatie met een zure atmosfeer;
- goede laagdiktebeheersing;
- de laag vormt zich rondom;
- volledige integratie van de anodiseerlaag met het substraatmateriaal en daardoor geen risico van onthechting;
- duurzaam;
- weinig milieubelastend;
- geen vonkvorming;
- niet toxisch.

Enkele van deze eigenschappen worden hieronder uitgewerkt.

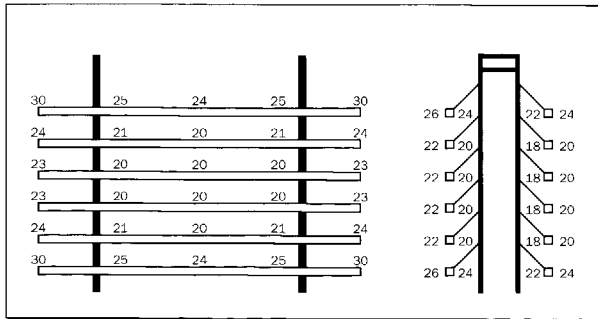
**Hardheid** Anodiseerlagen zijn zeer hard. De hard-

heid is te vergelijken met porselein. Door deze hardheid verkrijgt men een slijtvast produkt. Dit is onder andere van belang bij schuivende constructies (schuiframen) en andere mechanische belastingen van geveldelen. Ook het reinigen met fijne schurende middelen, bijvoorbeeld bimspoeder, is daardoor toegestaan.

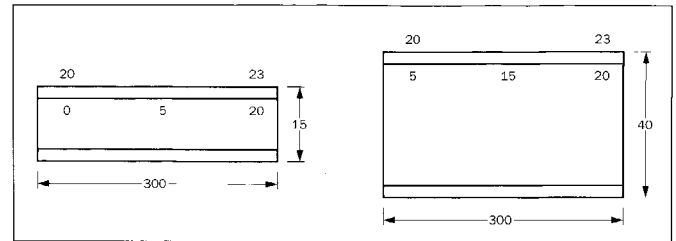
**Brosheid** Anodiseerlagen zijn bros. De brosheid is afhankelijk van het type proces en de gevormde laagdikte. Bij het buigen van het geanodiseerde produkt zal de anodiseerlaag hoorbaar scheuren. Alleen bij speciale procesuitvoeringen en geringe laagdikten is de brosheid minder en kan het produkt in beperkte mate gebogen worden zonder scheurvorming in de oxidelaag. Dit is onder andere het geval bij coil-anodiseerplaat. Ook bij enige 'flash-anodiseeruitvoeringen' heeft de oxidelaag een zekere flexibiliteit.

**Porositeit** De porositeit van de laag kan beïnvloed worden door het type proces en de procesomstandigheden. Bij het zwavelzuuranodiseren is de poriëndiameter ca. 200 Å (0,02 µm), het aantal ca. 800 per µm. De poreusheid is dan ca. 15%. Het aantal en de grootte van de poriën is belangrijk voor de mechanische eigenschappen en voor de mogelijkheid tot inkleuring van de anodiseerlaag. Voor de corrosieerendheid dienen de poriën aan het eind van het proces gesloten te worden. Een nadeel van het verdichten van de poriën is dat het later overschilderen van gevelplaten of -profielen moeilijk uitvoerbaar is. De lak krijgt door de gesloten oppervlaktestructuur te weinig hechting.

**Hechting** De anodiseerlaag is ontstaan uit het



4.1.21 Laagdikteverschillen bij het anodiseren van profielen op rekken.



4.1.22 Laagdikte in 'hollows' van diverse afmetingen.

substraat, is dus geen toevoeging, en is daardoor mechanisch onlosmakelijk verbonden met het basis-materiaal. Voor de beschermende functie is de hecht-hoed van de verbinding substraat-oxidelaag een belang-rijke eigenschap.

**Laagdikte** De laagdikte wordt bepaald door het type proces, de procesomstandigheden (vooral stroom-sterkte en temperatuur) en de anodiseertijd. Gunstig is dat de laagdikte beheerst en rondom opgebouwd wordt. Hierdoor zijn klik- en klemverbindingen goed uit-voerbaar. Tevens is de corrosiewering rondom verze-kerd. Tijdens het anodiseren kan de laagdikte tussen-tijds gemeten worden. Indien de laag nog niet voldoen-de gevormd is kan het anodiseren voortgezet worden. De laagdikte per element kan afwijkend zijn door de manier van bevestigen van de contactpunten, de wijze van ophanging, de beladingsgraad van het bad, de vorm, plaatselijke temperatuurverschillen in het bad e.d. Bij scherpe uitwendige hoeken loopt de laagdikte terug. Het inwendige van kokers wordt niet geanodi-seerd, alleen aan de produkteinden wordt inwendig met afnemende laagdikte ca. 200 mm anodisch geoxi-deerd. In de VOM-uitgave [4.1.4: 60] is een voorbeeld opgenomen. (fig. 4.1.21 en 22)

De profielen dienen met of zonder middenkathode op een bepaalde afstand van de kathode geplaatst te worden omdat daarmee de laagdikte en dus ook de laag-dikteverschillen in zekere mate beïnvloed kunnen worden.

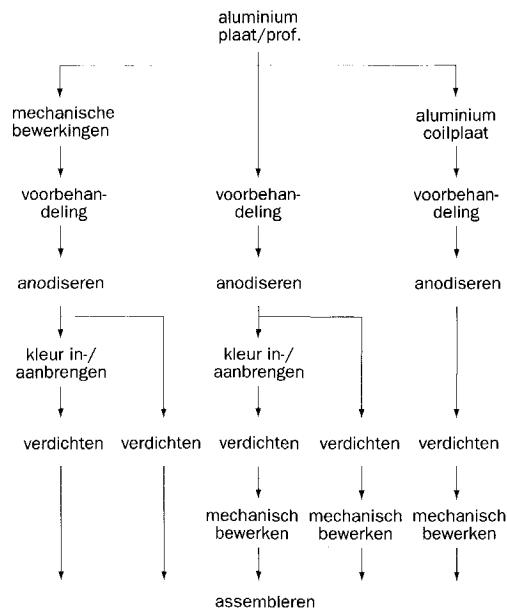
**Vorbewerkingen** Voorafgaand aan het anodise-ren kunnen mechanische bewerkingen uitgevoerd wor-den. Achteraf bewerken wordt bemoeilijkt door de harde anodiseerlaag. Tevens zijn de bewerkingsvlak-

ken dan onbehandeld. Het vooraf anodiseren bij profie-len met verstekken of stompe verbindingseinden is in verband met de kwetsbare profieleinden (transport- en handlingrisico) en de hoge kosten af te raden. Mechanische bewerkingen kunnen onderscheiden wor-den naar hun doel: optisch en constructief.

**Optische bewerkingen** Deze bewerkingen be-staan uit het stralen, slijpen, borstelen en/of polijsten van vlakken van aluminium profiel- en plaatmateriaal. Onderdelen van bijvoorbeeld hang- en sluitwerk kun-nen in trommels een bewerking van het oppervlak ondergaan. Bij deze bewerkingen dient voorkomen te worden dat er vervuiling in het oppervlak terecht komt die niet of moeilijk te verwijderen is. Deze vreemde elementen veroorzaken later optische afwijkingen en kunnen ter plaatse corrosie van het aluminium veroor-zaken. Bij profielmateriaal kunnen (delen van) de zicht-vlakken vooraf worden bewerkt om na het anodiseren een esthetisch effect te bereiken. (Bij plaatmateriaal komt dit nauwelijks voor.) In het algemeen ontstaat zo een gladder oppervlak zonder trekstrepen. Dit is niet alleen mooier, maar ook de vuilaanhechting wordt erdoor verminderd. Het effect van deze mechanische behandelingen komt het beste tot zijn recht bij blank anodiseerwerk, omdat dan de natuurlijke metaalstruc-tuur zichtbaar blijft.

Het effect van het polijsten kan ook door chemi-sche behandeling benaderd worden (chemisch polijst-en). Hierbij verkrijgt men wel glans maar trekstrepen e.d. worden niet verwijderd. Door etsen van het sub-straat wordt de oppervlakterutheid van het substraat verminderd, waardoor een matglanzend oppervlak ver-kregen wordt.





4.1.23 Het anodiseerproces.

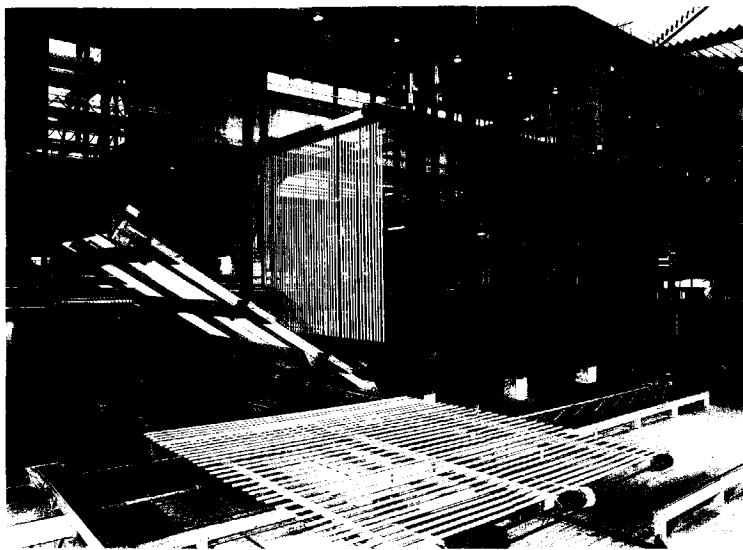
**Constructieve bewerkingen** Lijm-, klink-, kram-, klem- en schroefverbindingen dienen na het anodiseren uitgevoerd te worden (samenbouw). Zetten, kanten en buigen dienen voorafgaande aan het anodiseren te geschieden. De brossie anodiseerlaag is niet geschikt voor plaatselijke vervormingen. Alleen coil-anodiseerplaatwerk kan in beperkte mate en met beschermende hulpmiddelen vervormd worden. Er dient vermeden te worden dat er 'vreemde' stoffen op het oppervlak zitten, zoals kit- en lijmresten. Beschadigingen van het oppervlak dienen vooraf hersteld te worden. Het repareren van oppervlaktekrassen na het anodiseren is kostbaar en het effect is niet geheel onzichtbaar. Aluminium dat plaatselijk gecorrodeerd is, bijvoorbeeld door vochttopsluiting tijdens de opslagperiode, kan beter niet meer gebruikt worden voor een anodiseereindafwerking. Als dit wel moet gebeuren, dan dienen vooraf de corrosieplaatsen door slijpen en/of polijsten behandeld te worden, hetgeen kostbaar is. Het vooraf lassen van bijvoorbeeld plaat hoeken is mogelijk, als de las aan de niet-zichtzijde wordt aangebracht. Indien er aan de voorzijde gelast wordt, of vanaf de achterzijde 'doorgelast' wordt, dan blijven deze plaatsen na het anodiseren zichtbaar. Dit komt doordat de kristalstructuur door de 'warmtebehandeling' blijvend is veranderd en het toegevoegde materiaal een andere samenstelling heeft. Soldeernaden tekenen zich na het anodiseren af. Alle warmtebehandelingen dienen voorafgaande aan het anodiseren uitgevoerd te worden.

**Tweefasenzwavelzuurproces** Het anodiseren volgens het tweefasenzwavelzuurproces bestaat uit een aantal stappen. Tussen de stappen wordt met water gespoeld om te voorkomen dat de procesbaden

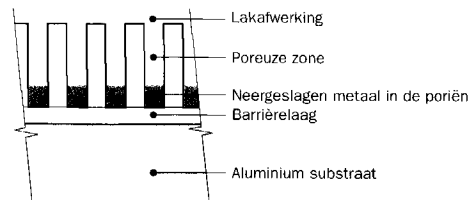
vervuild worden. De processtappen zijn: oprekken, reiniging van het substraat, chemisch polijsten of beitsen, 'desmutteren', anodiseren, eventueel inkleuren (coloriseren), 'sealen' (verdichten van de poriën), afrekenen en verpakken voor transport. De oxidelaag die in het zwavelzuuranodiseerproces gevormd wordt bestaat niet alleen uit aluminiumoxide. De legeringselementen leveren andere reactieproducten op en de anodiseerlaag bevat ca. 15% zwavelhoudende oxiden ( $SO_3$ ).

Het sealen kan in een bad met kokend water of met stoom geschieden, maar voor ingekleurde systemen is stoom-sealing niet te adviseren. Ook kan het sealen 'koud' geschieden. In dat geval wordt er nikkel-fluoride in de poriën neergeslagen. Bij koud sealen dient aansluitend gedroogd te worden. Het sealen werd vroeger ook gedaan door hete was in de poriën te laten trekken. Hierdoor krijgt men een waterafstotende afwerking, die echter niet zo duurzaam is als de verdichting door hydratatie. Het is zeer belangrijk dat de anodiseerlaag goed schoon is, zodat er geen vuil door het sealen wordt ingesloten.

Een andere methode om de poriën van de anodiseerlaag te dichten is het elektroforetisch aanbrengen van een laklaag. Bij toepassing van een blanke elektroforese lak blijven de anodiseerlaag en de metaalstructuur zichtbaar. Elektroforetische kleursystemen zijn meestal dekkend. De elektroforetische lakafwerking van een anodiseerlaag dient onderscheiden te worden van de elektroforetische lakbehandeling na chromatering. In combinatie met anodiseren heeft de elektroforetische afwerking een optische en 'sealende' functie. Voor de elektroforetische behandeling van een conversielaag die door chromatering is verkregen,



4.1.24 Anodiseerstraat.



4.1.25 Combinatiesysteem: elektrolytisch ingekleurd met een blanke lakafwerking.

zie de paragraaf over moffelen. Door een combinatie van koud sealen met nikkel en een elektroforetische afwerking met een blanke of dekkende lak wordt de corrosiewerendheid verbeterd. (fig. 4.1.25)

#### Dunne anodiseerlagen: flash-anodiseren

Dunne anodiseerlagen, tot ca. 10 micron laagdikte, worden toegepast voor:

- tijdelijke bescherming, bijvoorbeeld voor opslag;
- binnentoepassingen;
- coilplaat-anodiseerafwerking;
- het anodiseer-elektroforese proces;
- als voorbehandeling voor het moffellakproces (conversie laag).

Bij de eerste twee toepassingen bestaat het proces gewoonlijk uit het traditionele zwavelzuuranodiseren, bij 18 °C, waarbij met kokend water of stoom geseald wordt.

Bij het coil-anodiseren wordt een dunne en verdichte corrosiebestendige anodiseerlaag in een continue proces opgebouwd. De beplating krijgt een dunne en flexibele anodiseerlaag zodat ze op coil gerold en later weer afgerold en verder bewerkt kan worden. Hierdoor is het achteraf vervormen van de beplating mogelijk (buigen, zetten, kanten). Het anodiseerproces is een aangepast zwavelzuurproces. De temperatuur van de elektrolyet bedraagt 30 tot 40 °C. De stroomdichtheid is 10-20 A/dm<sup>2</sup>. Er worden zo laagdikten van 3 tot 10 µm opgebouwd bij een bandsnelheid van 1 tot 5 meter per minuut.

**Procesbeheersing** De kwaliteit van het anodiseerwerk is sterk afhankelijk van de procesbeheersing. Een controlesysteem dient ervoor de badsamenstelling, de badtemperatuur en de processtijden van

elke processtap te bewaken en zonodig correcties aan te brengen.

**Afzuiging** Door het etsen en anodiseren van de aluminium delen ontstaan zuur- en sodadampen. Om een gezonde werkomgeving te behouden en om aantasting van apparatuur te voorkomen dienen deze gasen afgezogen te worden. Er wordt soms in watersproeisystemen voorzien om het produkt na het etsen en anodiseren te besproeien. Daardoor wordt de vorming van soda- en zuurdampen tijdens het transport tegengegaan.

**Waterzuiveringsinstallaties** De eisen aan gaande de zuiverheid van het afvalwater worden steeds zwaarder. Door het anodiseerproces komen grote hoeveelheden afvalchemicaliën en spoelwater vrij. Installaties voor waterzuivering, het terugwinnen van chemicaliën en de afvoer van residuen zijn daarom noodzakelijk.

**Kwaliteitsborging** Vele anodiseerbedrijven zijn thans in het bezit van een ISO 9001- of 9002-certificaat. Hiermee is een proces-kwaliteitsborgingssysteem geïntroduceerd, waarin de procesgang en -beoordeling en de terugkoppeling van de geregistreerde en geanalyseerde procesafwijkingen geregeld is. Voor de beoordeling van de technische kwaliteit van de anodiseerproductie zijn speciale kwaliteitsbeoordelingssystemen van kracht, die extern opgelegd en gecontroleerd worden. Het eerste kwaliteitslabel was van EWAA/Euras (1973). EWAA staat voor European Wrought Aluminium Association en Euras voor European Anodisers Association (later E.A.A.).

		<b>dikte adoniseerlaag</b>	<b>aanduiding</b>
		gemiddelde laagdikte 5 micron	A5
		gemiddelde laagdikte 10 micron	A10
		gemiddelde laagdikte 15 micron	A15
		gemiddelde laagdikte 20 micron	A20
		gemiddelde laagdikte 25 micron	A25
<b>voorbewerking</b>	<b>aanduiding</b>	<b>aanduiding van kleuren</b>	<b>aanduiding</b>
geen bewerking	VB0	naturel	VOM 1
geslepen	VB1	licht goud	VOM 2
geborsteld (niet geslepen)	VB2	midden goud	VOM 3
gepolijst (niet voorgeslepen of geborsteld)	VB3	licht brons	VOM 4
geslepen en geborsteld	VB4	midden brons	VOM 5
geslepen en gepolijst	VB5	donker brons	VOM 6
egaliserend gebeitst	VB6	zwart	VOM 7
chemisch of elektrochemisch gepolijst zonder mechanische voorbewerking	VB7		
chemisch of elektrochemisch gepolijst na mechanische voorbewerking	VB8		

#### 4.1.26 Uitvoeringscoderingen.

In 1974 werd Qualanod opgericht. Euras en EWAA zijn partners binnen Qualanod. Qualanod zorgt ervoor dat de kwaliteitseisen van de anodiseerprocessen up-to-date blijven. In deze kwaliteitseisen worden de beproevingsnormen, de toelaatbare toleranties en de externe controleprocedures geregeld. Tevens is geregeld op welke wijze nieuwe systemen beoordeeld worden, voordat ze toegelaten worden onder het Qualanod-keurmerk. In Duitsland worden door GSB (Gütegemeinschaft für die Stückbeschichtung von Bauteilen aus Aluminium) proces- en produktkeuringen uitgevoerd.

**Testmethoden** De keuring en controle van het anodiseerproces wordt conform de Qualanod- en/of GSB-richtlijnen door onafhankelijke onderzoeksinstituten uitgevoerd. Op projectniveau zijn de vigerende BRL 2701 van de Stichting Kwaliteitscentrum Gevel-elementen SKG en de Kwaliteitseisen van de Vereniging Metalen Ramen en Gevelbranche VMRG van kracht.

Het geanodiseerde materiaal wordt door middel van een steekproefmethode gecontroleerd. Hierbij worden laagdikte, sealingkwaliteit en visuele aspecten (kleur, oppervlaktegesteldheid) beoordeeld. De laagdikte is eenvoudig te meten met behulp van een werelstroom-laagdiktemeter. Deze meetmethode is ook geschikt voor gekleurd anodiseerwerk.

De controle van de sealing is zeer belangrijk in verband met de levensduur van het geanodiseerde produkt. De monsterneming is dezelfde als voor het controleren van de laagdikte (Qualanod-, VMRG-kwaliteitseisen), maar bij de sealingcontrole mag geen enkele meting onder de maat zijn. Het bepalen van de sealing-

kwaliteit is wat moeilijker dan de meting van de laagdikte. Bij de meest toegepaste methode wordt de admittantie van de anodiseerlaag gemeten. De meetwaarde wordt niet alleen bepaald door de kwaliteit van de verdichting van de oxidelaag, maar tevens door de anodiseerbadtemperatuur en door de zuiverheid van de anodiseerlaag. Een anodiseerlaag die zwavelzuurresten bevat of bij te hoge anodiseerbadtemperatuur is gevormd, zal de uitkomst van de meting negatief beïnvloeden. De admittantiemeting wordt als volgt uitgevoerd: het aluminium oppervlak wordt ter plaatse van de meting gereinigd; daarna wordt er een kunststof ring op geplakt, waarin contactvloeistof, bijvoorbeeld een oplossing van kaliumsulfaat, wordt gedruppeld. Vervolgens kan de admittantie gemeten worden. De plaats waar deze meting is uitgevoerd blijft enigszins zichtbaar!

Bij geanodiseerde producten voor bouwkundige toepassingen worden geen aanvullende beproevingen zoals hardheidsmetingen uitgevoerd. Alleen bij met lak afgewerkt anodiseerwerk kunnen ook de proeven die voor moffellak vastgesteld zijn, voorgeschreven worden. Voor het beoordelen van de visuele kwaliteit van het geanodiseerde produkt – kleurgelijkheid, oppervlaktevlakheid e.d. – zijn in de Qualanod- en de VMRG-kwaliteitseisen uitgangspunten vastgesteld. De uiteindelijke beoordeling blijft subjectief. Alleen indien er vooraf grensmonsters zijn vastgesteld en de beoordelingsmethode goed is vastgelegd kan een objectieve controle uitgevoerd worden.

**Onderhoud van geanodiseerde gevels** Zie paragraaf: reinigingsonderhoud.

**Afwerking van werkstukken** Elementen die aangeboden worden voor het anodiseren dienen schoon te zijn. Dit betekent ook dat er geen spanen in of aan profiel- en plaatmateriaal mogen zitten. Verder is het belangrijk dat bij de bewerking scherpe hoeken en braamvorming zoveel mogelijk vermeden worden. Door afronding en ontbraming verkrijgt men een betere kwaliteit van het geanodiseerde produkt. Profielen dienen bij voorkeur een afronding van ten minste 0,5 mm te hebben.

**Ontwikkelingen** Er wordt voortdurend onderzoek verricht om het anodiseerproces te verbeteren en het toepassingsgebied te vergroten. Met name het flash-anodiseren is actueel. Het onderzoek richt zich hoofdzakelijk op de volgende punten:

- De samenstelling van de anodiseerbaden. Men experimenteert met verschillende zuurmengsels en badtemperaturen. Zo poogt men de grootte en vorm van de poriën te variëren, alsmede energieverbruik en de milieubelasting te beperken.
- De methode van het dichten van de poriën. Er lopen onderzoeken om voor traditioneel anodiseerwerk een duurzame koud-sealing te realiseren. Dit met name om het energiegebruik te beperken.
- De uitbreiding van de esthetische mogelijkheden (kleur, glans, structuur). Hierbij zijn buitenbestendigheid en duurzaamheid belangrijke criteria.

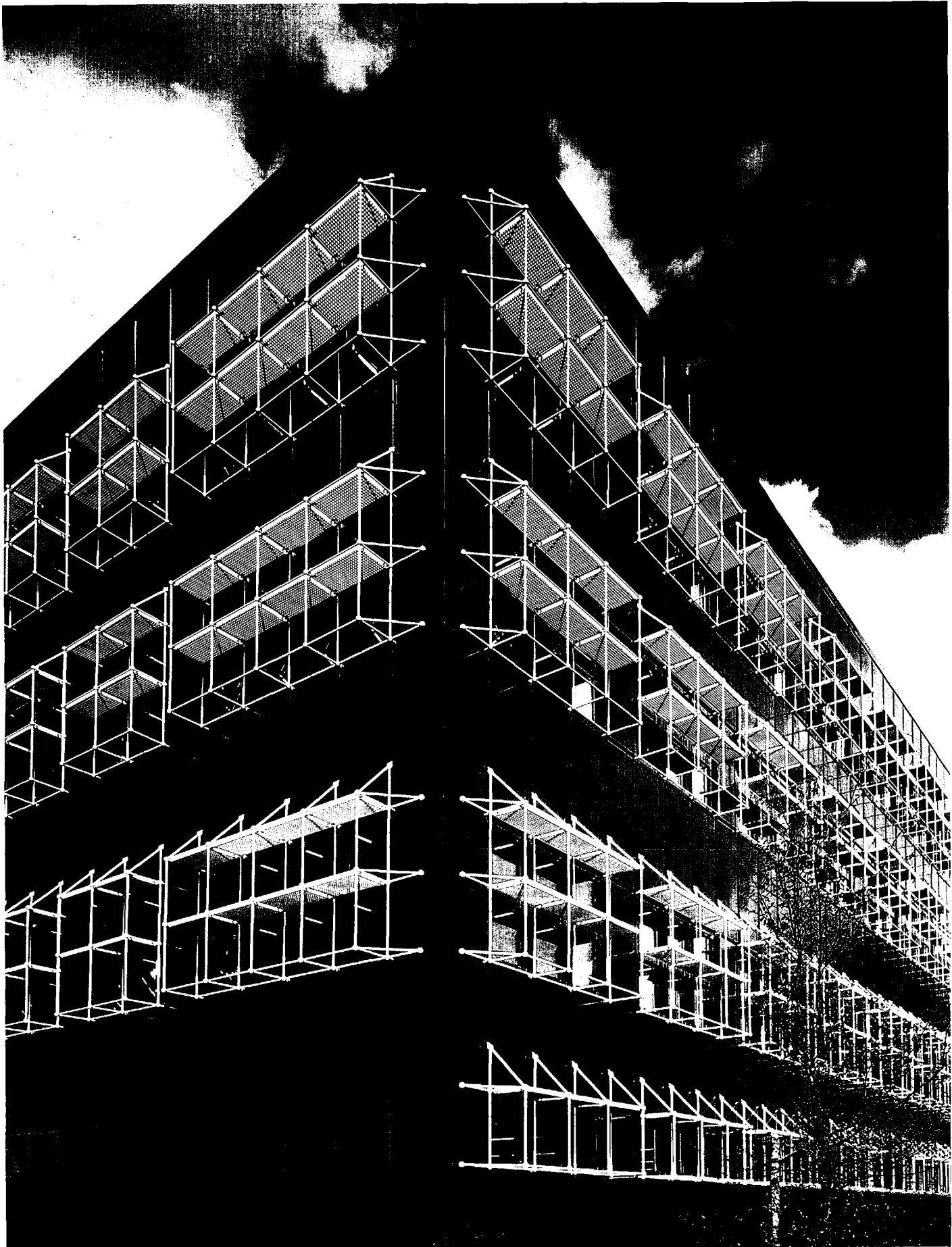
## MOFFELLAKKEN

**D**e meest toegepaste methode om aluminium gevelmateriaal van een bescherm laag te voorzien is het moffellakken. (fig. 4.2.1) Door de opgebrachte lak in moffelovens versneld uit te harden kunnen korte procestijden gerealiseerd worden. De moffellak kan aangebracht worden:

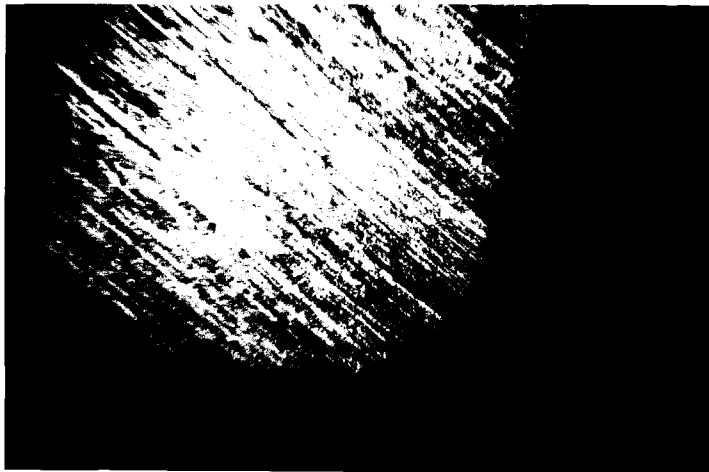
- voorafgaande aan de uitvoering van de mechanische bewerkingen: het lakken van materiaal in handelsafmetingen (plaat en profiel) of het lakken van coil-plaatmateriaal (coilcoating);
- na het uitvoeren van de mechanische bewerkingen: het lakken van elementen.

Een lak kan niet zonder meer op een aluminium substraat aangebracht worden. Door de gesloten natuurlijke oxidelaag is de hechting onvoldoende. Het aluminium krijgt een voorbehandeling waarbij de oxidelaag vervangen wordt door een conversielaag. De conversielaag is een beschermende barrière op het aluminium en vormt de schakel tussen aluminium en lak. Na het voorbehandelen wordt de lak opgebracht. De lak kan vloeibaar – natlakproces – of in de vorm van een poeder – poedercoatproces – aangebracht worden. Natlakapplicatie geschiedt luchtdrogend, geforceerd drogend (tot 120 °C) of gemoffeld (160-200 °C); poederlakapplicatie geschiedt gemoffeld (temperatuur 160-240 °C). Natlak wordt in een moffeloven uitgehard, poedercoating vloeit en hardt in de oven uit.

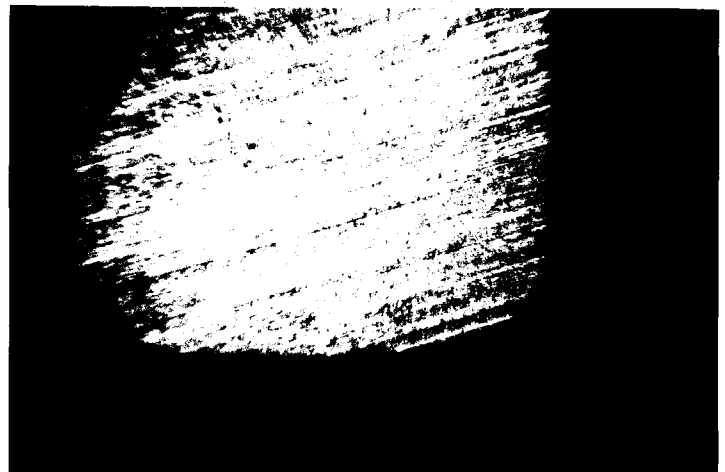
De lak, een kunststof laagje, is altijd wat poreus (microporiën). Doch het meeste lucht- en vochttransport door de laklaag vindt plaats door osmose. Daarom is de kwaliteit van de voorbehandeling zo belangrijk: de chromateerlaag of een andere conver-



4.2.1 Gelsenwasser AG, Gelsenkirchen (D).  
architect: Prof. Dipl.-Ing. Harald Deilmann



4.2.2 Kantendekking eenlaagssysteem, radius 0,7 mm, laagdikte 45  $\mu\text{m}$ .



4.2.3 Kantendekking tweelaagssysteem, radius 0,4 mm, laagdikte 70  $\mu\text{m}$ .

sielaag dient voor de uiteindelijke bescherming van het substraat zorg te dragen, door de lakafwerking dient de belasting van de conversielaag zoveel mogelijk gereduceerd te worden. Bovendien moet de lak over een goede buitenbestendigheid beschikken om de bescherming (corrosiewering) maar ook de visuele kwaliteiten duurzaam te waarborgen. Een laksysteem is een compromis tussen verschillende kwaliteitsaspecten zoals laagdikte, hardheid, geslotenheid, flexibiliteit, hechting, lichtvastheid en optische kwaliteit.

De lakapplicatie is een relatief geringe investering, maar de toegevoegde waarde ervan is groot. Verkeerd gekozen of onjuist uitgevoerd lakwerk resulteert daarom in relatief grote schaden (hefboomeffect). Voor het vastleggen, beoordelen en eventueel nabestellen van lak is het aan te bevelen kleuren uit de RAL-waaier te kiezen. [4.2.8]

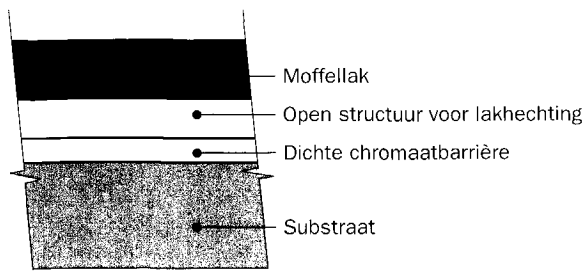
**Aluminium plaat en profiel** Net als voor het anodiseren (zie 4.1) is het ook voor het moffellakken wenselijk de aluminium profielen en platen te bestellen in anodiseer kwaliteit. Lang werd er gedacht dat de legeringszuiverheid voor het moffellakken minder belangrijk is, omdat het aluminium bedekt wordt door de laklaag. Maar vastgesteld is dat ondanks de lakafwerking bij substraatafwijkingen een verhoogde kans op het ontstaan van corrosie bestaat. Bij anodiseer kwaliteit zijn de verontreinigingen van het walsblok of de extrusiebillet grotendeels verwijderd en worden er nauwere toleranties voor de toelaatbare hoeveelheid legeringsbestanddelen aangehouden. Voor agressieve gebieden, kust-industrie- of kust-stadsomgeving, is een speciale 6060/6063-legering voor profielen in gebruik om de corrosieweerstand zo gunstig mogelijk te stellen.

Het is belangrijk dat profiel- en plaatmateriaal op de zichtvlakken vrij zijn van krassen en andere beschadigingen. Vooral bij dunnelaagssystemen, zoals bij elektroforese of PVDF-natlak, kunnen krassen na het moffelen zichtbaar blijven. Bij buitenexpositie dient de afrondingsstraal van aluminium profielhoeken ten minste 0,5 mm te zijn om te bereiken dat er voldoende laklaagdikte op de kanten aanwezig is. (fig. 4.2.2 en 4.2.3) Bramen dienen verwijderd te worden (afbramen) en het substraat dient vrij van zaagsel, spanen en dergelijke aangeleverd te worden. Dit geldt ook voor plaatwerk.

**De voorbehandeling** De meest toegepaste methode voor het voorbehandelen is het chemisch reinigen van het aluminium en het afnemen van de natuurlijke oxidehuid, waarna de conversielaag, een zeswaardige chromaatfluoride (geel), wordt aangebracht.

Het chromateren kan in een badenreeks uitgevoerd worden. Hiervoor worden de profielen en platen horizontaal afwaterend of verticaal opgerekt. Maar het is ook mogelijk de voorbehandeling in een sproeitunnel uit te voeren. Er zijn bedrijven die beide methoden toepassen. In dat geval worden de profielen meestal in baden voorbehandeld en de platen in een sproeitunnel. Na het chromateren mogen de elementen alleen met handschoenen aan de (afval)einden of de niet-zichtzijden van plaat en profiel worden vastgepakt. Beschadigingen van de kwetsbare chromaatlaag dienen vermeden te worden. Het moffellakken dient binnen 16 uur na het chromateren uitgevoerd te worden [4.2.4].

In verband met de (aangekondigde) strengere



4.2.4 Gechromateerd aluminium substraat met eenlaags moffellakafwerking.

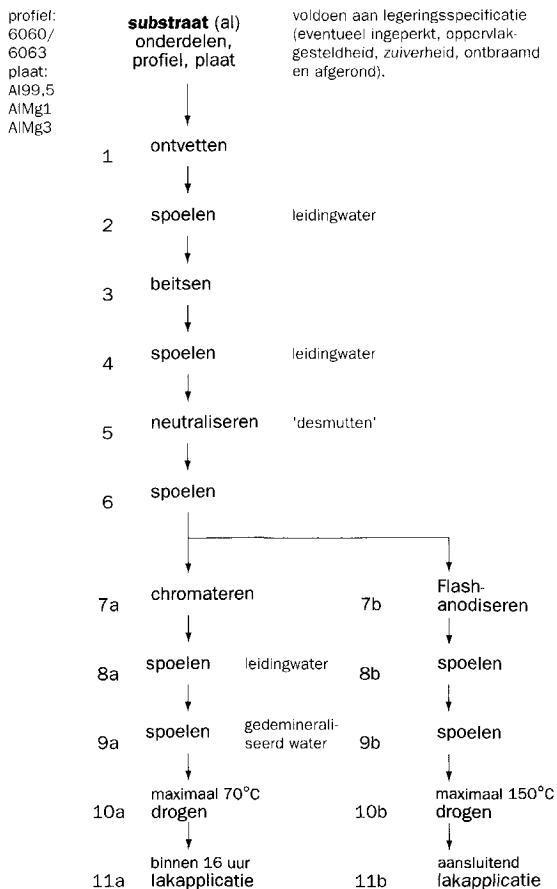
#### GLANSGRAAD VARIANTEN

hoogglans	90 - 100%
zijdegls	50 - 60%
zijdemat	30 - 40%
mat	10 - 20%
zeer mat (dof)	0 - 10%

4.2.6

milieu-wetgeving worden vervangende conversielaagproducten onderzocht. Het zeer dun anodiseren (flash-anodiseren) als conversiebehandeling komt steeds meer in de belangstelling te staan.

#### Het moffellakproces



4.2.5

**De laksoorten** Een natlak bestaat uit drie bestanddelen: bindmiddel (vloeibaar, dik vloeibaar of vast); pigmenten en vulstoffen; en vluchtige oplosmiddelen. Het oplosmiddel is een hulpstof ten behoeve van de verwerking. Het bindmiddel, de vulstoffen en de pigmenten vormen de uiteindelijke lakfilm. Dat zijn dan ook de essentiële bestanddelen van een lak. Een poederlak bestaat in hoofdzaak uit twee bestanddelen: bindmiddel (vast); en pigmenten en vulstoffen. De karakteristieke eigenschappen van een lak worden bepaald door het type bindmiddel. De naam van het soort lak wordt daarvan afgeleid. Voor de perceptie van een lakafwerking zijn de kleur, de glansgraad en de oppervlaktegladheid (de textuur) bepalend. Natlaksystemen hebben een gladder uiterlijk dan poedersystemen. Bij poedersystemen treedt een zekere mate van oppervlakteongelijkheid op (sinaasappelhuid), die bij dikke eenlaagssystemen groter is dan bij dunne of tweelaagssystemen.

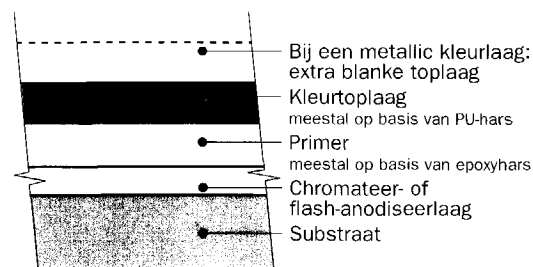
Lakken kunnen in verschillende glansafwerkingen geleverd worden. Vooral bij een blanke lakafwerking zijn vele glansvarianten mogelijk. (fig. 4.2.6)

Laksystemen waarvan de glans terugloopt onder invloed van het weer (water, zuurstof en vooral UV-straling en warmte), verkrijgen, waardoor de laagdikte wordt afgebouwd. Ook neemt daardoor de vervuilingssnelheid toe. Het glansverlies per tijdseenheid is dus een maat voor de kwaliteit van het laksysteem. Door toepassing van UV-stabiele bindmiddelen neemt de verkrijgingssnelheid sterk af.

Voor gevels worden veel bindmiddelen gebruikt op basis van:



Tripolis, Amsterdam.  
architecten: Aldo & Hannie van Eyck



4.2.7 Natlaksysteemopbouw.

acrylaat	(natlak)
epoxy	(natlak en poeder)
polyurethaan	(natlak en poeder)
polyester	(poeder)
siliconen polyester	(natlak)
polyvinylfluoride	(natlak en poeder)

Bij polyester TGIC-lak wordt binnen 4 jaar buitenexpositie meestal geen verkrijging waargenomen. Bij PVDF-systemen treedt binnen 10 jaar nagenoeg geen verkrijging op. De voordelen van PVDF t.o.v. polyester TGIC zijn de zeer hoge lichteendigheid en het feit dat er minder vuilaanhechting optreedt. De lak biedt ook nauwelijks hechting aan graffiti. Spuitbuslak en viltstiftinkt kunnen meestal verwijderd worden. PVDF heeft als nadelen dat het relatief duur is en dat het moeilijk te repareren of over te schilderen is. Een ander nadeel is de hoge oventemperatuur, waardoor het lakken van profielen met een kunststof isolator meestal niet mogelijk is. Tenslotte is PVDF relatief milieubelastend, zowel tijdens de applicatie- als de afvalfase (dit betreft in mindere mate coilcoat-PVDF-lakken, omdat coilcoaten zeer beheerst en met relatief weinig lakgebruik uitgevoerd wordt).

**Elektroforetisch natlakken** Bij elektroforetisch lakken wordt d.m.v. een elektrische stroom een chemische verbinding verbroken in een lakvloeistof die in een dompelbad zit. Daardoor slaan de negatief geladen lakdeeltjes neer op het positief geladen substraat. Na diverse spoelingen met gedemineraliseerd water en na het drogen wordt de laklaag thermisch uitgehard in een moffeloven (temperatuur ca. 160°C).

Voorafgaande aan het elektroforetisch lakken

krijgt het aluminium een voorbehandeling die eindigt met beitsen (geen conversielaag), anodiseren (niet-verdicht) of chromateren.

De laagdikte van elektroforetisch aangebrachte lak bedraagt ca. 25 micrometer. Glansgraad van de uitgeharde lak is ca. 70%. Voordelen van elektroforetisch lakken zijn dat er dekking is rondom het element, met eenzelfde laagdikte; dat de prijs relatief laag is; en dat de proceskwaliteit goed beheerst kan worden. Een nadeel van het proces is dat er in de praktijk een gering aantal kleuren beschikbaar is. Het wisselen van kleur is duur omdat er dan een heel nieuw bad aangeemaakt moet worden. Meestal worden alleen de kleuren wit en bruin aangeboden. Een ander nadeel is dat de lak door de geringe laagdikte minder geschikt is voor zware belastingen (buitentoepassingen). Merk nog op dat de combinatie van anodiseren en (elektroforetisch) moffellakken beschouwd moet worden als een anodiseerproces en niet als een moffellakapplicatie. In dat geval fungeert de anodiseerlaag dus niet als conversielaag, maar als beschermende oppervlaktebehandeling.

**Natlakapplicatie: spuitverneveling** Vloeibare lakken worden meestal elektrostatich gespoten op het voorbehandelde substraat. Het spuitpistool wordt door een automaat bediend, terwijl zo nodig moeilijk bereikbare of bijzondere plaatsen handmatig nagespoten kunnen worden. Bij het natlakken worden tenminste twee lagen opgebracht: een grondlaag (primer) en een gekleurde toplaag. De applicatie geschiedt op twee manieren: nat in nat waarna de lak wordt uitgehard in een moffeloven. Of eerst wordt de grondlaag aangebracht, die grotendeels wordt uitgehard in een





4.2.8 Elektrostaticch nevelen van poederlak.



4.2.9 Samkoburo, Zele (B). Er zijn vier RAL-kleuren toegepast.  
architect: Voorontwerp Bureau Planning, Brugge

oven, en daarna wordt de gekleurde toplaag aangebracht, waarna het geheel volledig wordt uitgehard in een moffeloven. De moffeltemperatuur is 160-200 °C. De minimum laagdikte is 50 micrometer voor buiten-toepassing in een niet-agressieve omgeving, elders 70 micrometer. (fig. 4.2.7) [4.2.4]

Natlak voor buitentoepassing wordt bijna altijd op basis van polyurethaanhars samengesteld, soms op basis van acrylhars. De grondlaag is meestal een epoxy lak, omdat epoxy een betere mechanische hechting oplevert en een goede weerstand tegen vochtbelasting heeft. De lichtvastheid is matig (verkrijting), maar dit nadeel is niet van belang omdat de primer met een buitenbestendige polyurethaanlak afgedekt wordt. Natlaksystemen leveren een goede kantendekking en een weinig poreuze en strakke oppervlakteafwerking van het substraat op. Alle kleuren zijn mogelijk, voor metallic systemen dient een additionele blanke toplaag opgebracht te worden. Natlak wordt vaak uitgevoerd met tweecomponentenlakken, die tijdens de ovenprocesgang vernetten en uitharden.

**Poederlakken** Het poederlakken van voorbehandelde profielen, platen en onderdelen is het daarop elektrostaticch spuiten of nevelen van poederlak kleurstoffen, die vervolgens in een moffeloven uitvloeien, vernetten en uitharden. (fig. 4.2.8) De poederlak bestaat uit een mengsel van gemalen vaste stoffen: bindmiddelen, vulmiddelen en pigment. Het bindmiddel bestaat uit kunstharsen en harders die in de oven smelten en tegelijkertijd vernetten en uitharden.

De korrelgrootte is ca. 50 micrometer. Daarom dient een poedercoating met een laagdikte groter dan 50 micrometer opgebracht te worden, anders ontstaat

er een overmatig sinaasappelhuid-effect.

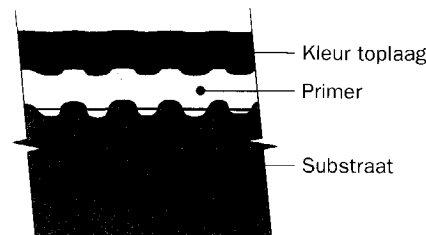
Voor aluminium gevelelementen worden een aantal poederlakken toegepast. Epoxy en epoxy-polyester hebben zeer goede corrosiebeschermende eigenschappen, maar een minder gunstige weersbestendigheid (verkrijten). Polyurethaan en polyester hebben goede corrosie beschermende eigenschappen en een goede weersbestendigheid. Polyvinylfluoride heeft goede corrosiebeschermende eigenschappen en een zeer goede weersbestendigheid.

Voordelen van elektrostatiche poederlakapplicatie zijn de volgende:

- Zeer vele kleuren, ook metallic kleuren, met verschillende glansgraden (van mat tot glanzend) zijn mogelijk. (fig. 4.2.9)
- De kleurbestendigheid is hoog.
- De coating heeft een goede hechting en verweringsbestendigheid.
- De coating biedt een goede bescherming tegen corrosie van het substraat.
- Per arbeidsgang kunnen hoge laagdikten opgebracht worden.
- Na het coaten is het materiaal goed te bewerken (zagen, frezen, ponsen).
- De coating is overschilderbaar (dit geldt in mindere mate voor PVDF-systemen).
- Ongeveer 95% van het afvalpoeder kan weer in het proces ingevoerd worden (terugwinning).
- In de oven ontstaan bijna geen afvalprodukten en geen dampen van oplosmiddelen.
- De prijs-kwaliteitverhouding is gunstig in vergelijking met natlakapplicatie (dit geldt niet voor coilcoating: zie 4.3).



4.2.10 Stadhuisbibliotheekcomplex te Den Haag.  
Tweelaags moffellak polyesther TGIC.  
architect: Richard Meier



4.2.13 A Neiging tot brugvorming.



4.2.12 Tweelaags laksysteem.

Nadelen van electrostatische poederlakapplicatie zijn:

- Voor sommige typen poederlakken zijn hoge oven-temperaturen noodzakelijk (bijvoorbeeld PVDF: ca. 240 °C), waardoor veel profielisolatoren vooraf niet aangebracht kunnen worden.
- De laagdiktebeheersing is niet eenvoudig, waardoor op sommige plaatsen te veel lak opgebracht kan zijn. Dit is soms zichtbaar (esthetisch aspect) en dit kan problemen opleveren bij het samenvoegen van elementen, bijvoorbeeld bij klikverbindingen en in kanalen voor het inbrengen van gaskets of hang- en sluitwerkonderdelen.
- De poedercoating is minder strak van uiterlijk dan natlakafwerklagen.
- Poeder kan achteraf niet meer veranderd worden, bijvoorbeeld kleuraanpassing is niet mogelijk.
- Kleurwisselingen en het lakken van kleine hoeveelheden zijn relatief duur.
- Poederlak 'nestelt' zich moeilijk in verdiept gelegen delen. Deze plaatsen worden daardoor niet of nauwelijks van lak voorzien.

Het meest gebruikte poeder is polyester TGIC, waarbij de toevoeging TGIC staat voor een speciaal type harder voor de polyester hars.

Het is mogelijk een eenlaags poedercoatsysteem uit te voeren met een gemiddelde minimum laagdikte van 90 micrometer, maar het is beter om voor die laagdikte een tweelaags laksysteem te kiezen. Dit om de volgende redenen:

- de kantendekking van een tweelaagssysteem is beter;
- de porositeit van een tweelaagssysteem is minder;
- de strakheid van een tweelaagssysteem is beter;

- de laagdiktebeheersing en gelijkheid is gunstiger. Een tweelaags laksysteem heeft een betere corrosiebestendigheid en een mooier uiterlijk dan een dik eenlaagssysteem, maar heeft een hoger prijsniveau.

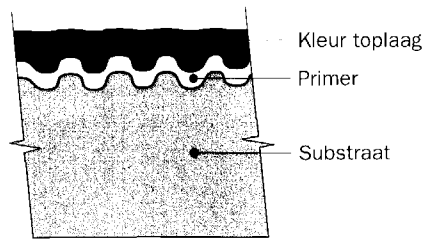
De gewenste laagdikte is bepaald voor de keurzijde: de vastgestelde positie waar de moffellaag aan alle gestelde eisen dient te voldoen. Voor andere moffellakposities geldt de laagdikte-eis niet. (fig. 4.2.11) [4.2.4]

Bij een eenlaagssysteem vindt na poederlakopbreng in een moffeloven het uitvloeien en uitharden (polymeriseren) plaats. Het moffelen in de oven dient afgestemd te zijn op het type laksysteem dat opgebracht is, waarbij oventijd, objecttemperatuur en temperatuurcurve belangrijke variabelen zijn. De uithardtijd dient door de lakfabrikant te worden voorgeschreven. Voor polyesterpoeder wordt een oventemperatuur van ca. 200 °C ingesteld, de elementen verblijven ca. 12 minuten in de oven.

Bij een tweelaags polyestersysteem wordt de eerste poederlaag elektrostatich opgebracht en dan door middel van een infraroodstralingsoven aangesmolten en iets uitgehard (ca. 10%). Daarna wordt de tweede poederlaag opgebracht en wordt het geheel in de oven uitgevloeid en uitgehard; de objecttemperatuur is ca. 190 °C, de oventijd ca. 10 minuten. In de oven reageren de bindmiddelen van de lagen met elkaar ('cross linken') en ontstaat er een homogene laklaag.

Er zijn drie tweelaags lakuitvoeringen:

- Bij een dubbellaagssysteem in één kleur wordt in twee bewerkingen dezelfde kleur en hetzelfde type poederlak opgebracht.
- Bij een dubbellaagssysteem met een primerlaag en



4.2.13 B Goede benatting, betere weerstand tegen lakondercorrosie.

vergelijking	PVDF-Natlak of poeder	polyurethaan polyester tglc
prijs ('95) in guldens	30-45	10-20 (tweelaags 15-25)
laagdikte natlak	30-40 (metallic 35-45)	50-80
laagdikte poeder	90-110	60-80 (tweelaags 90-120)
verkrijting	nagenoeg niet	in geringe mate
glansgraad	20-40 %	60-90 %
hardheid	HB-H	H-F
aantal kleuren natlak	zeer veel + metallics	onbeperkt + metallics
aantal kleuren poeder	veel (geen metallics)	'nagenoeg' onbeperkt (inc. metallics)
corrosiebescherming	goed	goed
weerbestedigheid	zeer goed	goed
vuilaanhechting	matig	middelmatig
vervormbaarheid gelakt produkt	goed	goed
repareerbaarheid	slecht	goed

4.2.14

een gekleurde toplaag worden een speciale grondlaag en een buitenbestendige kleurlaag opgebracht. De primer kan een ander type lak zijn dan de afwerklaag.

- Een kleurlaag met een blanke toplaag.

**Systeem 1** wordt meestal toegepast als de moffellaag een grotere corrosieweerstand tegen externe belastingen (omgevingsklimaat) moet bieden. Tevens bereikt men door de tweelaagsopbouw geringere laagdikteverschillen, een betere kantendekking en een meer gesloten (minder poreuze) afwerklaag.

Bij **systeem 2** is de grondlaag aangepast aan een bijzondere prestatie die gevraagd wordt, bijvoorbeeld een goede benatting van het substraatoppervlak. Dit betekent dat de grondlaag dun vloeibaar is en ondanks de oppervlakteruwheid van het materiaal een optimale dekking en hechting levert (fig. 4.2.13 A+B). De tweede laag is de kleurlaag met een hoge buitenbestendigheid. Ook kan gewenst worden dat de kantendekking optimaal is (zoveel mogelijk gelijk aan de laagdikte op de keurzijde); in dat geval wordt de grondlaag juist afgestemd op een goede laagdikteopbouw op de kanten van bijvoorbeeld profielen.

**Systeem 3** is bedoeld om de glans op de kleurlaag aan te passen, meestal te verhogen, en voor metallic systemen. De metallic deeltjes die in de kleurlaag verwerkt zijn dienen afgedekt te worden door een extra beschermilaag, anders vergrauwen ze en wordt het metallic-effect minder. Om het metallic-effect te behouden wordt voor deze toplaag een blanke doorzichtige (pigmentloze) lak gebruikt. Blanke lak heeft als nadeel dat hij vaak zacht is. Vooral bij mechanische bewerkingen van gelakt materiaal kunnen er snel krassen op het oppervlak ontstaan. Door het inbrengen van UV-absorberende stoffen wordt een goede

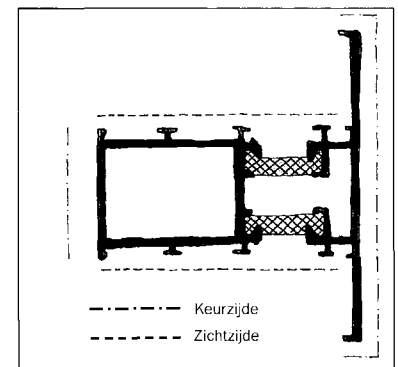
lichtechtheid van blanke lak verkregen.

Er worden nog andere laksystemen toegepast. Zo zijn er systemen met een natlak-primer als grondlaag en een poederlak als tweede laag. Ook zijn er drie-laagssystemen, met een natlak-primer en een tweelaags poederlakapplicatie. Verder zijn er 'look-alike' metallics die in één laag kunnen worden opgebracht, zonder dat een extra blanke toplaag nodig is. Deze metallics bevatten deeltjes van mica en/of roestvast staal in plaats van het gebruikelijke aluminium.

**PVDF-laksysteem** Van dit laktype bestaat het bindmiddel tenminste voor 70% uit polyvinylideenfluoride, een fluorcarbonprodukt: PVDF ook wel PVF2 genaamd. Deze lak wordt meestal als natlak gebruikt. Er is een grote reeks kleuren mogelijk, ook metallic kleuren zijn beschikbaar. PVDF-poederlak is ook leverbaar, maar het aantal kleuren is daarbij beperkt en metallics zijn niet beschikbaar. Bij PVDF-natlaksystemen is de laagdikte ca. 30-45 micrometer, bij poeder-systemen 80-90 micrometer. De glansgraad van PVDF-lakwerk is 20-40%, dus mat tot zijdemat. Dit is voor plaatwerk een voordeel omdat daardoor onvlakheid gemaskeerd wordt.

Het PVDF-natlaksysteem bestaat tenminste uit een speciale primer en de kleurlaag PVDF. Bij metallic systemen is nog een blanke toplaag nodig, deze dient om de metallic deeltjes in laag 2 te beschermen. Bij PVDF-poedercoatsystemen wordt ook eerst een primerlaag aangebracht. Dit kan een natlak- of een poederlakprimer zijn. Daarna wordt de PVDF-poedertoplaag opgebracht.

In natlak-uitvoering wordt voor metallic kleuren soms een vierlaagsopbouw toegepast en voor niet-



4.2.11 Moffelcodering.

#### BUITENTOEPASSING UTILITEITSBOUW

laksysteem	laagdikte agressief gebied	laagdikte niet-agressief gebied
poederlak	90 micrometer minimaal	60 micrometer minimaal
PVDF-poederlak	80	80
natlak	70	50
PVDF-natlak	35	35
elektroforese	niet toegestaan (wel voor woningbouw)	niet toegestaan (wel voor woningbouw)

#### BINNENTOEPASSING

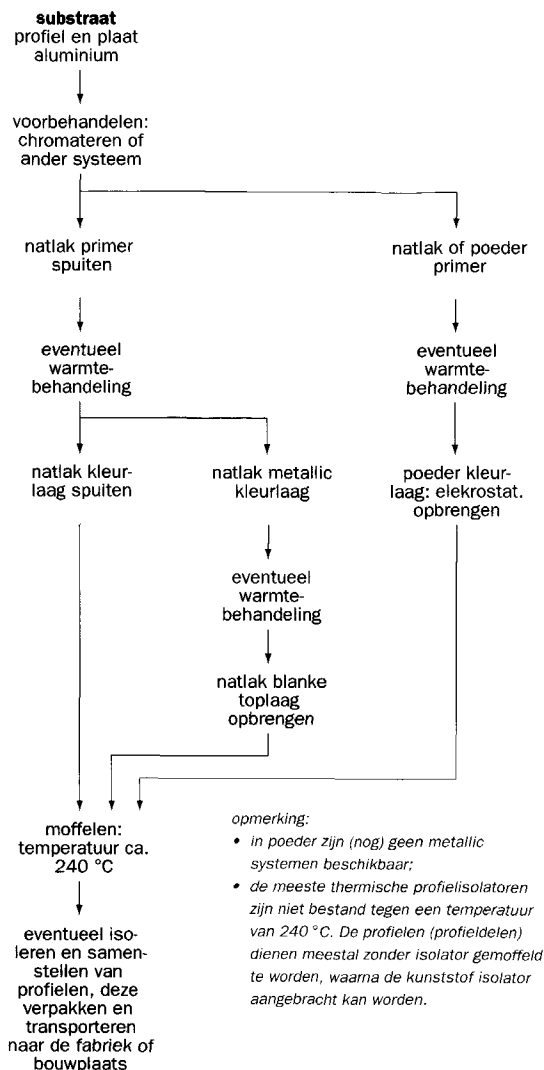
laksysteem	nat milieu	droog milieu
poederlak	60 micrometer minimaal	30 micrometer minimaal
PVDF-poederlak	80	80
natlak	50	25
PVDF-natlak	35	35
elektroforese	25	25

4.2.16 Laagdikketabel volgens de VMRG-eisen 1993 [4.2.4].

metallic kleuren een drielaagsopbouw. Er zijn speciale PVDF-natlakken, die nat in nat verwerkt kunnen worden zonder dat een tussenoven nodig is.

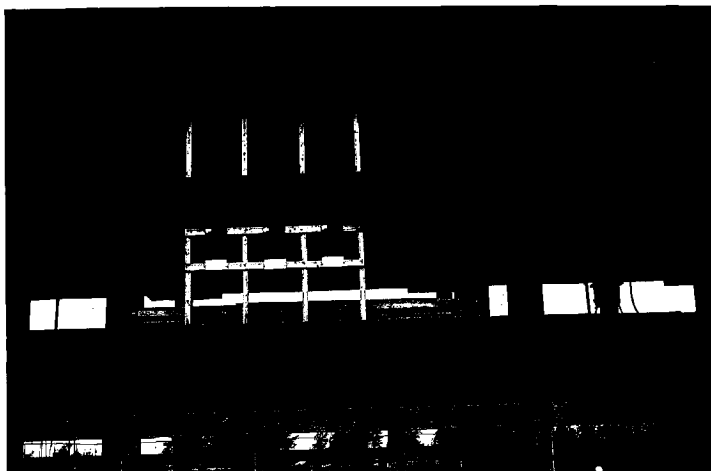
**Testmethoden** Voordat de moffelcoating wordt aangebracht, is het voor de applicateur belangrijk vast te stellen dat de kwaliteit van het aangeleverde substraat voldoende is.

De chromatering moet voldoen aan DIN 50939. Voor het flash-anodiseren is geen DIN-norm uitgegeven. Wel zijn hiervoor door de GSB (Duitsland) eisen vastgesteld. Voor de controle van de chromatering dient een genormaliseerde proefplaat mee te lopen. De chromaatlaag mag bij wrijving met een doek niet afgeven. Het voorbehandelde substraat moet gelijkmatig en iriserend van kleur zijn, en zonder vlekken, zoutresten en andere onregelmatigheden.



4.2.17 PVDF-natlak en -poederlak applicatie.

Het **gemoffelde** product dient vrij te zijn van defecten, zoals rimpels, overmatige 'sinaasappelhuid', zakkers, insluitingen, blaasjes, matte plekken en kleurverschillen. De esthetische beoordeling van de fabriekscomponenten is als volgt geregeld (Qualicoat) [4.2.9]: bij controle bij daglicht met het ongewapende oog op een afstand van drie meter en loodrecht bezien mogen geen defecten aan het object worden waargenomen. Voor de beoordeling van de oppervlakteafwerking van gemonteerde producten geldt deze regel niet. De VMRG gaat uit van een beoordeling vanaf een openbaar toegankelijke plaats op een afstand van tenminste vijf meter. Voor binnenwerk is deze afstand drie meter. Dan zichtbare afwijkingen zijn niet toegestaan. Ook voor kleurverschillen in een element of tussen de elementen onderling zijn bovengenoemde beoordelingsnormen van toepassing. Kleurafwijkingen kunnen ook worden gemeten met behulp van de zogenaamde



4.2.18 Proefplaten voor kleurbeoordeling op lokatie. Kantoorgebouw Nieuw Amsterdam te Amsterdam.  
architect: Pi de Bruijn

grijsschaal. Deze heeft zes nuances. Voor auto's geldt dat alle kleuren binnen schaalnummer zes dienen te vallen (kleurafwijkingen zijn niet toegestaan), voor gevels worden de schaalnummers 5-6 aangehouden: met dit tintverschil overeenkomende kleurafwijkingen zijn toegestaan. Bij RAL-kleuren liggen de kleurgegevens eenduidig vast en kan men aan de hand van genormaliseerde monsters en metingen de kleurafwijking beoordelen.

De beoordeling van de esthetisch toelaatbare afwijkingen blijft grotendeels subjectief. Het is daarom verstandig vooraf goede afspraken over de normen te maken en grensmonsters vast te leggen, zodat voor alle partijen een eenvoudige controle mogelijk is. (fig. 4.2.18) Om de kwaliteit van het lakwerk te controleren kunnen monsters en gelakte gevelementen getest worden. Deze testen betreffen: uiterlijk (applicateur en gevelbouwer), kantendekking (applicateur), laagdikte (applicateur en gevelbouwer), textuur (applicateur en gevelbouwer), glansgraadmeting en snelverwerings-test (applicateur), verkrijting (applicateur), hardheid en stootvastheid (applicateur), hechting (applicateur en gevelbouwer), vochtgevoeligheid (applicateur en gevelbouwer), bewerkbaarheid (gevelbouwer) en corrosie-weerstand (applicateur).

In de voorschriften van Qualicoat [4.2.9] en GSB [4.2.8] en in de VMRG-kwaliteitseisen 1993 [4.2.4] staan de omschrijvingen van de testmethoden. Het is belangrijk dat incidentele fouten en/of algehele kwaliteitsgebreken zo vroeg mogelijk vastgesteld worden. Hoe later in het gevelbouwproces de gebreken worden geconstateerd, hoe groter de schade. Zelfs progressief, want uiteindelijk komt men ook in levertijdproblemen.

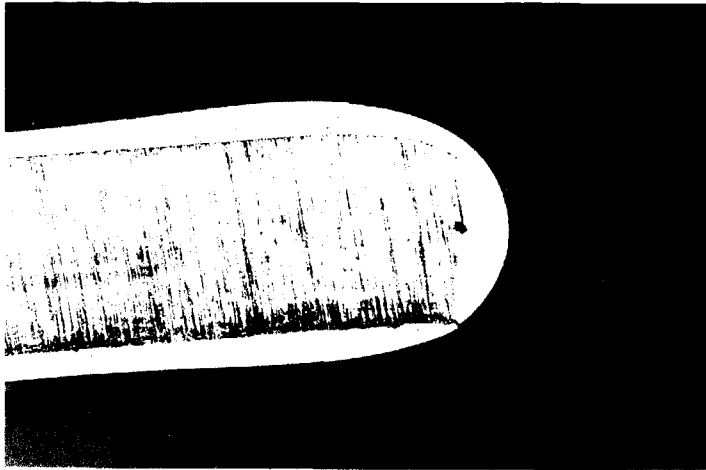
In het algemeen wordt een garantie op de moffel-lakkwaliteit - bescherming en esthetisch - van vijf tot tien jaar geëist. Voorwaarde daarbij is dat de gevel planmatig wordt onderhouden.

#### LEVENSDUUR EN MILIEU-ASPECTEN

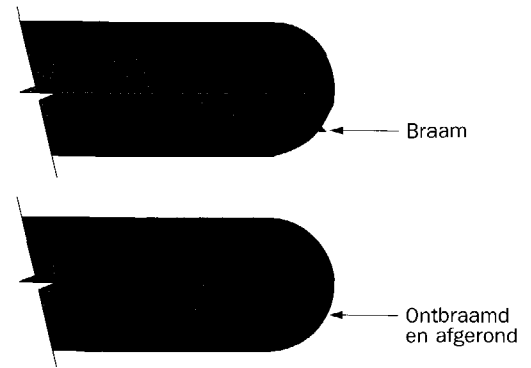
**D**e esthetische levensduur van een bouwdeel is belangrijk voor de keuze van het laksysteem.

Bij deze keuze dienen onder meer de lokatie van het bouwwerk, de milieubelasting, de gevelvorm en de ontwerplevensduur van de gevel betrokken te worden. De levensduur van het lakwerk kan worden afgestemd op de levensduur van de gevelementen. Voor bijvoorbeeld buitenkliklijsten kan lak met een relatief korte levensduur gekozen worden, omdat vervanging met nieuwe industrieel gelakte kliklijsten eenvoudig is en de gebouwgebruikers door de werkzaamheden niet gestoord worden. Bij vaste profileringen en/of gelakt plaatwerk van sandwich-panelen kan een lange levensduur gewenst zijn. Dan dient er gekozen te worden voor een meerlaags en/of robuust laksysteem. Verder moet men bij de keuze van het laksysteem rekening houden met milieubelasting: chloorionen van zeenevel, zwaveldioxide, koolmonoxide, roet, ijzer- en koperdeeltjes.

De inwerking van zonlicht is een belangrijke factor. Door ultraviolet licht ontstaat kleur- en glansverlies. Aan de oppervlakte van het laksysteem zet het UV-licht door een fotochemische reactie de organische verbindingen om tot groepen die reactief zijn voor water en zuurstof: de lak gaat verkrijten. Daarbij komt dat het oppervlak ruwer wordt en de vervuilingssnelheid toe-



4.2.19 Braam aan knipkant.



4.2.20 Door braamvorming bij het knippen kan geen goede lakbedekking verkregen worden. De braam dient dus vooraf verwijderd te worden en eventueel dient de plaatkant ook nog afgerond te worden.

neemt. De verkrijging per tijdseenheid is een maat voor de kwaliteit van het laksysteem en/of het reinigingsonderhoud.

**Mechanische bewerkingen** Scherpe kanten en bramen zijn plaatsen waar een laksysteem niet goed functioneert. Lak krimpt bij het uitharden en daardoor kan op de scherpe bewerkingskanten geen optimale bescherming van het substraat verkregen worden. (fig. 4.2.19) Plaatwerk en profielmateriaal dienen ontbraamd te worden; de zichtbare bewerkingsvlakken moeten vervolgens worden afgerond. (fig. 4.2.20) Voor buitenprofielen wordt aangeraden een afrondingsstraal van ten minste 0,5 mm aan te houden.

Er wordt soms voorgeschreven dat gemoffelde producten die de fabriek verlaten, beschermd moeten worden om beschadigingen van het lakwerk te voorkomen. Vooral cementproducten zijn agressief en kunnen lakwerk aantasten.

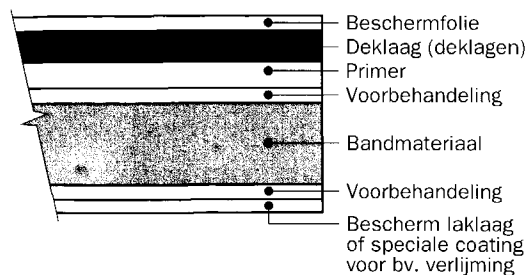
Meestal wordt de bescherming bereikt door in de fabriek een speciale kunststof folie op de zichtzijden van het lakwerk aan te brengen. Dat wordt dan gedaan na de moffelapplicatie en voor de mechanische bewerkingen. De folie kan de samenbouw van gevelcomponenten en de montage van componenten in het bouwwerk bemoeilijken, vooral op de plek van bouwkundige aansluitingen. De folie moet van een speciale kwaliteit zijn, mag bij het afhalen geen lijmresten achterlaten en moet tijdig verwijderd worden om inbranden door zonnestraling te voorkomen. In het Verenigd Koninkrijk is de toepassing van beschermende folies meestal voorgeschreven. [4.2.2] Kunststof folie is geschikt voor bescherming, maar men moet er zeer zorgvuldig mee omgaan, anders is het middel erger dan de kwaal. Er

bestaan ook beschermende striplakken. Deze verruberen en kunnen later van de geveldelen afgetrokken worden. Striplakken worden na het samenstellen van de componenten aangebracht, eventueel ook op de beglazing. De ervaringen hiermee zijn minder gunstig en de toepassing is beperkt.

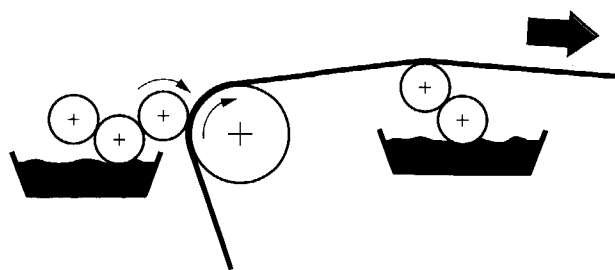
**Onderhoud en herstel** Beschadigingen in het lakwerk kunnen met speciale primer en natlak (stiften of potjes) bijgewerkt worden. Daarvoor dient het oppervlak gereinigd, ontvet en geruwd te worden. Bij het schuren, slijpen of stralen mogen geen 'vreemde' deeltjes in het aluminium terecht komen: dat worden zwakke plaatsen in het lakwerk. Over het algemeen wordt gerepareerd met polyurethaan natlak.

Het is moeilijk de juiste kleur en glansgraad te kiezen, mede omdat het verweringsgedrag van de reparatielak anders is dan van de industrieel aangebrachte lakafwerking. Maar bij kleine reparatieplaatsen valt dat niet of nauwelijks op. Voor PVDF-laksystemen dient speciale PVDF-reparatielak gebruikt te worden. Deze is duur, moeilijk te krijgen en moeilijk te verwerken. Uitharding van deze lak dient te geschieden bij minimaal 15 °C en maximaal 60% relatieve luchtvochtigheid. Grote vlakken kunnen bij PVDF-laksystemen nauwelijks duurzaam gerepareerd worden. Bij enkelvoudige coilcoat gevelbeplatingen is het vaak voordeliger nieuwe plaatpanelen te monteren.

Reinigingsonderhoud wordt elders in dit hoofdstuk behandeld.



4.3.1 Coilcoatplaat.



4.3.2 Opbrengen van natlak.

## ALUMINIUM PLAATMATERIAAL: COILCOATEN

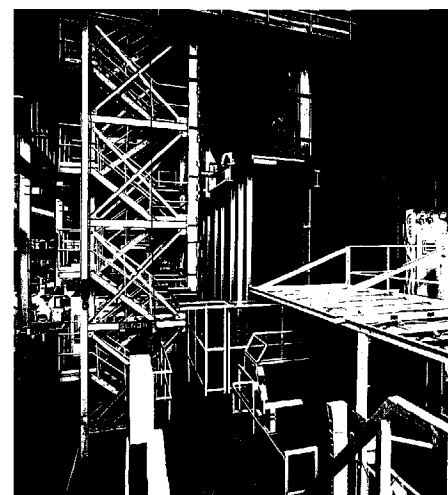
**Algemeen** Het industrieel lakken van plaatmateriaal in een continu proces wordt 'coilcoaten' genoemd. Hierbij wordt het substraat op de rol aangevoerd, afgerold, chemisch voorbehandeld, gelakt, gemoffeld, eventueel voorzien van een beschermfolie en weer opgerold. Verdere bewerking van het materiaal kan door de afnemer zelf direct vanaf de rol geschieden, of het materiaal wordt afgerold, gevakt, geknipt en gestapeld en zo afgeleverd bij de verwerkende industrieën. De beschermende werking van coilcoatlak op aluminium substraat is minder robuust dan van stuksgewijs gelakte plaat-elementen, doch de kwaliteit van coilcoat is constanter. (fig. 4.3.1)

Dit lakproces is mogelijk voor dunne platen, plaatdikte tot 2 mm en bij uitzondering tot 3 mm. Na de chemische voorbehandeling kunnen op de boven- en onderkant van de coilplaat verschillende lakafwerkingen aangebracht worden. De toegepaste lakken zijn flexibel; het gelakte produkt kan onder bepaalde voorwaarden mechanisch worden vervormd. Voor de gevelbouw betreft dit voornamelijk rolvormen, zetten, kanten en buigen van materiaal. Het dieptrekken van plaatwerk wordt in de gevelbouw weinig toegepast.

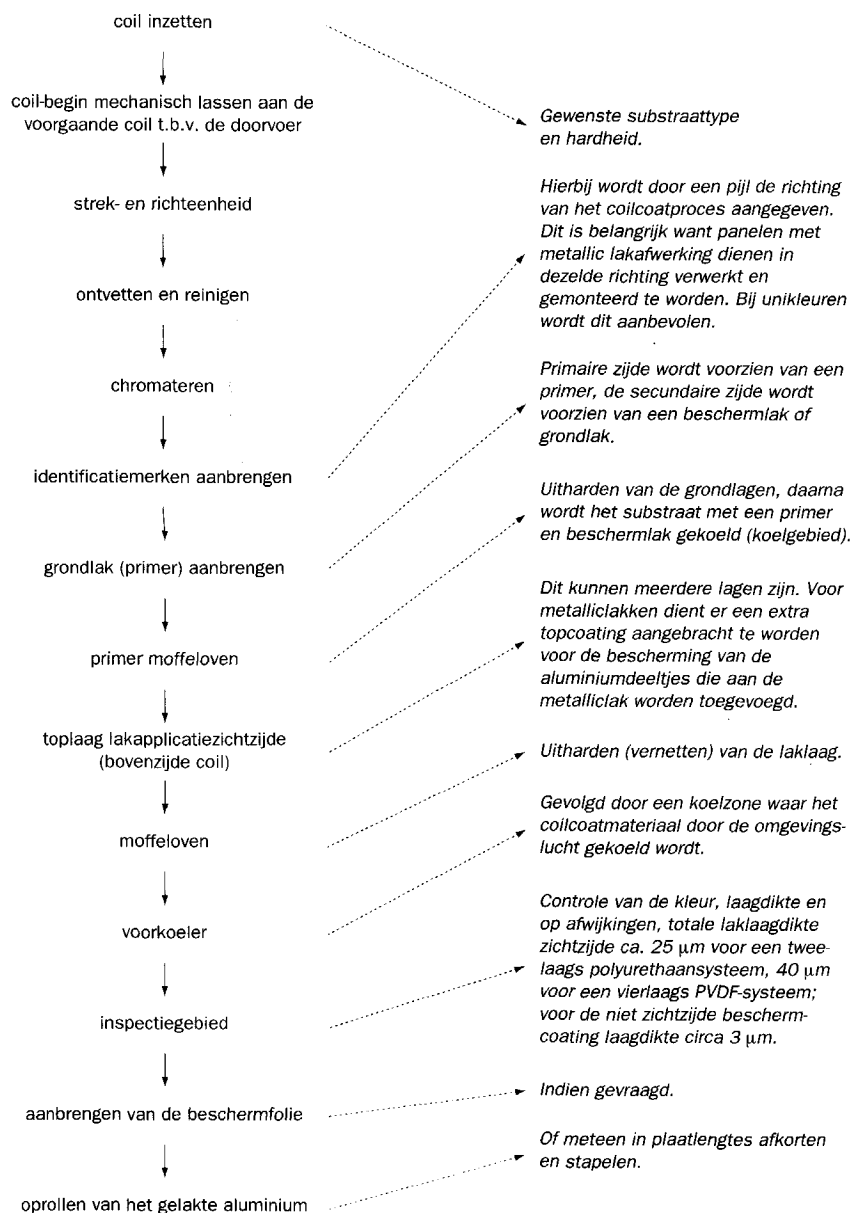
**Substraat** De plaatrollen (coils) hebben een breedte tot 2000 mm, de plaatdikte is meestal 0,2 tot 2 à 3 mm. De meest toegepaste aluminiumlegeringen zijn: Al99, Al99,5, AlMn1Mg0,5, AlMn1Mg1, AlMg1 en AlMg3. Deze legeringen zijn in verschillende hardheden leverbaar (zie hoofdstuk 2 Aluminium). De keuze van legering en hardheid is afhankelijk van het soort en de mate van bewerking, de vereiste sterkte, de

methode van bevestiging en de gevraagde vlakheid van het plaatwerk.

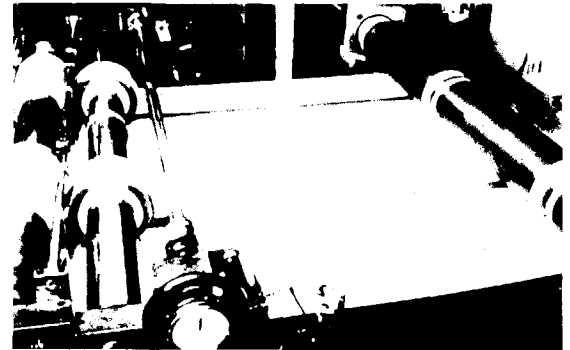
**Laksoorten** Voor geveltoepassingen worden verschillende laksoorten gebruikt: polyurethaan, polyester, siliconenpolyester en PVDF (polyvinylideenfluoride). De lak wordt hoofdzakelijk als natlak opgebracht. (fig. 4.3.2) Voor het poedercoilcoaten worden gemodificeerde poederlakken gebruikt, die afgeleid zijn van de polyester TGIC-lakcomponent. PVDF is het meest duurzame laktype. Vooral de UV-bestendigheid is groter dan bij andere laksoorten. Bovendien is er minder vuilaanhechting dan bij andere laksoorten. PVDF heeft ook een aantal nadelen in vergelijking met polyester lakken: het is duurder, moeilijk repareerbaar, minder milieuvriendelijk, zachter en niet in alle kleuren leverbaar. De lage glansgraad is een voordeel, omdat plaatwerk daardoor vlakker lijkt. PVDF wordt ook in poedervorm geleverd, maar de applicatie van poeder-PVDF wordt in een coilcoatproces nog niet toegepast. Het opbrengen van de natlak geschiedt door walsrollen, met een bandsnelheid van ca. 100 meter per minuut. (fig. 4.3.3) Poederlak wordt elektrostatisch opgebracht. De bandsnelheid is dan ca. 60 meter per minuut. De naam van coilcoatlak hangt af van het laktype dat op de bovenzijde (zichtzijde) van de coil is aangebracht.



4.3.3 Coilcoatproces; natlakapplicatie.



Natlak-coilcoatproces voor aluminium plaatmateriaal.



4.3.4 Opbrengen van accentkleurbanen.

#### Natlak-coilcoatproces voor aluminium plaatmateriaal

Bij het coilcoaten met natlak kunnen een aantal aantekeningen worden geplaatst:

- Er kunnen verschillende laksystemen opgebracht worden zowel aan de boven- als aan de onderzijde van de coilplaat. Aan de niet-zichtzijde kan bijvoorbeeld een speciale coating aangebracht worden die geschikt is voor verlijming van isolatiemateriaal of andere toepassingen.
- Het is mogelijk op de zichtzijden speciale kleur- en accentfolies op te brengen. Deze folies worden net voor het appliceren van de lakdeklaag aangebracht.
- Het is mogelijk in rolrichting kleurbanen op te brengen (bijvoorbeeld gekleurde banen op een witte ondergrond). (fig. 4.3.4)
- Het is gewenst in één gevelvlak altijd coilcoatmateriaal uit één charge te gebruiken. Tussen de charges kan een kleur- en/of glansverschil bestaan, vooral bij metallickleuren. Deze kleuren brengen vaak storende kleureffecten met zich mee. Metallic lak is alleen plaatselijk te repareren.

**Kwaliteitscontrole** De kwaliteiten van coilcoatmateriaal worden beoordeeld volgens de Europese richtlijnen zoals vastgelegd in EN, ASTM, BS en ECCA. Hiervan zijn voor Nederland de richtlijnen van de ontwerp-EN(prEN)1396 en van ECCA (European Coil Coating Association) het belangrijkste.

**Mechanische bewerkingen** Bij vooraf gelakte producten (coilcoat) zijn de bewerkingskanten door onder andere knippen, boren, ponsen onbeschermd. Bij stuksgewijs gelakte aluminium gevelementen worden wel alle bewerkingsvlakken van een coating voor-





4.3.5 Coilcoat gevelbeplating koude-spouwfaçade.  
 project: Haagse Arc te Den Haag  
 architect: T + T Design

zien. Vooraf gelakt aluminium plaatmateriaal kan onder andere gebruikt worden voor sandwichpanelen en beplatingen met een kunststof kern. Als enkelvoudige plaat wordt coilcoat-aluminium gebruikt voor cassettepanelen voor de 'regenjasafwerking' van koude-spouwfaçades, (fig. 4.3.5) voor dakrandafwerking en voor binnenaafwerking.

Het bewerken van coilcoatmateriaal voor gevelconstructies dient met zorg te geschieden. Met name het zetten of kanten vraagt speciale aandacht. (fig. 4.3.6 t/m 4.3.8) De fabrieksvoorschriften moeten geraadpleegd worden, anders kan er schade aan de laklaag ontstaan. De bewerkingsinstructies zijn afhankelijk van de plaatdikte, plaatlegering, plaathardheid en het type laksysteem. In het algemeen wordt voorgeschreven, dat bij het zetten of kanten een binnenstraal van tenminste tweemaal de plaatdikte wordt aangehouden. Maar sommige leveranciers schrijven voor toepassing aan de buitengevel ook de factor 2,5 voor. (fig. 4.3.9).

Bij het kanten van coilcoat plaatmateriaal worden speciale beschermfolies gebruikt. Bij het zetten of kanten moet de temperatuur van het plaatmateriaal tenminste 18 °C bedragen voor polyester en polyurethaan laksystemen en 20 °C voor PVDF-systemen. Bij gezet plaatwerk dienen de plaat hoeken voorzien te worden van een ontspanningsgat, waarvan de diameter afhankelijk is van de plaatdikte; voor een plaatdikte van 2 mm is de gatdiameter bijvoorbeeld 6 mm. (fig. 4.3.10) Dit ontspanningsgat dient ter voorkoming van materiaalspanningen die ontstaan door het vervormen van de beplating in de vouwhoek en die tot scheurvorming en plaatselijke onvlaktheid kunnen leiden.

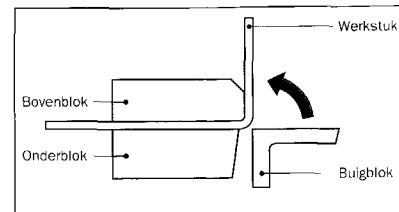
De zettingen kunnen het best enigszins schuin worden uitgevoerd, zodat de panelen (gedeeltelijk) in

elkaar passen. (fig. 4.3.11) Hierdoor is bij opslag en transport het beschadigingsrisico kleiner. Het voordeel voor het gemonteerde product is dat de schuine bovenvlakken afwaterend zijn. (fig. 4.3.12)

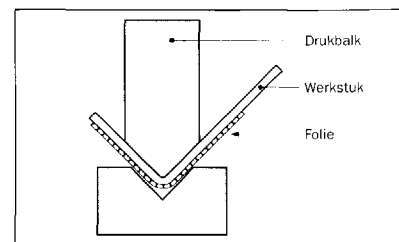
Om aantasting van de laklaag en/of van het substraat te voorkomen dient de detaillering van plaatwerkzettingen goed doordacht te zijn. Bij het gemonteerde product dient ook aan de achterzijde van het paneel het vocht afgevoerd te kunnen worden. Bij de paneelhoeken die in het zicht komen dienen de naden voldoende opening te hebben voor een snelle droging na vochtbelasting, of moeten de naden met kit of lijm waterdicht zijn afgewerkt. Vanwege de laklagen is het lassen van de hoeknaden niet mogelijk. (fig. 4.3.13 en 14)

**Beschermfolie** Het bewerken van gelakt plaatmateriaal vraagt speciale aandacht om beschadiging en/of verzwakking van het laksysteem te voorkomen. Om beschadigingen tegen te gaan wordt coilcoatmateriaal meestal geleverd met een kunststof beschermfolie op de zichtzijde van de platen. Deze folie kan na alle bewerkingen op de fabriek of na plaatsing van het paneel in het bouwwerk verwijderd worden. Er dient voorkomen te worden dat de beschermfolie op de bouwplaats nog lang blijft zitten, aangezien het verwijderen tot verschillende problemen kan leiden:

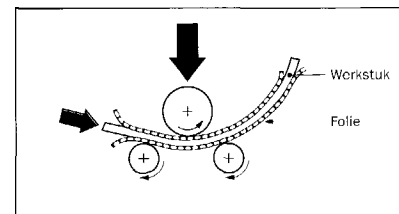
- Door zonnewarmte kan de folie (deels) vast gaan zitten, waardoor deze moeilijk te verwijderen is en lijmsporen kan achterlaten of lakbeschadigingen kan veroorzaken.
- Vervuild vocht kan in plooiën of bij losgewerkte folieranden tussen de folie en het coilcoatmateriaal kruipen en vooral bij opwarming door de zon het lakwerk plaatselijk aantasten (vlekken).



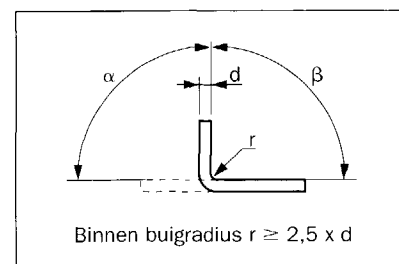
4.3.6 Kantbank.



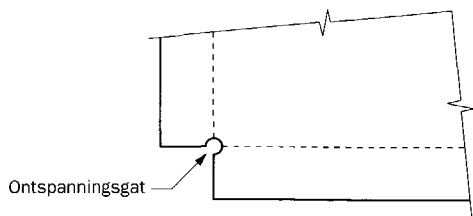
4.3.7 Zetbank.



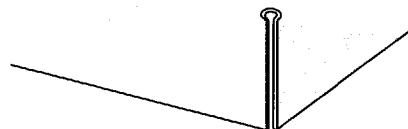
4.3.8 Rollenbak.



4.3.9 Buigradius.



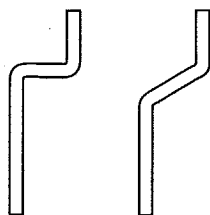
4.3.10 Ontspanningsgat.



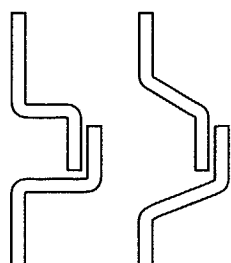
4.3.13 Open hoekoplossing.



4.3.14 Gesloten afgewerkte hoekoplossing



4.3.11 Rechte en schuine zettingen.



4.3.12 Niet en wel afwaterend paneel bovenzijde.

- Bij het plaatsen van met folie beschermde coilcoat-elementen kan de folie ingeklemd worden bij verankeringen waardoor het verwijderen bemoeilijkt wordt.
- Kit kan bij het aanbrengen aan de beschermfolie hechten. Bij het wegtrekken van de beschermfolie is dan kitreparatie nodig.

Aan de andere kant is het zaak de folie zo lang mogelijk te laten zitten om beschadiging van de panelen tijdens de bouwfase te voorkomen. Al met al moet per project beoordeeld worden of de folie het beste in de fabriek, op de bouwplaats, direct na montage van de panelen in het bouwwerk of tegen het tijdstip van de oplevering verwijderd dient te worden.

**Opslag** Het is belangrijk dat coilcoatmateriaal droog, schoon en vlak opgeslagen wordt. Er mogen geen vervormingen optreden door het gewicht van de plaatstapel. Er mag geen vocht tussen de platen komen, ook niet bij de tussenopslag na het ver- en bewerken. Door vocht kan er een plaatselijke aantasting van het lakwerk ontstaan. Bij langdurige opslag kan de beschermfolie te vast gaan zitten waardoor het verwijderen bemoeilijkt wordt.

**Reinigingsonderhoud** Voor het reinigen dienen niet-krassende of -schurende neutrale reinigingsmiddelen gebruikt te worden. Na reinigen is het afspoelen met ruim water noodzakelijk. Bij het reinigen dient niet alleen rekening te worden gehouden met het coilcoatmateriaal, maar ook met de aansluitende en omliggende gevelmaterialen en hulpmaterialen (rubbers, kisten e.d.). Speciale aandacht moet worden besteed aan de horizontale voegen van de paneelaansluitingen. Dit zijn plaatsen die sterker vervuilen. Vooral de zetkanten en

zethoeken zijn kwetsbaar; door onvoldoende reiniging kan daar eerder een aantasting van lak en/of substraat optreden. Zie verder 4.4: reinigingsonderhoud.

**Reparatie van het lakwerk** Kleine beschadigingen kunnen zowel bij polyester, polyurethaan en PVDF-systemen gerepareerd worden (zie paragraaf moffellakken). Indien grote vlakken gerepareerd dienen te worden, dan is het bij enkele beplating vaak voordeliger om het beschadigde of aangetaste plaatwerk te vervangen. Als het een sandwichconstructie betreft, moeten andere factoren meegewogen worden bij de beslissing of een plaat gerepareerd of vervangen wordt: de kosten en de overlast van demontage voor de gebouwgebruikers. Bij PVDF-laksystemen is het overlakken van grote vlakken nauwelijks mogelijk. Beschadigd of afgekeurd plaatwerk dient meestal vervangen te worden. Dit houdt in dat de technische levensduur van de PVDF-gelakte sandwichpanelen bepaald wordt door de technische en esthetische levensduur van het PVDF-lakwerk (ca. 25 jaar). Bij andere laksystemen kan er eventueel overgeschilderd worden.

In alle gevallen is het aan te raden standaard lakkleuren toe te passen. Anders wordt het vervangen van plaatwerk kostbaar en kan er kleurverschil optreden tussen bestaand en nieuw werk.

**Coilcoaten versus stuksgewijs coaten** De voordelen van het coilcoatproces zijn: constante procesomstandigheden, weinig procesmateriaalverbruik, weinig lakverlies en grote kleur-, glans- en laagdiktegelijkheid. Het proces is milieuvriendelijk en de kwaliteit van het gemoffelde plaatwerk kan goed beheerst wor-



4.4.1 'Op eenzame hoogte'.

den. Doordat de bewerkingen na het coaten plaatsvinden kunnen eventuele lakfouten vooraf vastgesteld en verwijderd worden. Het proces is goedkoop in vergelijking met stuksgewijs coaten, zeker voor grote partijen. Voor kleinere partijen kan gebruik gemaakt worden van standaard handelsvoorraden.

Coilcoaten heeft ook nadelen. Coilcoatmateriaal wordt niet aanbevolen voor kustgebieden: de laklaag is vrij dun voor maritieme buitentoepassing. Het lasen van het gelakte materiaal op zichtbare plaatsen is niet mogelijk, omdat het lakwerk plaatselijk aangetast wordt. Bij bewerkingen bestaat het gevaar dat het lakwerk beschadigd wordt. Bewerkingen dienen met zorg te geschieden: de bewerkingsnelheid van kant-, zet- en buigwerk mag niet te hoog zijn en het materiaal moet droog, schoon en voldoende warm zijn. Scherpe zettingen zijn niet toegestaan. De kanten die mechanisch bewerkt zijn, hebben geen lakbedekking, hetgeen bij bepaalde toepassingen storend kan zijn.

**Ontwikkelingen** Het gebruik van coilcoat plaatwerk voor de gevelbouw heeft vanaf het eind van de jaren tachtig een groeiend marktaandeel verworven ten koste van het moffelen van reeds bewerkte plaat-elementen. Dit komt door de uitbreiding van de levermogelijkheden en het relatief lage prijsniveau. Door het versterken van de coilcoatplaten met honingraat of kunststof kernmateriaal kunnen met relatief dun aluminium zeer grote en vlakke panelen gefabriceerd worden. Voor deze toepassing wordt een toenemend gebruik verwacht.

Een proces dat in ontwikkeling is bestaat uit het flash-anodiseren, in plaats van het gebruikelijke chromateren. De dunne anodische oxidelaag is milieuvrien-

delijker dan de chromateerlaag. In Noorwegen staat een coilcoatlijn die uitgerust is met deze voorbehandeling. Verwacht wordt dat deze procesvariant vaker toegepast gaat worden, zowel voor het coilcoaten met poederlak als met natlak.

## REINIGINGSONDERHOUD METALEN GEVELS

**Algemeen** De instandhouding van de technische en esthetische kwaliteit van de gevel is mede afhankelijk van de frequentie en de kwaliteit van de reiniging. In het verleden werd vaak, ook budgettair, alleen rekening gehouden met het wassen van het glas. Strikt genomen is dit binnenonderhoud: voor een goede daglichttoetreding en een onbelemmerd uitzicht zijn schone ruiten gewenst. De representatie vraagt echter om een schone gevel, dit geldt zowel voor het glas als voor de ondoorzichtige delen. (fig. 4.4.1)

Door de vele soorten gevelmaterialen en de per lokatie en geveloriëntatie verschillende vuilbelasting van de gevels dienen de reinigingsmethode, -middelen en -frequentie per bouwwerk en zonodig per geveldeel vastgesteld te worden. Om het onderhoud veilig en economisch uit te voeren dient hiermee eigenlijk al in de ontwerpfase rekening gehouden te worden. Goede voorzieningen – kliminstallaties en wateraansluitingen – zijn vereist. Natuurlijke beregening is altijd een voordeel.

**Aandachtspunten** Bij het bepalen van het reinigingsonderhoud van de gevel zijn verschillende punten van belang. (fig. 4.4.2)

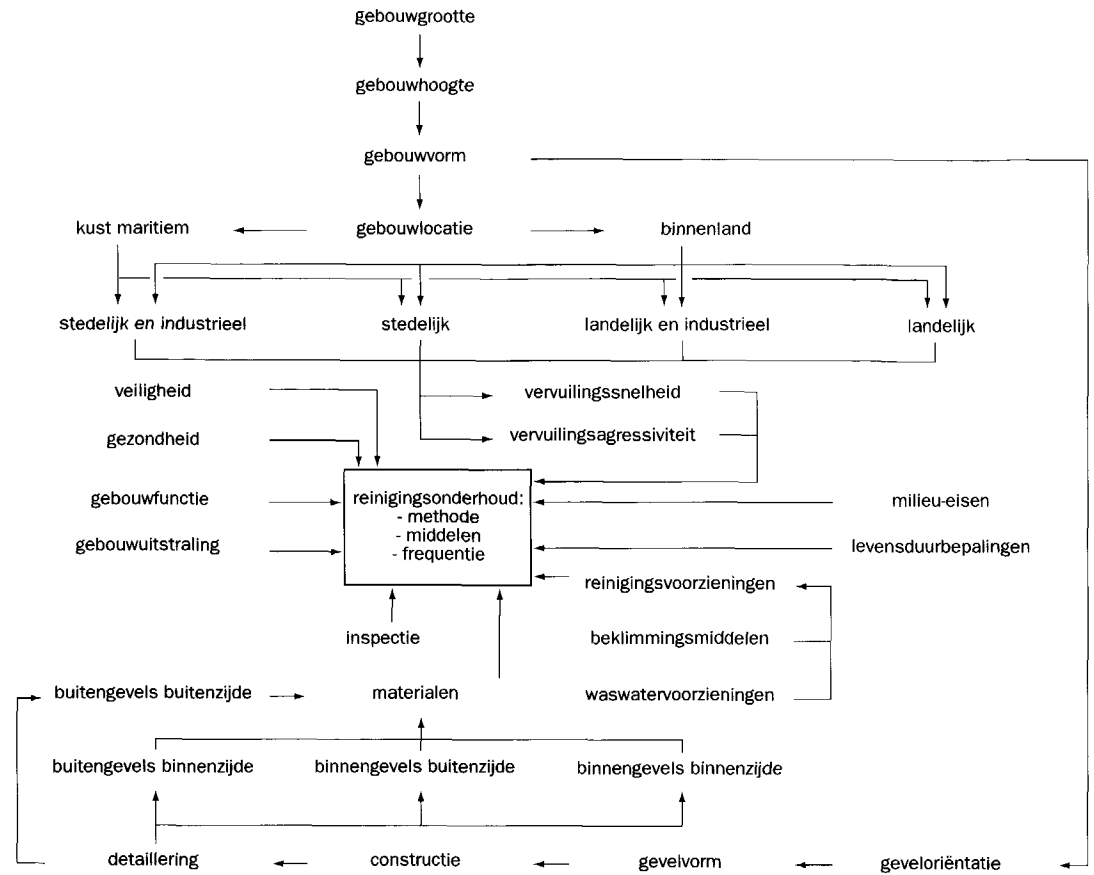
Het onderhoud dient al op de bouwplaats (na plaatsing van de gevel) een aanvang te nemen: periodiek volgens schema en incidenteel bij plaatselijke vervui-

\* De Handhavingsrichtlijn Gevelonderhoud van de Inspectiedienst SZW is in concept verschenen (23-06-95) en wordt binnenkort van kracht.



4.4.3 Hoogbouw gevelreiniging. Het gebruik van één type gevelmateriaal en vlakke profilering is gunstig voor het reinigingswerk.

\* Bij de Delfse Poort te Rotterdam, ca. 150 meter hoog, bleek dat het waswater dat vanaf dakniveau door slangen naar de hangbak werd gevoerd bij de onderverdiepingen teveel snelheid had gekregen, waarop de wateraanvoer niet was berekend. Hierdoor ontstonden er drukverschillen en werd er een vacuüm in de slang getrokken waardoor de hogedrukslang werd dichtgeknepen. Dit heeft men opgelost door de wateraanvoercapaciteit te verhogen en door de slang beter op de rollen te geleiden. Overigens wordt bij dit bouwwerk overwogen voor de hoge gevels een automatische reinigingsinstallatie aan te schaffen. Deze installaties zijn afgeleid van autowasstraatrichtingen: voor de gevel komt daar dan de verticale beweegbaarheid en de horizontale verplaatsbaarheid van de installatie bij. Tevens dient voorzien te worden in een inrichting om het gebruikte was- en spoelwater op te vangen en te regenereren voor hergebruik. De gevelwasautomaten zijn nog in de ontwikkelingsfase.



4.4.2 Relatieschema gevelreinigingsonderhoud.

ling die terstond verwijderd moet worden, bijvoorbeeld vervuiling door cementproducten.

**Gebouweometrie** De grootte, hoogte, vorm en detaillering van het bouwwerk zijn bepalend voor de omvang van het onderhoud en het beklimmingsmaterieel. Bij hoge bouwwerken dient men rekening te houden met drie bijkomende factoren:

- De weersomstandigheden, vooral de windkracht, hebben een grote invloed. Op grote hoogte staat er al snel te veel wind om veilig te kunnen werken, ook al zijn de hangbakken volgens voorschrift geborgd.
- De verticale afstanden zijn groot, waardoor wisselingen (personeel en materiaal) tijdrovend zijn.
- Voor de aanvoer van het waswater dienen extra voorzieningen getroffen te worden, men denke aan waterdruk, watercapaciteit en slangstabiliteit of een aparte watertank in de hangbak. (fig. 4.4.3)\*

Bij lage gebouwen wordt (een deel van) de gevel vaak vanaf de begane grond gereinigd. Dit betekent, dat er rondom het gebouw een verharde strook vrijgehouden dient te worden voor het plaatsen van de beklimmingsmiddelen: hoogwerkers, ladders, rolsteigers. Het is niet toegestaan staande ladders te gebruiken voor gebieden hoger dan 10 meter vanaf de ver-

harding. Voor bouwwerken hoger dan 40 meter (prEN-1808: & 7.10), dit was tot voor kort 60 meter (P-120: & 8.2.3.), zijn hangbakgeleiderails of andere bevestigingsvoorzieningen waarbij de onderlinge afstand tussen de bevestigingspunten maximaal 20 meter is, verplicht. (fig. 4.4.4) De klassieke bootsmanstoel is niet meer toegestaan, onder bepaalde voorwaarden de elektrische nog wel. (fig. 4.4.5) Hangladders kunnen gebruikt worden voor een maximale werkhogte van 10 meter. (fig. 4.4.6)

**Gevelvorm** De vorm, oriëntatie en detaillering van de gevel bepalen mede de mate van natuurlijke bewassing door regenwater, de mogelijkheid van plaatselijke vuil- en vochtophoping en de bereikbaarheid. Niet-beregende gevels of geveldelen dienen intensiever gereinigd te worden. Gevels op het noorden en noordoosten blijven door de relatief lagere temperaturen langer vochtig en worden minder door natuurlijke bewassing gereinigd. Daardoor ontstaat er meer vuil-aanhechting; de vervuilingssnelheid is hoger. Door extra vocht- en vuilbelasting is de kans op corrosie of andere chemische aantasting van de toegepaste materialen groter. (fig. 4.4.8)

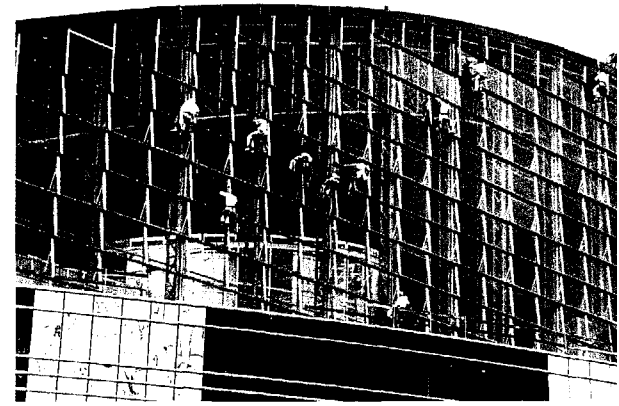
Overstekken beletten dat delen van de onderlig-



4.4.4 Gondel met kabelverankering aan de gevel, Haagse Poort, Den Haag  
architect: Rob Ligvoet, Kraaijvanger-Urbis



4.4.6 Hangladder voor gevelreiniging.



4.4.5 De bootsmanstoel. 'La Defense', Parijs.

gende gevels door regenwater worden gespoeld. De vorm van de gevel heeft ook invloed op de bereikbaarheid. (fig. 4.4.9) Hoeken en terugvallende gevels maken het beklimmen moeilijk: extra voorzieningen en verplaatsingen tijdens de wasbeurten.

**Lokatie** De lokatie van een bouwwerk kan van grote invloed zijn op de vuilbelasting. In het kustgebied hebben we te maken met een extra belasting door zout. In combinatie met industriële belasting (o.a. zwaveldioxide) en stadsbelasting (metaaldeeltjes van trein- en tramrails, koolstof, SO<sub>2</sub> door uitlaatgassen van auto's enz.) ontstaat een zeer agressief milieu. Den Haag is een voorbeeld van een gebied met deze combinatie van agressieve milieufactoren. Als een bouwwerk door vorm en detaillering van de gevel ook nog ontvankelijk is voor vervuiling en vochtaanslag, dan wordt er heel wat gevraagd van de bestendigheid van de gevelelementen. Deze omstandigheden verplichten tot een intensief reinigingsonderhoud om corrosieschade en lakaantasting te voorkomen.

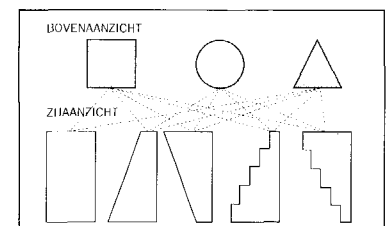
**Gevelconstructie** Door de constructie-opbouw en de detaillering wordt op microniveau bepaald hoe de gevel verontreinigd zal worden en hoe de bereikbaarheid zal zijn tijdens het reinigen. Aandachtspunten zijn: moeilijke hoeken en nissen voorkomen; afwaterend construeren; scherpe kanten vermijden. Rustplaatsen voor vogels veroorzaken mestvervuiling. Verder dient erop gelet te worden dat de samengebrachte materialen elkaar verdragen, ook in verband met corrosie en andere chemische reacties. Gewoonlijk wordt met één type reinigingsmiddel gewerkt, geschikt voor alle gevelmaterialen. Hoe meer materia-

len er gebruikt worden, hoe eerder er een reinigingsprobleem optreedt.

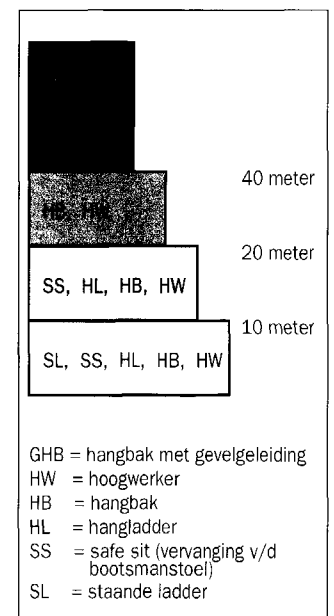
Voorzieningen voor de geleiding en bevestiging van glazenwasinstallaties kunnen zijn voorgeschreven en moeten dan ontworpen worden. Het is altijd beter als er geleidingen voor de glazenwashangbakken aanwezig zijn. (fig. 4.4.11) Dan kan er veiliger gewerkt worden en bestaat er minder kans op beschadiging van de gevel door slingers van de bak, zeker bij kozijnloze beglazingen.

**Gevelpositie** Bij het reinigen van de binnengevels is vaak het intensieve gebruik van de ruimten een probleem. Men stoort al snel en er kunnen vertrouwelijke stukken op bureaus liggen. In atria kan de bereikbaarheid van de binnengevels en de atriumglaskap een probleem zijn. Ook het gebruik van waswater met reinigingsmiddelen en spoelwater kan lastig zijn. (fig. 4.4.13) De frequentie en de intensiteit van het reinigingsonderhoud kunnen minder zijn dan voor buitengevels, omdat de zware buitenbelasting niet optreedt. De buitengevels vormen de zwaarst belaste zone. De reiniging ervan dient vanwege esthetische en technische factoren regelmatig en vakkundig te geschieden. Er dient steeds van boven naar beneden te worden gereinigd.

**Materialen** De fysische en chemische eigenschappen van de materialen waaruit de gevel is opgebouwd, zijn mede bepalend voor de weerbestendigheid. Daarbij gaat het onder meer om de bestendigheid tegen UV-straling en vocht- en temperatuurbelastingen. De afwerking van het materiaal dient glad en vuilafstotend te zijn. De porositeit van het materiaal



4.4.8 Gevelvormen, combinaties van boven- en zijaanzicht.



4.4.7: Toegestane beklimmingsmiddelen bij maximale werkhogtes vanaf het maaiveld.



4.4.9 Het onderste schuine gedeelte van de glasgevel, de 'motorkap', kan vanwege onvoldoende voorzieningen (nog) niet gereinigd worden, Hoofdkantoor Gasunie, Groningen. architecten: Alberts en van Huut



4.4.11 Voor hoge bouwwerken is kabelgeleiding noodzakelijk om het slingeren van gondels te voorkomen, Haagse Arc, Den Haag. architect: T+T Design



4.4.13 Binnenzijde 'gasvlam'glasfaçade kan met 'kunst en vliegwerk' gereinigd worden, Hoofdkantoor Gasunie, Groningen. architecten: Alberts en van Huut

speelt een rol. Bij poreus materiaal zoals baksteen dient vermeden te worden dat reiniging of afwatering plaatselijk extra benatting veroorzaakt.

De kleur- en reflectie-eigenschappen van de materialen zijn van invloed op de waarneembaarheid van de vervuiling. Op lichte en/of reflecterende oppervlakken is vuil eerder zichtbaar. Het onderhoud betreft vooral de instandhouding van de laklaag. Voor de keuze van de reinigingsmethode is het belangrijk dat het type en de hardheid van de laklaag bekend zijn. Dit moet in het reinigingsbestek opgenomen worden. Tevens dient vermeld te worden of de beglazing een coating heeft op zijde 1.\*

Hulpmiddelen zoals reinigingspads en borstels moeten afgestemd zijn op de gebruikte materialen. Stoffen die van de hulpmiddelen afkomen mogen gevelmaterialen niet aantasten. Bij gebruik van een 'handpad' dient het type met witte kleur gebruikt te worden. Bij andere kleuren is de schurende werking groter. Bij het reinigen van gelakt aluminium dient nagegaan te worden of de witte handpad geschikt is. Er mogen door het gebruik van de handpad geen krassen in het lakwerk ontstaan.\*\*

**Reinigingsinstallaties** Reinigingsinstallaties kunnen in de volgende categorieën worden onderverdeeld:

- staande ladders;
- hangladders;
- bootsmanstoel: klassieke uitvoering of elektrisch;
- hangbakken zonder of met geleiding;
- hoogwerkers.

De architect heeft vaak bezwaren tegen aan de gevel toegevoegde delen voor beklimming. Volgens het Bouwprocesbesluit, van kracht sinds 12-08-94, dient

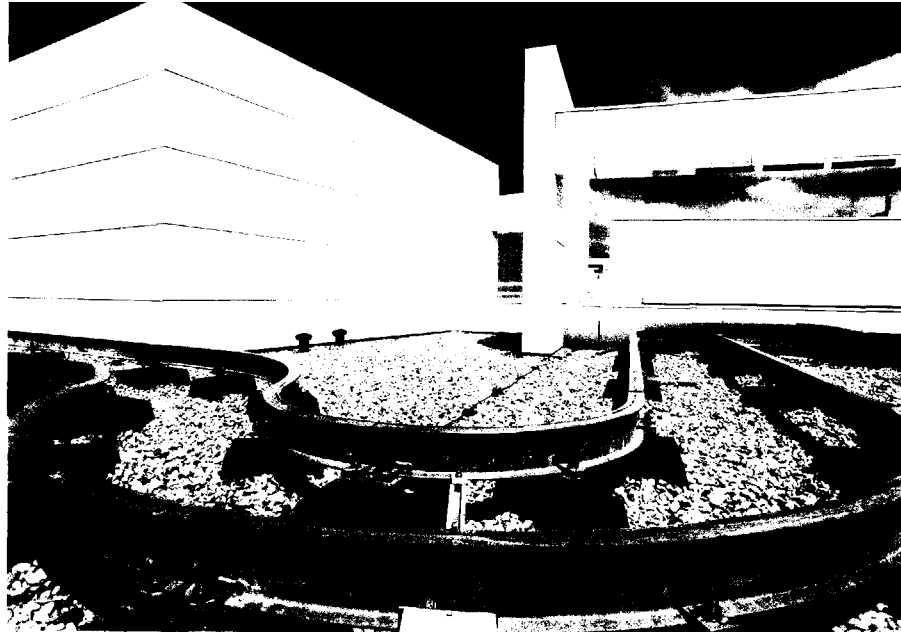
de architect al in het ontwerp rekening te houden met structurele voorzieningen voor het onderhoud van het bouwwerk en een dossier aan te leggen waarin deze voorzieningen vastgelegd zijn. (fig. 4.4.16) Dit dossier wordt bij oplevering van het bouwwerk aan de eigenaar of beheerder overgedragen.

Bij sommige projecten worden bouwkundig glazen-wasbalkons aangebracht. Meestal worden hangbakken geïnstalleerd. (fig. 4.4.17) Slechts bij uitzondering worden automatische wasinstallaties aangebracht. Deze zullen echter in de toekomst in populariteit toenemen. Ook zijn vaste hangladders mogelijk. Lagere bouwdelen worden vaak vanaf de begane grond met behulp van steigers, ladders of hefplateaus gereinigd. Het gebruik van de elektrische bootsmanstoel dient zo mogelijk vermeden te worden. Dit is een minder veilig beklimmingsmiddel. Het gebruik van hoogwerkers is toegestaan en voor het reinigen van moeilijk bereikbare plaatsen vaak noodzakelijk. Voor hoog gelegen geveldelen is het een relatief dure voorziening.

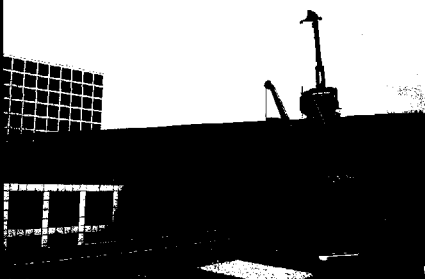
Voor de toegestane werkhoogte van de verschillende beklimmingsmiddelen, zie figuur 4.4.7. De klassieke bootsmanstoel wordt na 01-07-96 niet meer toegestaan. De elektrische bootsmanstoel mag maar beperkt gebruikt worden. Om ergonomische redenen mag de bootsmanstoel maar maximaal twee keer twee uur per dag gebruikt worden met een pauze van tenminste een half uur. Bij gunstige omstandigheden komt dat neer op een gereinigd oppervlak van 200 m<sup>2</sup>. Deze condities, maximaal twee maal twee uur per dag of 200 m<sup>2</sup> gevel per man per dag, zijn ook van kracht voor het werken vanaf hangladders. Per 01-07-96 worden niet-permanente hangladders verboden. Vaste hangladders met een maximale werkhoogte van 10

\* Een glascoating op zijde 1 dient in principe niet toegepast te worden. Het blijkt dat deze coating te gevoelig is voor vervuiling en beschadiging.

\*\* Het reinigen van geanodiseerd aluminium dient met goedgekeurde reinigingsmiddelen en een witte handpad uitgevoerd te worden. Bij sterke vervuiling kan men bimsmeel, fijne maling, gebruiken. Er moet steeds met schoon water nagespoeld worden: er mogen geen reinigingsmiddelen achterblijven.



4.4.16 Railsysteem gondelkranwagen.  
project: Stadhuis te Den Haag  
architect: Richard Meier



4.4.17 Gondelkranwagens.  
project: Haagse  
Poort te Den Haag

meter zijn toegestaan mits de afstand tussen ladder en gevel minimaal 200 en maximaal 400 mm bedraagt. (fig. 4.4.18) Hangbakken met gevelgeleiding en automatische wasinstallaties hebben de voorkeur. Voor gebouwen hoger dan 40 meter dienen hangbakken voorzien te zijn van een geleiding. Het beste is een doorlopende rail- of sleufgeleiding die in de gevelconstructie opgenomen is, anders is een kabelgeleiding met fixatiepunten (maximale tussenruimte twintig meter) noodzakelijk. Aan het gebruik van hoogwerkers zijn geen restricties ten aanzien van het gebouw (type, hoogte enz.) verbonden.

Het reinigen van de gevel kan ook vanaf glazen wasbalkons of -bordessen geschieden. In het algemeen dient een werkplek minstens 800 mm breed te zijn. Voor glas- en gevelreinigen mag deze maat 600 mm zijn mits de werkzaamheden overwegend staande uitgevoerd worden en er geen opslag van materiaal op de balkons plaatsvindt.

**Milieu-eisen** Steeds vaker moeten er maatregelen getroffen worden om het vervuilde was- en spoelwater op te vangen, het ter plaatse voor hergebruik te regenereren (reinigen en neutraliseren) of het als afval af te voeren. Hiervoor dienen bijvoorbeeld tijdelijk goten aan de gevel aangebracht te worden, tenzij er reeds in de gevelconstructie voorzieningen zijn opgenomen. De toegepaste reinigings- en conserveringsmiddelen moeten aan milieu-eisen voldoen. Bij alle professionele reinigingsproducten worden produktbladen geleverd, waarop de milieufactoren en de gebruiksgegevens staan vermeld. De milieu-eisen zijn lokaal sterk verschillend. Per lokatie dient hierover informatie ingewonnen te worden bij de gemeentelijke

milieudienst. De milieu-eisen zullen in de toekomst strenger worden. Bij ontwerpbeslissingen mag dat feit niet genegeerd worden.

**Veiligheid** Bij gevelreiniging speelt een aantal veiligheidsfactoren een rol:

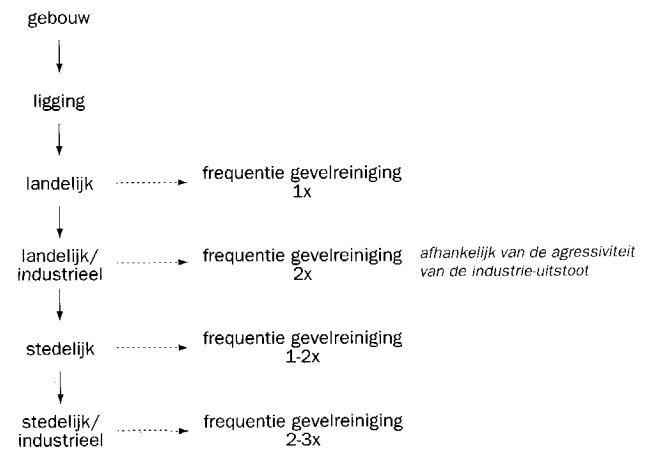
- De werkomstandigheden dienen veilig te zijn, zowel voor de gevelreinigers als voor de passanten. Voor hangladders dient een toegangsplatform met leuningen voorzien te zijn, minimaal 0,6 x 1,0 meter. Voordat het platform betreden wordt moet men zich aanlijnen. De gevel moet met de hangbakken of met ander beklimmingsmateriaal goed bereikbaar zijn, ook op ongunstige plaatsen.
- Het reinigingsmateriaal (hangbakken, hangladders, veiligheidsrail) dient in een goede staat te zijn. Gestald materiaal dat niet gebruikt wordt, mag niet tot onveilige situaties kunnen leiden. Het materiaal dient conform de voorschriften periodiek gekeurd te worden. Onbevoegd gebruik van de installaties dient niet voor te komen. Vanaf windkracht 6, afhankelijk van het type reinigingsmateriaal, bij regen of bij temperaturen beneden 0°C kan niet veilig gewerkt worden. In een vorstperiode kunnen ijspegels gevaarlijk zijn.
- Het werken met hogedruk-reinigingsapparatuur mag alleen geschieden vanaf een stijve en stabiele standplaats, dus bijvoorbeeld niet vanaf hangstijgers en (hang)ladders.

In de 'Bouwprocesbesluit-Arbeidsomstandighedenwet' is bepaald dat de gebouweigenaar of gebouwbeheerder mede verantwoordelijk is voor goede voorzieningen en werkomstandigheden bij het reinigingsonderhoud.





4.4.18 Koepel met buiten- en binnenladder voor de reiniging.



4.4.19 Aanbeveling van de frequentie van de reiniging (uitgangspositie).

**Functie en levensduur** Aangezien de gevel een van de meest onderhoudsintensieve en in het oog springende bouwdelen is, moet zij afgestemd worden op de ontwerp levensduur van het bouwwerk. De levensduur van de gevelmaterialen kan sterk variëren: van weggooi-elementen met weinig tot geen onderhoud tot duurzame elementen die volgens een goed onderhoudssysteem op peil gehouden moeten worden tot het gebruikseinde (de demontage). De beoogde levensduur van de gevel, de functie van het bouwwerk en de uitstraling zijn van invloed.

**Uitvoering** Er dient vakkundig personeel ingezet te worden. De traditionele glazenwasser is onvoldoende geschoold. Glas kan veel hebben, ook reinigingsmiddelen zoals ammoniak, doch aluminium, staal, rubbers, graniet en lakken zijn gevoeliger voor 'sterke' reinigingsmiddelen. De gevel dient met neutrale en niet-schurende middelen gereinigd te worden: middelen in het pH-gebied van 6-8 zijn geschikt. Bij zware vervuiling dient een sterker middel gebruikt te worden. De brancheverenigingen, zoals VISEM, VMRG en VAS, alsmede de gespecialiseerde gevelreinigingsbedrijven, kunnen daarin adviseren. Gevelreinigingsbedrijven zijn ervaren in het reinigen van metalen gevelconstructies en beschikken over gespecialiseerd personeel en de juiste reinigingsmiddelen. Er is een erkenningsregeling voor gevelreinigingsbedrijven in ontwikkeling; in Duitsland bestaat reeds zo'n regeling (Reinigung von Metallfassaden Gütesicherung RAL-GZ 632).

Voldoende wateraansluitingen met een doorlaat die afgestemd is op de wateraanvoerbehoefte van het gekozen systeem is een voorwaarde, zo nodig met verwarmd water (max. 60°C). De wenselijkheid van een

verhoogde waterdruk dient per project beoordeeld te worden. Voorwaarde is dat voorkomen wordt dat door de waterstraal gevelmateriaal beschadigd of losgewerkt wordt. De frequentie van de onderhoudsbeurten verschilt. Voor het wassen van de doorzichtbeglazing wordt meestal vier tot zes maal reinigen per jaar aangehouden. Voor de gevelreiniging is één tot vier maal per jaar gebruikelijk, afhankelijk van de plaatselijke vervuilingssnelheid en de agressiviteit.

Reiniging en bewassing dienen zoveel mogelijk gelijktijdig uitgevoerd te worden. Indien de doorzichtbeglazing met een grotere frequentie gereinigd wordt, dan dient erop gelet te worden dat daardoor geen vervuiling van de overige geveldelen ontstaat. Er zijn situaties, waarbij uitsluitend glaswassen praktisch niet uitvoerbaar is zonder de lagere gevelcomponenten te vervuilen. In die gevallen zal de gevel steeds in zijn geheel gereinigd moeten worden.

Bij een ligging van het gebouw binnen 20 kilometer van de kust dient de frequentie (zie fig. 4.4.19) met één keer verhoogd te worden. Bij een ligging van het gebouw (de gevel) binnen 100 meter van een spoor- of tramlijn dient de frequentie met één keer verhoogd te worden. Bij niet-beregende gevels dient de frequentie met één keer verhoogd te worden. Echter als regel geldt dat totaal vier maal per jaar reinigen voldoende is. Door inspectie dient per geveltype en oriëntatie beoordeeld te worden of er omstandigheden zijn waardoor de reinigingsfrequentie en/of -methode aangepast dienen te worden. Het is niet altijd mogelijk de reinigingsfrequentie al in het ontwerp stadium vast te stellen.

**Inspectie** Het reinigen van de gevel is een activiteit voor het behoud van het uiterlijk en het functione-

ren van de gevel. Daarom is het vakkundig en regelmatig reinigen onderdeel van de garantievoorzieningen van de gevelleverancier. Het inspecteren en vastleggen van de reinigingswerkzaamheden is daarom belangrijk. Enerzijds om te bewaken dat het onderhoud niet veronachtzaamd wordt, anderzijds om zonnig de reinigingsprocedure aan te passen aan de bevindingen.

Het vastleggen van de reinigingsprocedure in een handleiding is aan te bevelen. De uitvoering van de reinigingsacties (data, gegevens van het uitvoerend personeel), de bevindingen per reinigingsbeurt (schades, technische mankementen) en de registratie van de inspecties kunnen in een reinigingslogboek vastgelegd worden.

**Conservering** Naast het normale reinigingswerk kan periodiek een ondersteunende behandeling plaatsvinden, waarvoor een drietal systemen in de handel zijn:

- behandeling met was voor gelakte gevelelementen;
- behandeling met een blanke lak voor gelakte en geanodiseerde gevelelementen (minder geschikt, omdat bij verwijdering milieuproblemen kunnen ontstaan);
- behandeling met een drogende siliconenolie voor geanodiseerde gevelelementen.

Voor glas bestaat er een aantal water- en vuilafstotende middelen, die reeds tijdens de productie van de beglazing aangebracht kunnen worden, bijvoorbeeld Clearshield.

## ANTI-GRAFFITIBEHANDELING

**D**e gevel kan door vandalisme vervuild of beschadigd worden.

In het kader van het reinigingsonderhoud kan het verwijderen van posters, stickers en viltstift- of graffiti-bekladding als een bijzondere taak worden gezien. Snel na het ontdekken verwijderen van stickers en bekladding werkt ontmoedigend. (fig 4.4.20) Snelle actie is temeer geboden, daar oude bekladding moeilijker te verwijderen is.

Spuitbusverf en viltstiftinkt zijn moeilijk verwijderbaar. Om ze van de gevel te verwijderen zijn 'zware' reinigingsmiddelen nodig. Hierdoor kan plaatselijk een beschadiging of een zichtbare verandering van het gevelelement ontstaan. Om gevels preventief tegen graffiti-overlast te beschermen zijn er een aantal methoden ontwikkeld. De beste methode is om een oppervlakte-behandeling te kiezen met anti-graffiti eigenschappen. Een PVDF moffellak is daarvoor geschikt. Een andere methode is de oppervlakte-behandeling van gevelcomponenten op bereikbare hoogten af te stemmen op graffiti-belasting. Hiervoor zijn combinaties van lakafwerkingen en reinigingsmiddelen in de handel. Voor gelakte of geanodiseerde metalen

gevelelementen bestaan er drie groepen anti-graffiti-afwerkingen: permanent, semi-permanent en zelfopofferend.

**Permanente afwerking** Deze methode is geschikt voor gelakte gevelelementen. Bij permanente systemen wordt een speciale lakafwerking opgebouwd die in combinatie met een oplosmiddel het onzichtbaar verwijderen van graffiti mogelijk maakt. Het verwijderen van graffiti en viltstiftinkt geschiedt met oplosmiddelhoudende reinigingsproducten. Het afnemen van de graffiti kan vele malen worden herhaald voordat het laksysteem blijvende schade heeft opgelopen. Dan dient de toplaag verwijderd te worden alvorens een nieuwe anti-graffitilaag aangebracht kan worden. Dit verwijderen van de oude laklaag is een arbeidsintensief werk: er worden afbijtmiddelen gebruikt of het oppervlak wordt gestraald. Dit is een nadeel van permanente behandelingen.

Vanwege de opbouw van lakafwerking zullen de behandelde platen en profielen niet precies dezelfde kleur en glansgraad bezitten als de andere gevelelementen. Permanente systemen zijn niet alleen geschikt voor anti-graffiti doeleinden, maar bieden ook een duurzame bescherming van het substraat. Permanente systemen zijn meestal gebaseerd op een polyurethaan natlakafwerking.

**Semi-permanente afwerking** De semi-permanente behandeling is een tweelaags anti-graffiti-afwerking die alleen geschikt is voor gelakte gevelelementen. Bij het verwijderen van de graffiti wordt ook de toplaag van het systeem verwijderd. Deze toplaag dient daarna weer aangebracht te worden. De toplaag bestaat meestal uit acrylaten of biopolymeren. Door deze methode kan er met oplosmiddelvrije reinigingsmiddelen gewerkt worden.

De werkwijze kan vele malen worden herhaald, maar er komt een moment waarop ook de basislaag vernieuwd moet worden. Dat kan alleen geschieden als het hele anti-graffitilaksysteem door afbijten of stralen verwijderd wordt. Daarmee hebben semi-permanente systemen hetzelfde nadeel als permanente anti-graffitisystemen.

**Zelfopofferende afwerking** Deze systemen zijn geschikt voor geanodiseerde en gelakte gevelelementen. Bij geanodiseerd werk kan alleen het systeem op basis van een acrylaat met metaalvernetting toegepast worden. Voor lakwerk kunnen in principe alle zelfopofferende systemen ingezet worden, wel dient steeds de hechting en de verenigbaarheid onderzocht te worden.

Het zelfopofferende systeem is een toegevoegde laag die tezamen met de graffiti wordt verwijderd. Het afnemen van de anti-graffitilaag en de graffiti geschiedt met warm water (ca. 60°C) dat onder druk

(ca. 60 bar) wordt toegevoerd. Door het warme water verweekt de laag en komt deze los, tezamen met de graffiti. Bij dit systeem is de milieubelasting gering. De zelfopofferende laag bestaat meestal uit biopolymere, bijvoorbeeld het zetmeelachtige product polysaccharide, of wasachtige producten, die na het aanbrengen nauwelijks zichtbaar zijn en zonder bekladding of beschadiging afhankelijk van de omstandigheden gedurende een periode van één tot drie jaar bescherming bieden. Na elke bekladding dient het produkt opnieuw aangebracht te worden. Teneinde de levensduur van het zelfopofferende systeem zeker te stellen kan er nog een extra beschermende toplaag aangebracht worden. Dit om te voorkomen dat bij een periodieke reinigingsbeurt waarbij overvloedig water toegepast wordt, of bij zware regenlagen de laagdikte van de anti-graffitibeschermering afneemt. Er dient bij de toepassing van dit systeem voorgeschreven te worden, dat bij de gebruikelijke reinigingswerkzaamheden geen water met een temperatuur hoger dan 20°C wordt gebruikt.

## ONTWIKKELINGEN

Het reinigingsonderhoud van de gevel zal een steeds grotere invloed krijgen op het gebouwwontwerp. Door toenemende regelgeving – milieuregels, Arbo-wetgeving, produktaansprakelijkheid – zullen meer en veiliger voorzieningen voor het reinigingsonderhoud nodig zijn. Ook de stijgende arbeidskosten zullen van invloed zijn. Reinigingswerkzaamheden zullen in toenemende mate geautomatiseerd en gemechaniseerd worden. (fig. 4.4.21) Zo kunnen ook de milieuzorgaspecten beter beheerst en gerealiseerd worden.

Het is nodig dat er een instrument ontwikkeld wordt dat vastlegt welke reinigingschemicaliën gebruikt zijn en in welke concentratie. Het blijkt vooral bij handmatig reinigen verleidelijk te zijn snelwerkende middelen toe te passen. Indien schurende reinigingsmiddelen toegepast zijn, is dat bijvoorbeeld te zien aan krassen in lakwerk. Maar als er verkeerde chemicaliën of te hoge concentraties gebruikt zijn, is het reinigingsresultaat op het oog meestal goed. Maar er kan een laagje lak zijn afgenomen of een ander gevelmateriaal kan zijn aangetast. De aantasting vindt vaak stapsgewijs plaats, waardoor ze niet direct zichtbaar wordt. Meestal wordt de bescherm laag dunner en ruwer, waardoor de beschermfunctie afneemt en de vervuilingssnelheid toeneemt. De ontwikkeling van een instrument waarin de gegevens over de gebruikte reinigingschemicaliën worden opgeslagen, is daarom noodzakelijk.

Het is nodig dat er een officiële normering komt van de kleuraanduiding van het type nylon 'non-woven



4.4.21 De automatische gevelreinigingsinstallatie, Parijs.

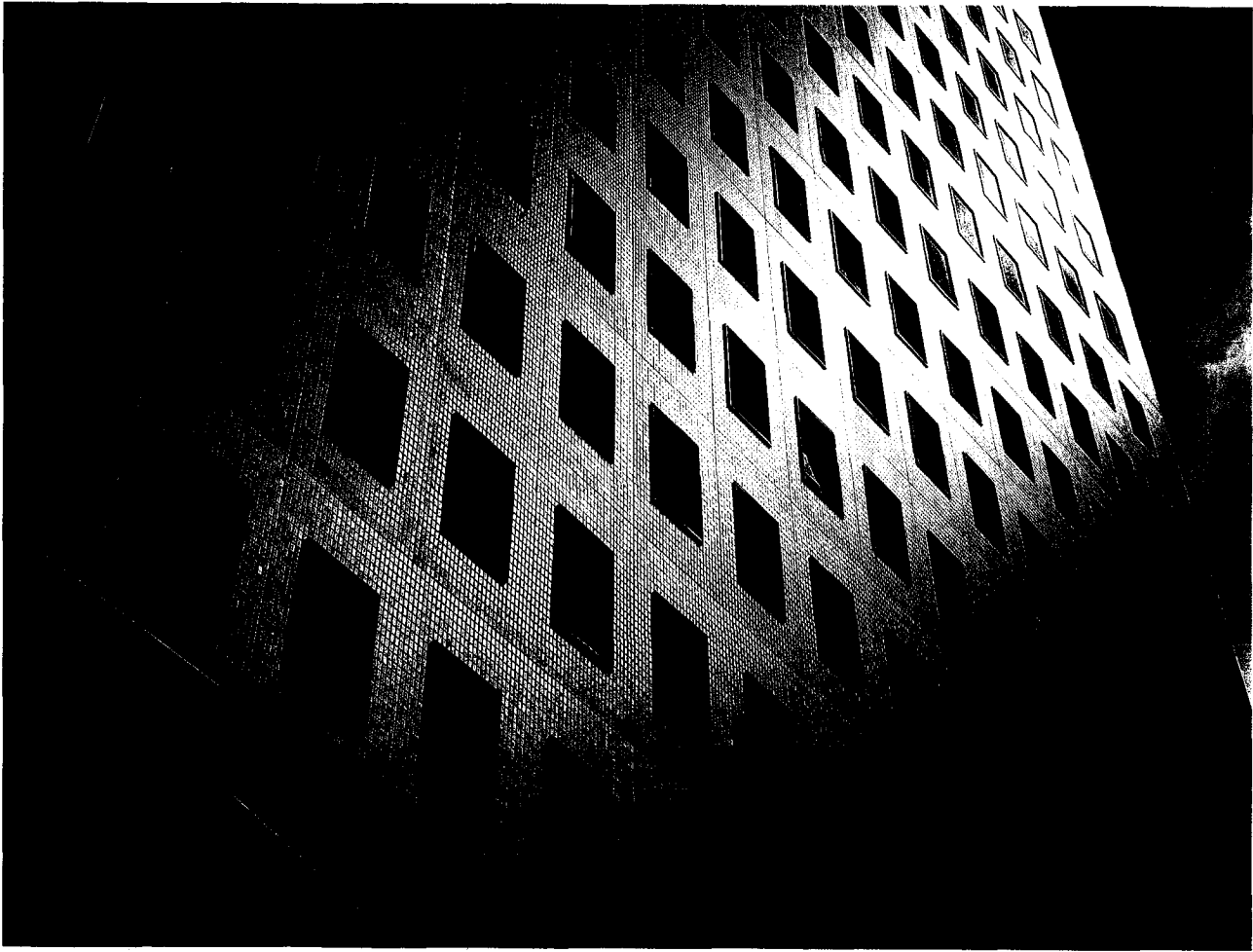


4.4.20 Graffitiverwijdering.

pad' dat vaak gebruikt wordt. De niet-schurende pad heeft een witte kleur, een donkerder kleur geeft een grotere schurende werking aan. Dit is een door de fabrikant geïntroduceerde methode, die echter niet formeel en meetbaar is vastgelegd.

Verwacht mag worden dat binnenkort voor elk bouwwerk de volgende procedures gebruikelijk zullen zijn:

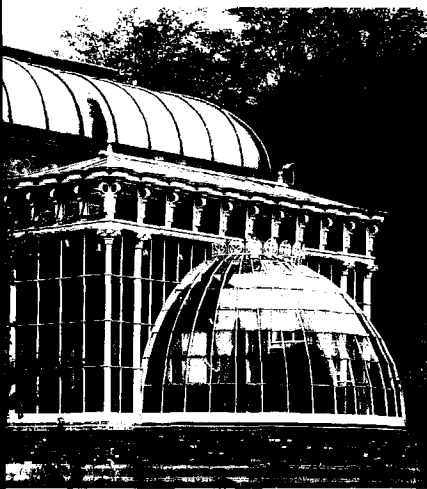
- Bij de vaststelling van de uitvoering en de keuze van de aannemers en (toe)leveranciers ligt het reinigingsonderhoud geheel vast.
- De zorg begint zodra er gevelcomponenten in het bouwwerk gemonteerd zijn.
- De uitvoering van het onderhoud wordt door onafhankelijke inspecteurs gecontroleerd.
- Er is een duidelijke reinigingsinstructie op het bouwwerk aanwezig, zodat het gevelreinigingspersoneel ter plaatse geïnformeerd kan worden.
- Een reinigingslogboek wordt aangelegd en bijgehouden.
- Er komt een vervuilingmetmethode beschikbaar, waardoor het moment van noodzakelijke gevelreiniging automatisch gesignaleerd wordt.
- Er wordt een reinigingscontrole-indicator ontwikkeld voor de vastlegging van de gebruikte reinigingschemicaliën (type en concentratie).
- Reinigingscontrole-indicatoren vervullen een rol bij de inspectie van de gevelonderhoudswerkzaamheden.
- Er wordt een opleveringsprotocol per reiniging opgesteld, waarvan afschriften worden verstuurd naar de gebouwbeheerder, de gebouweigenaar en de verstrekker van de garantie op de gevelwerken. Het is het beste als deze procedure onderdeel van een kwaliteitsborgingsprocedure is, bijvoorbeeld conform ISO-9002.



*Senri Asahi Hankyu gebouw, Toyonaka, Japan.  
architect: Takenaka Corporation.*

Glas

5



5.2 Orangerie te Aerdenhout, 1883.  
architect: C. Muyskens

## GLAS IN DE ARCHITECTUUR

**H**oewel het materiaal glas al vele eeuwen ouder is, vond de eerste bouwkundige toepassing pas plaats aan het begin van onze jaartelling. De Romeinen waren als eerste in staat om kleine vensteropeningen af te sluiten met geblazen glas, dat een lichtgroene tint had en vele luchtbellenvertoonde. [27] Met de ondergang van het Romeinse Rijk ging ook de glasblaastechniek verloren, om geleidelijk, in de gebouwen van de Romaanse tijd, weer herontdekt te worden. Aan het einde van de Middeleeuwen werd (gekleurd) glas vaak toegepast. Dit was vooral nog voorbehouden aan gebouwen van kerk en staat omdat glas een bijzonder duur materiaal was. De toenmalige produktiemethode beperkte de grootte en de zuiverheid van de glasbladen. Om grotere glasvlakken te verkrijgen werden ruiten samengesteld door middel van houten stijl-en-regeltjes of met behulp van lood. (fig. 5.1) In de Gotiek werd het, aanvankelijk symbolisch beschilderde, glas-in-loodraam verheven tot kunst, mede door de fraaie kleuren die men het glas kon geven. Het glas werd voor het eerst een vormgevend en ruimtebepalend element. In de daarop volgende eeuwen werd glas steeds veelvuldiger toegepast in gebouwen.

In de achttiende eeuw werden in Europa de orangerie en het palmenhuis populair. (fig. 5.2) Dit werd gestimuleerd door verbeteringen in de vlakglasproductie. Massieve wanden met vensteropeningen werden deels vervangen door ijzeren frames met glasvullingen die een ongekende mate aan daglicht het gebouw binnenhaalden. De pogingen om volledig beglaasde bouwwerken te maken resulteerden in een 'ijzer-glas archi-

tectuur' met als hoogtepunt het Crystal Palace van Joseph Paxton uit 1851. Hierin werden voor die tijd minimale constructieafmetingen gecombineerd met zo groot mogelijke glasoppervlakken (1,22 m x 0,30 m). De bouw van het Crystal Palace symboliseerde een ontwikkeling naar een meer transparante architectuur, waarvan de vele passages en stationoverkappingen uit de tweede helft van negentiende eeuw dagelijkse verschijningsvormen werden.

Het gebruik van glas werd voortgezet binnen een architectuuropvatting waarin glas de huid ging vormen rond het gebouwskelet, in plaats van het vulmateriaal voor de vensteropeningen. Walter Gropius was één van de eersten die deze vroege vorm van 'gordijngelvels' toepaste, zowel in zijn ontwerp voor Fagus-fabriek in Duitsland als in het latere Bauhaus in Dessau. (fig. 5.3) Mies van der Rohe presenteerde op de Berlijnse Kunst Tentoonstelling in 1922 een model voor een glazen wolkenkrabber. Dit ontwerp kan gezien worden als een treffende illustratie van het doel van de gordijngelvel; de gevel als huid waarachter het gebouw zijn structuur laat zien. Helaas werd dit ontwerp niet serieus genomen, het was zijn tijd te ver vooruit.

Nieuwe ontwikkelingen in de glasindustrie concentreerden zich op het vlakker en groter maken van de glasbladen. Het aanvankelijke enthousiasme om glazen daken en wanden toe te passen werd getemperd door broeikasproblemen in binnenruimten. Dit resulteerde in 1930 in de eerste productie van 'in-de-massa-gekleurd glas'. Het was de eerste stap op weg naar een meer geavanceerde glastechnologie. In deze periode vonden eveneens de eerste experimenten met dubbelglas plaats. De grootschalige toepassing ervan kwam pas op gang na de energiecrisis van 1973. Het

beseef groeide dat glas veel meer functies zou moeten hebben dan uitzicht, lichttransmissie en klimaatscheiding. Naast ontwikkelingen op het gebied van gasgevulde spouwen werden in hoog tempo reflecterende coatings op de markt gebracht die in de jaren tachtig een architectuurbeeld inluiden van keiharde, onvriendelijke glasevels. (fig. 5.4) In de jaren negentig kwamen architecten hiervan terug. Ze streefden naar een transparantere architectuur, die toch voldeed aan de wensen op het gebied van thermische isolatie en zonbeheersing. Glas werd een selectieve filter van zonne-energie. Andere belangrijke ontwikkelingen in deze periode betroffen de (brand)veiligheid (ontwikkeling van gelamineerd glas) en de mogelijkheden om glas als constructief materiaal toe te passen.

## GESCHIEDENIS VAN DE GLASPRODUKTIE

**I**n deze paragraaf wordt de ontwikkeling beschreven van de twee belangrijkste glassoorten uit de voorgaande eeuwen, het vensterglas en het spiegelglas. Beide glassoorten hebben een zeer belangrijke rol gespeeld in de architectuur maar worden nu nagenoeg niet meer geproduceerd.

**Vensterglas** Kort voor onze jaartelling werd in Syrië het glasblazen uitgevonden. Met behulp van een pijp werd lucht in vloeibaar glas geleid waardoor een glasbel ontstond. Door het draaien en slingeren van de pijp ontstonden cilinders die men aan de uiteinden recht afsneed. Glasbladen ontstonden door deze cilinder overlans door te snijden en in een strekoven te verweken en te ontrollen. Op deze manier werden, weliswaar onregelmatig en zwaar verontreinigd, glasbla-

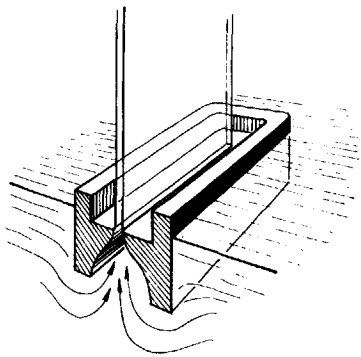
den geproduceerd. De bruikbare afmetingen bleven voornamelijk beperkt. In de zeventiende eeuw werden oppervlaktematen van ongeveer eenderde vierkante meter behaald. In de tweede helft van de negentiende eeuw was men in staat een ruit van goede kwaliteit met een oppervlakte van circa 1,5 vierkante meter te produceren. [5.1]

Naast het blazen van cilinders ontstond er in de veertiende eeuw een ander glasproductieproces dat een schoner en gladder glasoppervlak opleverde: de productie van schijfenglas. Door het snel ronddraaien van de blaaspijp werd het glas tot een schijf gevormd. De schijf vertoonde in het midden waar de blaaspijp gezeten had, een verdikking. (fig. 5.5) Ook van dit glas bleven de afmetingen beperkt. In de tweede helft van de achttiende eeuw leverde een schijf met een diameter van circa 1 meter glasplaatjes op van ongeveer 43 x 35 cm terwijl men toen met de cilindermethode al 100 x 80 cm behaalde. Het schijfenglas verdween dan ook. Het cilinderglasprocédé werd verbeterd en tot circa 1930 (!) regelmatig toegepast. Ook nu nog wordt in enige fabrieken cilinderglas vervaardigd ten behoeve van restauratieprojecten.

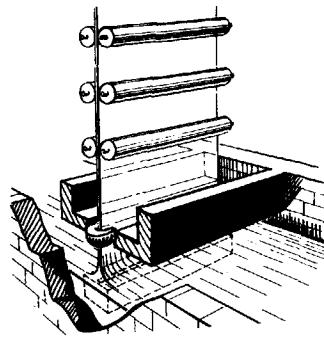
De glasindustrie groeide en vanuit de bouw nam de behoefte aan grotere glasvlakken toe. Aan het einde van de vorige eeuw waren al proeven gedaan met het trekken van glasbladen uit een smeltbad, maar er kon tot in de twintigste eeuw geen bevredigende manier gevonden worden om te voorkomen dat het glas ging vervormen. In 1901 vond Emille Gobbe de oplossing. Door het glas bij het trekken gelijktijdig aan de onderkant omhoog te drukken voorkwam hij vervormingen. Voor een meer grootschalige vensterglasproductie werd in 1914 dit systeem voor het eerst geauto-



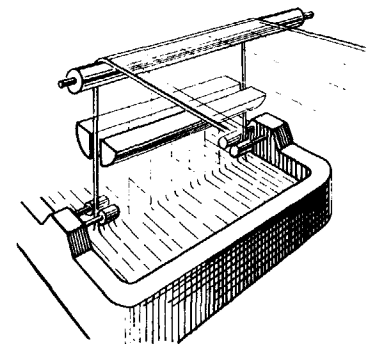
5.4 Reflecterende beglazing in de glasmafakade van het Centerpoint gebouw, Amsterdam.  
architecten: Witt en Van Well



5.6 Het Fourcaultsysteem.



5.7 Het Pittsburghsysteem.



5.8 Het Libbey Owenssysteem.

matiseerd toegepast. Het proces werd genoemd naar de eigenaar van de fabriek, Emile Fourcault.

Bij het Fourcaultsysteem werd een balk van vuurvaste steen, voorzien van een overlans lopende spleet, in de vloeibare glasmassa gedrukt. Door een ijzeren staaf in deze spleet te laten zakken, waaraan het glas zich hechtte, en deze vervolgens op te trekken, ontstond een doorlopende glasband die vervolgens gekoeld kon worden. (fig. 5.6) Gevolgen van deze methode waren spanningen en trekgolven in het vlakglas.

Het in 1921 toegepaste Pittsburghsysteem bracht hierin verandering. (fig. 5.7) In dit systeem werd niet gewerkt met een drijvende balk maar met een 10 cm onder het glasoppervlak bevestigde trekbal, waarlangs het glas omhoog werd getrokken. Een constante breedte werd verkregen door het glas langs zogenaamde boordwalsen te leiden. Door het glas aan de buitenzijde sneller af te koelen dan aan de binnenzijde werd voorkomen dat het glas ging insnoeren. De dikte van het glas kon geregeld worden door het aanpassen van de treksnelheid.

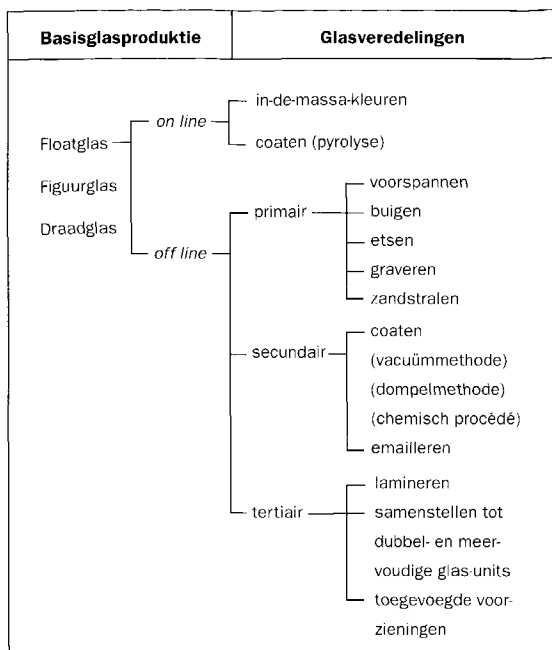
In 1915 werd het Libbey Owenssysteem op de markt gebracht. (fig. 5.8) Bij dit systeem werd het glas niet opgetrokken langs asbestrollen. In plaats daarvan werd het na circa 75 cm omgebogen over een gekoelde stalen rol en horizontaal, over met asbest beklede rollen, in een 60 meter lange koeloven gevoerd. Door de geringe trekhoogte konden veel dunnere glasbladen worden gemaakt. Diktes van 0,4 tot 20 mm waren mogelijk. [5.1] Het glas bevatte minder spanningen omdat het de gelegenheid kreeg om in de oven langzaam af te koelen.

**Spiegelglas** Met de toename van het comfort in de zestiende eeuw ontstond een grotere behoefte aan spiegels. Sinds 1317 werden in Venetië al kleine spiegels vervaardigd en in de 16de eeuw gelukte het spiegels te maken volgens de cilinderblaasmethode. Dit betekende een vergroting van de spiegeloppervlakken. Een nadeel van deze methode was dat het zo gemaakte glas nog geslepen en gepolijst moest worden wat betekende dat het basisglas dikker moest zijn dan het vensterglas. Als gevolg van de toenemende vraag naar grotere spiegels en groter blankglas werd het gietproces ontwikkeld. Hierbij werd het vloeibare glas uitgetogen op een vlakke tafel waarna het kon worden uitgewaist. Afkoeling vond geleidelijk plaats in de koeloven. Na het slijpen en polijsten bleven aanzienlijk grotere glasbladen over. De Fransman Lucas de Nehou maakte hiervan een bruikbaar systeem. Het systeem had echter het nadeel dat de gietafels onder de enorme hitte gingen werken, zodat het glas onregelmatigheden vertoonde.

In 1920 werd het systeem verbeterd door het glas direct uit de oven, tussen twee walsen door, op beweegbare tafels te gieten. De onderste wals en de tafel waren voorzien van loodrecht op elkaar staande ribbels, waardoor het glas maar weinig contact maakte en minder vervormde.

Pilkington slaagde er in 1925 in om het slijp- en polijstwerk in een lopende-bandproductie uit te voeren. Ruw spiegelglas werd direct uit de oven door de koeltunnel gevoerd waarna het werd gesneden en werd getransporteerd naar de slijp- en polijstinstallatie. Nadeel hiervan was dat het glas slechts aan één zijde werd behandeld, zodat het aan het einde van het proces moest worden omgekeerd voor de bewerking van de andere zijde.





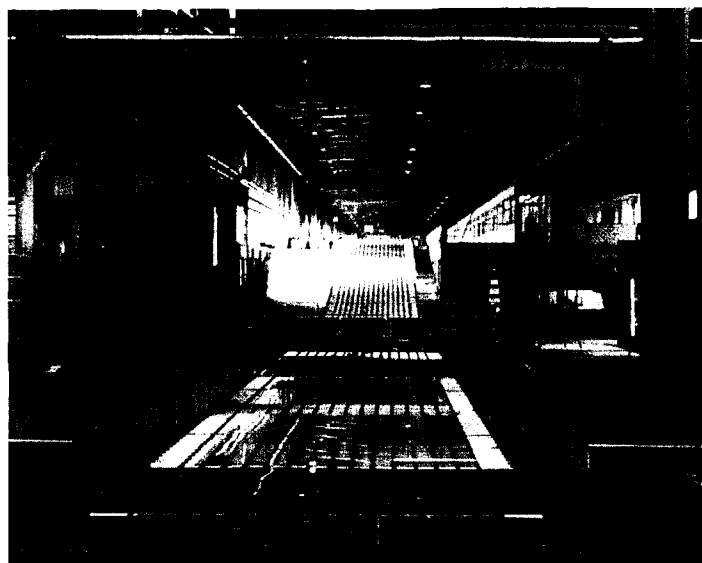
5.9 Schema van de hedendaagse glasproductie.

Een verbetering van dit systeem kwam met het Twin-procédé, in 1937 ontwikkeld door Pilkington. Hierbij werd het glas niet direct na de koeltunnel gesneden, maar ging het als ononderbroken lint naar de bewerkingsinstallaties. Hier werd het glas aan beide zijden tegelijk behandeld. Pas als het spiegelglas klaar was werd het in grote elementen gesneden. Deze produktiemethode bleef in gebruik totdat zij werd vervangen door het in 1959 uitgevonden floatglas-procédé.

## FLOATGLAS

**Hedendaagse glasproductie** De hedendaagse glasproductie kan onderscheiden worden in de basisglasproductie, met floatglas, draadglas en figuurglas als belangrijkste produkten, en de glasveredelingen. Onder glasveredelen wordt verstaan het be- of verwerken van het basisglasprodukt tot glasprodukten met eigenschappen anders dan die van het basisglas. De glasveredelingen kunnen 'on line' en 'off line' plaatsvinden. De 'off line' glasveredelingen worden onderverdeeld in primaire, secundaire en tertiaire glasveredelingen. De primaire glasveredelingen veranderen het basisglasprodukt. De secundaire glasveredelingen modificeren het glasoppervlak. Bij de tertiaire glasveredelingen worden de verschillende, primair of secundair veredelde glasbladen, samengesteld tot een eindprodukt. (fig. 5.9)

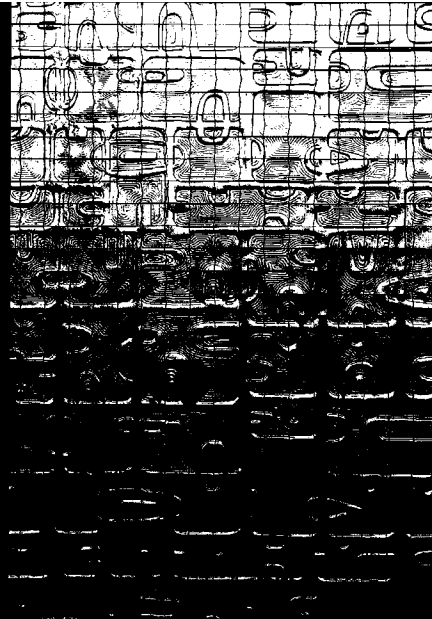
**Floatglasprocédé** Na een aanzienlijke ontwikkelings-tijd wordt in 1959 door Pilkington het floatglasprocédé geïntroduceerd, een proces dat de produktie van vlakglas revolutionair heeft beïnvloed.



5.10 Produktielijn van floatglas.

In het vol-continu floatglasproces wordt gesmolten glas van ongeveer 1000 °C op een bad van vloeibaar tin geleid, waarop het zich uitspreidt en blijft drijven. Het tinbad zorgt ervoor dat de onderkant van de glasband, net als de bovenkant, volkomen glad wordt. De temperatuur van het tinbad daalt geleidelijk van circa 1000 °C naar 600 °C waardoor het glas in vaste vorm het bad verlaat. De dikte van het glas wordt bepaald door de snelheid waarmee het glas uit het bad getrokken wordt. Diktematen van 1 tot 25 mm zijn mogelijk. Vervolgens wordt het glas over rollen door een lange koeltunnel geleid om de temperatuur geleidelijk te doen dalen. Na het afkoelen wordt het glas gesneden. (fig. 5.10) De breedte van de glasband is ongeveer 3,5 m, inclusief de randzones waar tandwielen het glas voortbewegen. Deze randzones worden later afgesneden. Hoewel de lengte onbeperkt is, verlaat floatglas de fabriek meestal in de maten 3,20 x 6,00 m. Dit zijn de grootst mogelijke afmetingen die nog getransporteerd kunnen worden. De circa 400 m lange produktielijn is volledig geautomatiseerd. Meer dan 90% van de vlakglasproductie wordt op deze manier geproduceerd.

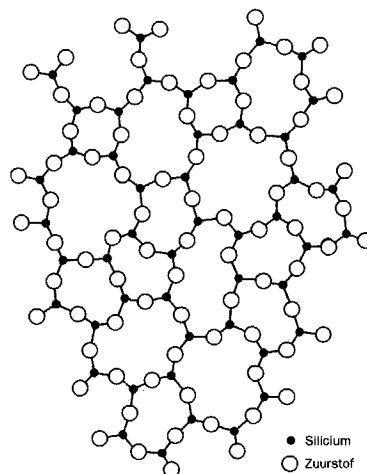
**Figuurglasprocédé** De fabricage van figuurglas, vroeger ook gegoten glas genoemd, is net als de fabricage van floatglas een in hoge mate geautomatiseerd proces. Het glas wordt, met een temperatuur van circa 1200 °C, tussen twee rollen doorgevoerd, waarvan één of beide een patroon hebben dat in het glas gedrukt wordt. De rollen worden intensief gekoeld zodat de glas-temperatuur daalt tot circa 600 graden. Verdere afkoeling vindt geleidelijk plaats in de koeltunnel, zodat er geen spanningen in het glas kunnen ontstaan.



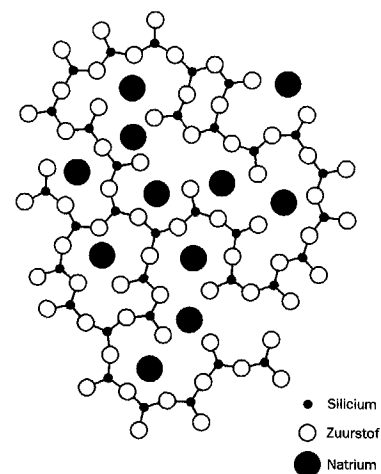
5.12 Figuurdraadglas 'Maya'.



5.11 Productielijn van draadglas.



5.13 Tweedimensionale weergave van de opbouw van kwartsglas.



5.14 Tweedimensionale weergave van de opbouw van natronkalkglas.

**Draadglasprocédé** Ook draadglas wordt gemaakt met behulp van het rolproces. Metaalgaas met een dikte van circa 0,5 mm wordt door een walsinstallatie in het gloeiende glas gedrukt waarna het volledig door glas wordt omgeven. (fig. 5.11) Door één van de walsen een ingegraveerd dessin te geven kan figuurdraadglas gemaakt worden. (fig. 5.12) Draadglas wordt geleverd met vierkante mazen van ongeveer 12 x 12 mm en wordt veelal toegepast als veiligheidsbeglazing of als brandwerend glas.

De verschillende glasveredelingen komen in de deelonderwerpen van dit hoofdstuk aan de orde.

**Samenstelling en eigenschappen** Glas is chemisch te beschouwen als een mengsel van verschillende oxiden die bij een hoge temperatuur zijn gesmolten en bij afkoeling niet kristalliseren. [14] Verschillende grondstoffen kunnen de basis vormen voor glas, zoals de oxiden van silicium (Si), fosfor (P), arsenicum (As), germanium (Ge) en borium (B). Als hoofdbestanddeel van de meeste glassoorten wordt siliciumoxide ( $\text{SiO}_2$ = zand) gebruikt, men spreekt ook wel van silicaatglas. Afhankelijk van de toepassingen van het glasprodukt worden andere bestanddelen toegevoegd die de eigenschappen van het glasmengsel veranderen.

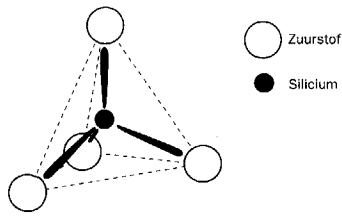
De meest eenvoudige silicaatglassoort bestaat uit een netwerk van silicaatoxiden (kwartsglas). (fig. 5.13) Door aan dit basismengsel soda ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) en kalk ( $\text{CaO}$ ) toe te voegen wordt het netwerk opengeboken en worden de natrium- en calciumoxiden opgenomen in de netwerkstructuur. Er ontstaat natronkalkglas, beter bekend onder de naam floatglas. (fig. 5.14 t/m 5.17)

Het openbreken van het silicaatnetwerk veroorzaakt een afname van de viscositeit en de verwerkingstemperatuur van het glas, waardoor het beter verwerkbaar wordt.

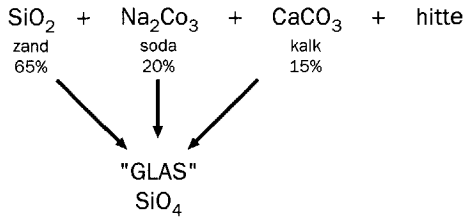
Eigenschappen floatglas	Waarde	Eenheid
Soortelijke massa	2,5	$\text{g/cm}^3$
Elasticiteitsmodulus bij 20° C	$7,3 \cdot 10^4$	$\text{N/mm}^2$
Uiterst opneembare buigtrekspanning vlakglas	50	$\text{N/mm}^2$
• toelaatbaar voor enkelglas ( $f = 50 \text{ Y/m}$ , $\text{Y/m} = 1,79$ )	27	$\text{N/mm}^2$
Smeltemperatuur	1500	°C
Verwerkingstemperatuur	650	°C
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$6-11 \cdot 10^{-6}$	per °C
Warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda$	0,8	$\text{W/mK}$

5.15 Eigenschappen van floatglas.

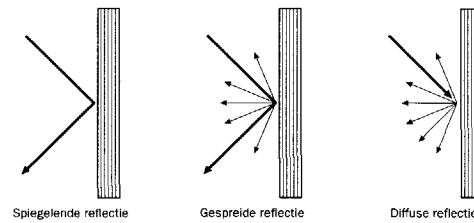
**Glasprestaties** De primaire glasprestatie is het dichten van gevelopeningen met behoud van lichttransmissie en doorzicht. Verder moet het glas voldoen op het gebied van zonbeheersing en thermische isolatie. Het glas moet bestand zijn tegen natuurlijke invloeden van buitenaf, zoals wind, water en vorst, en tegen menselijk handelen (vandalisme, kogelinslag). Glas moet voldoende brandwerend en duurzaam zijn. De grondslag voor de volgende deelonderwerpen wordt gevormd door de prestaties die het glaspaneel in diverse situaties moet leveren.



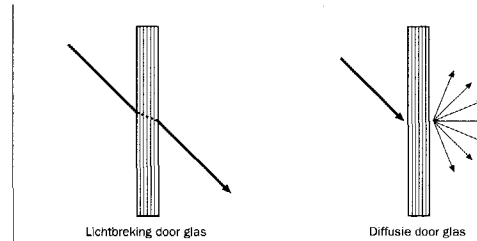
5.16 Moleculaire basiseenheid van floatglas.



5.17 Vormingsreactie van glas.



5.19



5.20

## DAGLICHT

De belangrijkste eigenschap van glas bij toepassingen in de architectuur is de transparantie. De lichtdoorlatende en daarmee doorzichtige eigenschap kan worden teruggevoerd op de structuur van het glas. Door het ontbreken van de kristallijne structuur kunnen lichtstralen het glas passeren zonder verstrooid te worden. Silicaatglas laat stralingslengten van 315 nm tot 3000 nm door. [5.36] Alleen straling in het golflengtegebied 380-780 nm is zonder hulpmiddelen voor het menselijk oog zichtbaar.

Niet al het op het glasvlak vallende zichtbare licht wordt doorgelaten. Een gedeelte van dit licht wordt gereflecteerd, een gedeelte geabsorbeerd en een gedeelte doorgelaten. (fig. 5.18)

**Reflectie** Het glasoppervlak reflecteert een gedeelte van de opvallende straling. Wanneer deze straling onder eenzelfde hoek wordt teruggekaatst spreken we van **spiegelende reflectie**. Wordt deze straling diffuus gereflecteerd dan spreken we van **diffuse reflectie**. Wanneer beide verschijnselen optreden spreken we van **gespreide reflectie**. (fig. 5.19)

De mate waarin een glasoppervlak straling reflecteert hangt af van de toestand van dat oppervlak. Is een oppervlak glad dan treedt het eerste effect op (floatglas). Is een oppervlak ruwer dan treedt het tweede effect op. Het derde effect treedt op bij figuurglas en geëët glas. [5.9] De reflectie van het glas is een belangrijk architectonisch aspect en bepaalt mede de beleving van de gevel. Reflectie kan een transparante glasplaat schijnbaar ondoorzichtig maken. Ook uit het oogpunt van veiligheid (verkeer) en overlast

(bebouwde omgeving) is de mate van reflectie een belangrijk aspect.

De hoeveelheid gereflecteerd licht kan worden uitgedrukt in de **lichtreflectiefactor LR**. Deze factor geeft het percentage weer van de hoeveelheid gereflecteerd licht ten opzichte van de hoeveelheid opvallend zonlicht. Hierin is zonlicht de direct opvallende straling. Ter vergelijking de volgende waarden:

- buitenlichtreflectie enkelglas: 8%
- buitenlichtreflectie dubbelglas: 14%
- buitenlichtreflectie glas met Low-E-coating: 11-12%

**Absorptie** Met absorptie wordt bedoeld; de hoeveelheid opvallend licht die door het materiaal wordt geabsorbeerd en omgezet wordt in warmte.

**Transmissie** De hoeveelheid op het glasblad vallend licht dat direct doorgelaten wordt, wordt uitgedrukt met de term transmissie. De transmissie van licht wordt beïnvloed door de brekingsindex van het glas: de uittredende lichtstraal is parallel aan de invallende lichtstraal maar verschoven. Daarnaast kan invallend licht diffuus getransmitteerd worden door de aanwezigheid van een toeslagmateriaal in het glas of op het glasoppervlak. (fig. 5.20)

De hoeveelheid doorgelaten licht wordt uitgedrukt in de **LTA-waarde**. Deze waarde geeft de verhouding aan van de door de beglazing doorgelaten hoeveelheid licht, en de op deze beglazing vallende hoeveelheid licht. Ter vergelijking de volgende waarden:

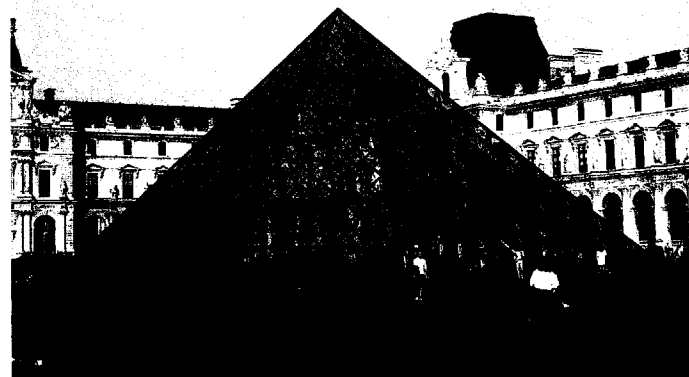
- LTA-waarde enkelglas: 89%
- LTA-waarde dubbelglas: 82%
- LTA-waarde glas met Low-E-coating: 74%



5.18 Glas absorbeert en reflecteert een gedeelte van het opvallende licht. Hierdoor ontstaat ook bij nagenoeg geheel glazen gebouwtjes schaduwvorming. Beeldenpaviljoen, Sonsbeek, 1986. architecten: Benthem Crouwel



5.26 Woonhuis van Victor Horta, Brussel, 1898.



5.27 Om het contrast met de massieve, historische gebouwen te versterken zijn in de glaspiramide bij het Louvre gelamineerde glaspanelen toegepast met extra blanke glasbladen. Parijs, 1988.  
architect: I.M. Pei and Partners

het zichtbare licht uitgedoofd, waardoor de reflectie van 8% (van onbehandeld floatglas) naar circa 1% kan worden teruggebracht. De hoek waaronder men naar het glas kijkt bepaalt de waarneming van de resterende, niet uitgedoofde kleuren. Dit type 'ontspiegeld' glas wordt vaak gebruikt in etalages.

**Kleur van glas** Onbehandeld floatglas heeft een lichtgroene tint. Deze tint wordt veroorzaakt door een kleine hoeveelheid ijzeroxide in het basismengsel van glas. Naarmate de hoek waaronder naar het glas gekeken wordt kleiner is, neemt men de kleur beter waar. Door het toevoegen van extra metaaloxiden kunnen de kleuren van het glas versterkt worden. Ijzeroxide maakt het glas meer groen, kobaltoxide maakt het glas meer grijs en seleniumoxide zorgt voor een bronskleur. Door deze toevoegingen kunnen naast de warmteabsorberende glassoorten ook decoratief gekleurde glassoorten worden gemaakt. (fig. 5.26) Het glas kan ook door het opbrengen van een coating (reflecterende beglazing) of folie van een kleur worden voorzien.

In-de-massa-gekleurd glas en reflecterende beglazing reduceren de LTA-waarde. Omdat het oog goed in staat is zich aan te passen aan de intensiteit en de kleur van het licht, kan een relatief lage lichttransmissie nog geaccepteerd worden, zolang men geen referentiepunt heeft met natuurlijk daglicht. Dit betekent dat bij voorkeur ramen worden toegepast die niet geopend kunnen worden. Door de toepassing van in-de-massa-gekleurd glas worden de interieurkleuren van een ruimte anders ervaren.

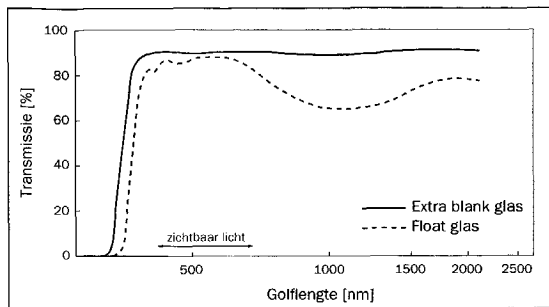
Voor speciale architectonische toepassingen is het mogelijk om extra blank glas toe te passen. (fig. 5.27) Dit glas is oorspronkelijk ontwikkeld voor een

optimaal rendement bij zonnecollectoren. Door een chemische reiniging wordt uit het basisglasmengsel het element ijzeroxide verwijderd. De lichttransmissie wordt daardoor verhoogd van circa 89% naar 92%. (fig. 5.28)

**Glasoppervlak** Het glasoppervlak kan zodanig behandeld worden dat het doorzicht verandert. Hiervoor zijn verschillende technieken beschikbaar; het etsen of **zandstralen** van het glasoppervlak, het glasoppervlak voorzien van een **emailprint** of het toepassen van **figuurglas**.

Door het geheel of gedeeltelijk etsen of zandstralen van het glasoppervlak kan een relatief mat uiterlijk verkregen worden. Door de aard van het glas wordt het opvallende licht diffuus getransmitteerd zodat een translucente glassoort ontstaat. Dit type glas wordt veelal om decoratieve of privacy-redenen toegepast. Door de onregelmatigheden van het glasoppervlak is gezandstraald glas niet eenvoudig egaal schoon te houden.

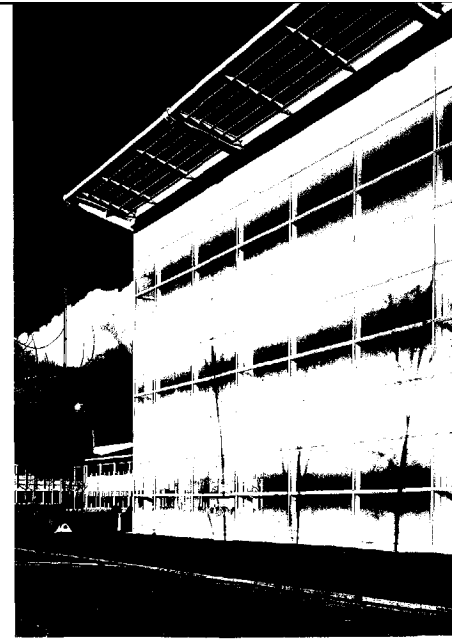
Een veel voorkomende glasdecoratie is de zeefdrukprint. De print wordt hoofdzakelijk toegepast ten behoeve van decoratieve effecten en soms zonregulering, hoewel dit niet zeer effectief is. De print kan gemaakt worden door in het glasoppervlak een laagje glasemail te branden of door op glas een bedrukte PVB-folie aan te brengen. (fig. 5.29) Door de print in bedrukkingsgraad te laten verlopen kan een geleidelijke overgang bereikt worden van een dichte zone hoog in het glas naar een niet bedrukte zone op ooghoogte. (fig. 5.30) Ook kan het gehele glas voorzien worden van een gelijkmatige print zodat een vitrage-effect ontstaat. Door hiervoor een print te kiezen die veel buitenlicht reflecteert kan ongewenste inkijk door passan-



5.28 Spectrale transmissie van extra blank glas en floatglas.



5.30 A + B De gevel is voorzien van een verlopende bedrukkingsgraad, B3-gebouw, Stockley Park, Londen, 1989. architecten: Sir Norman Foster and Partners



ten vermeden worden. In de prints kunnen teksten en afbeeldingen worden opgenomen. Bij het gebruik van punt- en lijnrasters moet rekening gehouden worden met schaduwvorming op de achterliggende vlakken; zwarte schaduwpuntjes verschuiven met de stand van de zon mee over de projectie-oppervlakken.

Door de vorm van het oppervlak van figuurglas wordt het opvallende licht diffuus getransmitteerd. De mate van verstrooiing hangt af van het toegepaste patroon. Achterliggende voorwerpen worden sterk vervormd waargenomen. De totale lichttransmissie is lager dan van normaal floatglas en hangt af van de dikte en het patroon. Figuurglas is zowel in blanke als in gekleurde uitvoering verkrijgbaar.

**Verblinding** Verblinding ontstaat door een te groot helderheidscontrast tussen verschillende vlakken in het blikveld van de beschouwer. De helderheid van een vlak wordt uitgedrukt in **luminantie**; de lichtstroom die per oppervlak en ruimtehoek in een gegeven richting wordt uitgezonden (cd/m). Het menselijk oog is zeer goed in staat zich aan te passen aan de wisselende helderheden van zijn blikveld. Wanneer de contrasten echter te groot zijn, heeft het oog onvoldoende tijd om te acclimatiseren (bijvoorbeeld bij het uitrijden van een tunnel). Wanneer het verschil in luminantie hoger is dan 10 dan ondervindt men problemen, hoewel ervaringen subjectief zijn. Verschillen in helderheid kunnen op meerdere manieren gereduceerd worden:

- door het plaatsen van ramen in meerdere (tegenover elkaar liggende) gevels;
- door het plaatsen van doorlopende, horizontale ramen;
- door het toepassen van slanke 'stijlen en regels' met een hoge lichtreflectie;

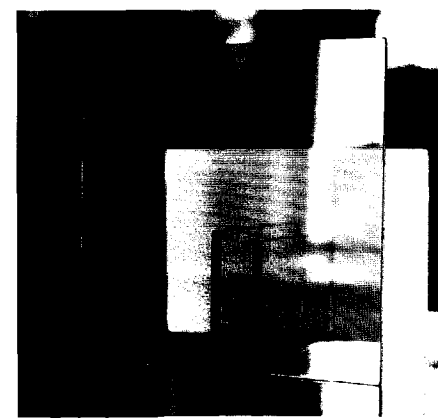
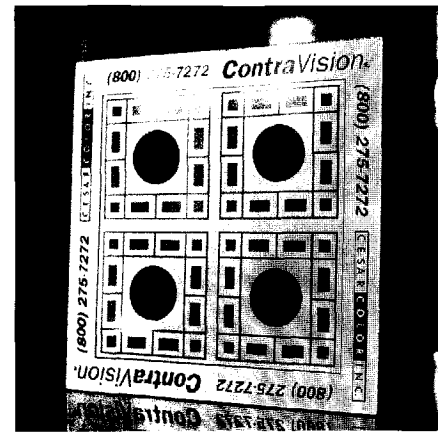
- door het afschuiven van vensterbanken en zijkanten zodat strijklucht ontstaat;
- door het donkerder maken van de daglichtopening.

Een methode om verblindingshinder vast te stellen en lichtwerende voorzieningen te beoordelen wordt geboden door de **Glare-index**. Hierin worden bronluminantie (van omringende vlakken), luminantie van het vrije veld (de hemelkoepel), de hoek van lichtinval en het type beglazing met elkaar verrekend.

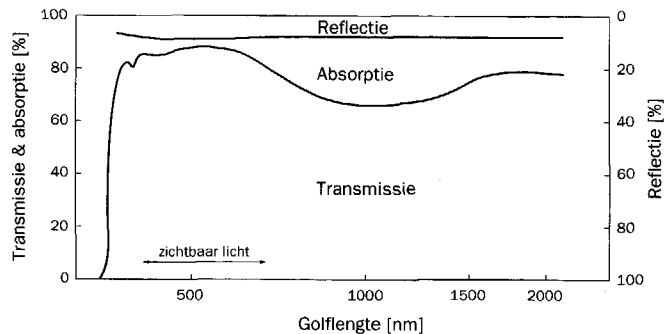
## ZONBEHEERSING

**G**las laat naast licht veel warmte door. Deze warmte kan bijdragen tot het verwarmen van een gebouw, maar zal in veel gevallen gewerd worden omdat oververhitting van binnenruimten kan ontstaan.

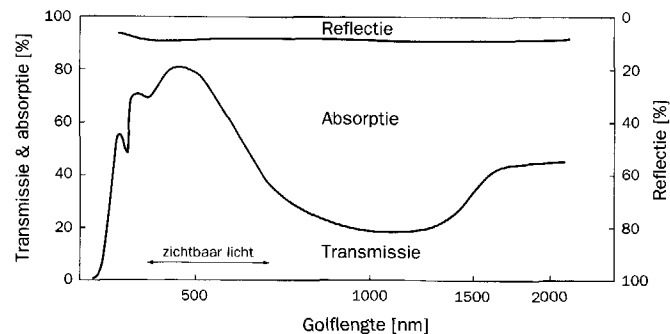
De zon zendt energie uit in de vorm van elektromagnetische straling. Ongeveer 95% van deze straling bestaat uit ultraviolet (UV-licht), zichtbare straling en infraroodstraling. Wanneer zonnestraling op het glasoppervlak valt wordt, zoals reeds vermeld, een gedeelte van de straling **gereflecteerd**, een gedeelte **geabsorbeerd** en een gedeelte **doorgelaten**. De grootte van het geabsorbeerde deel hangt af van het soort glas, de dikte van het glas, de samenstelling en de afwerking. Door de absorptie van de straling zal de temperatuur van het glas stijgen, zodat het glas zelf een warmtebron wordt. De geabsorbeerde straling wordt zowel naar binnen als naar buiten uitgezonden als langgolvlige infraroodstraling oftewel warmte. De doorgelaten straling wordt gedeeltelijk door wanden en meubilair geabsorbeerd en weer als langgolvlige straling uitgezonden. Het grootste deel van de invallende zonnestra-



5.29 A + B Door aan weerskanten op een PVB-folie een ander kleurenpatroon toe te passen kan bereikt worden dat het glas aan weerszijden een ander doorzicht geeft. Doordat het oog aan de ene zijde focust op de achtergrond en aan de andere zijde op het bedrukkingspatroon kijkt men respectievelijk wel of niet door het glas heen.



5.32 Spectrale transmissie van blank floatglas.



5.33 Spectrale transmissie van groen in-de-massa-gekleurd glas.



5.31 In-de-massa-gekleurd glas, Mercedes Benz-tentoonstelling, Frankfurt, 1992. D. Kurz en M. Eekhout

ling wordt dus omgezet in langgolvlige infraroodstraling en warmt de ruimte op. Deze infraroodstraling kan de ruimte haast niet meer verlaten; ze wordt door het glas grotendeels geabsorbeerd en gereflecteerd.

#### Zontoetredingsfactor en shading-coëfficiënt

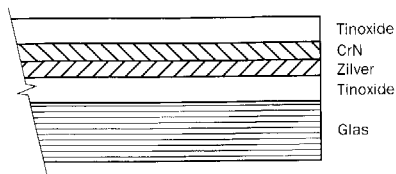
De verhouding tussen de totale opvallende hoeveelheid zonnestraling en de totale hoeveelheid zonnearmte die binnenkomt, wordt aangeduid met **ZTA-waarde**, de absolute zontoetredingsfactor. Men zal in het algemeen voor beglazing in gevels proberen om een zo laag mogelijke ZTA-waarde te halen met behoud van een zo hoog mogelijke LTA-waarde. In daken is een zeer hoge LTA-waarde vaak niet gewenst. De verhouding LTA/ZTA wordt vaak gebruikt om een bepaald type glas aan te duiden (bijv.: 72/62 = 6 mm groen in-de-massa-gekleurd glas).

De zonwerende eigenschap van glas wordt ook wel aangeduid met de **ZTR-waarde**, de relatieve zontoetredingsfactor. Deze geeft de verhouding weer van de zonnestraling die wordt doorgelaten door een zonregulerende voorziening ten opzichte van de zonnestraling die wordt doorgelaten door onafgeschermd blank glas. Voor de ZTA van onafgeschermd blank glas worden niet altijd dezelfde waarden gehanteerd omdat door fabrikanten verschillende referentiediktes worden gebruikt (soms zelfs van dubbelglas). Hierdoor zijn opgegeven ZTR-waarden niet 'zomaar' met elkaar te vergelijken. Het zou beter zijn als in de toekomst voor de bepaling van de ZTR-waarde dezelfde ZTA-waarden worden gehanteerd als bij de shading-coëfficiënt. De **shading-coëfficiënt** is de ZTA-waarde (= total solar heat transmittance) van de zonregulerende voorziening gedeeld door 0,87 (= de ZTA van onafgeschermd blank floatglas met een dikte tussen de 3 en 4 mm).

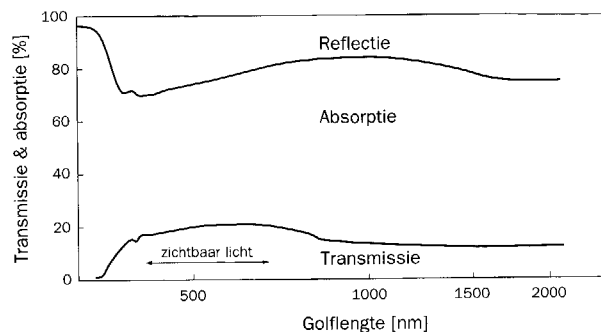
**Zonbeheersing met behulp van glas** Door de basiseigenschappen van glas op het gebied van reflectie, absorptie en transmissie te veranderen kan invloed worden uitgeoefend op de hoeveelheid doorgelaten zonnearmte. Er zijn verschillende mogelijkheden om het glas te optimaliseren:

- in-de-massa-gekleurd glas (principe absorptie);
- reflecterende beglazing (principe reflectie en meestal ook absorptie);
- glas met een emailprint (principe oppervlaktereductie);
- glas met geïntegreerde zonregulering (principe reflectie);
- glas met variabele transmissie (principe absorptie en meestal ook reflectie).

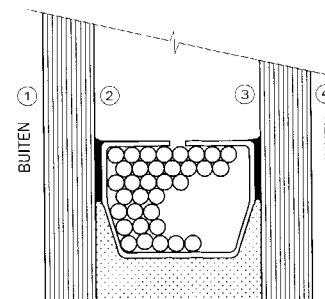
**In-de-massa-gekleurd glas** In-de-massa-gekleurd glas wordt gemaakt door aan het glassmeltbad metaaloxiden toe te voegen. Hierdoor absorbeert het glas een groter deel van de opvallende zonnestraling. Een deel van de door het glas geabsorbeerde warmte wordt, afhankelijk van de buitentemperatuur, naar buiten afgestraald en een ander deel, afhankelijk van de binnentemperatuur, naar binnen. Bij sterke wind zal het deel van de geabsorbeerde warmte dat naar buiten verdwijnt veel groter zijn dan het deel dat naar binnen komt. Bij zwakke of geen wind is dat andersom. Absorberend glas is daarom bij voorkeur geschikt om te worden toegepast op hogere verdiepingen of op gevels die voldoende wind vangen. Plotselinge temperatuurschommelingen, door bijvoorbeeld het in de schaduw vallen van een gedeelte van een glasvlak, kunnen grote thermische spanningen in het glas ten gevolge hebben, met een risico op thermische breuk. Dit glas kan daarom beter volledig of half worden voorgespannen.



5.35 Combinatiecoating met lage emissie en zonwerende eigenschappen.



5.36 Spectrale transmissie van glas met een reflecterende coating.



5.37 Nummering van de glaszijden.

De dikte van het glas bepaalt de kleur en de ZTA-waarde van het glas. Veel voorkomende kleuren zijn: grijs, groen, brons, roze, amber en blauw. (fig. 5.31) Bij de meeste soorten absorberende beglazing is de absorptie in het IR-gebied sterk vergroot en in het zichtbare deel van het spectrum zo laag mogelijk: selectieve absorptie. (fig. 5.32 en 5.33) Een nadeel van in-de-massa-gekleurd glas is het sombere doorzicht bij donker weer.

**Reflecterende beglazing** Om de zontoetreding in een ruimte te reduceren kan op het glasoppervlak ook een zonreflecterende coating worden aangebracht. (fig. 5.34) Deze coating kan uitsluitend zonreflecterend zijn of meerdere eigenschappen hebben, bijvoorbeeld op het gebied van thermische isolatie (combinatiecoatings). (fig. 5.35) Voordelen van zonreflecterend glas boven in-de-massa-gekleurd glas zijn onder andere een zeer gevarieerde en betere LTA/ZTA-verhouding, een lagere ZTA-waarde en een grotere kleurvrijheid. (fig. 5.36) Nadelen van zonreflecterend glas zijn het 'zonnebril-effect' bij somber weer en hoge lichtreflecties, overdag aan de buitenzijde en 's avonds aan de binnenzijde van het glas. Binnen het scala van zonreflecterende coatings zijn drie hoofdgroepen te onderscheiden. Deze groepen worden ingedeeld op basis van hun hardheid. We onderscheiden:

- harde coatings (niet-selectief);
- halfharde coatings (selectief);
- zachte coatings (selectief).

De hardheid van een coating zegt iets over de gevoeligheid van een coating voor beschadigingen. Dit heeft direct gevolg voor de plaats waar de coating wordt aangebracht. Harde coatings kunnen (onbeschermde) aan de buiten- of binnenzijde van het glas

worden aangebracht, zachte coatings kunnen alleen in de spouw van isolerende beglazing en soms in een laminaatlaag worden toegepast. Om aan te geven over welke positie we spreken, is een nummering van de glasoppervlakken ingevoerd. Deze nummering loopt van buiten naar binnen. (fig. 5.37)

De selectiviteit van een coating geeft aan welk deel van het stralingspectrum beïnvloed wordt. Er bestaan verschillende technieken om de coatings aan te brengen. Voor iedere hoofdgroep bestaan een of meerdere productieprocedures:

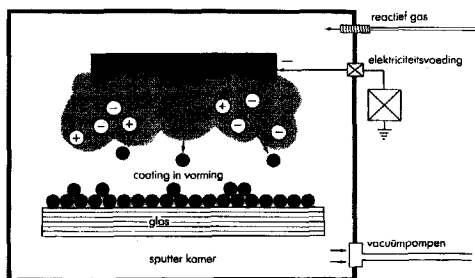
**Pyrolyse** Bij dit proces worden halfgeleide metaaloxiden tijdens de productie van het floatglas direct op het glas aangebracht (on line). Het glas krijgt hierdoor een kleur. De op deze manier aangebrachte coatings vallen onder de harde coatings. Wanneer bij dit proces tinoxide wordt gebruikt, kan de emissiviteitswaarde verlaagd worden. Het glas kan achteraf nog voorgespannen worden. De coating kan gebruikt worden op positie 1 en 2. Ten opzichte van vacuümprocessen zijn pyrolytische coatings vrij goedkoop omdat ze aan de lopende band worden aangebracht. Pyrolyse is een minder milieuvriendelijke produktiemethode.

**Dompelprocédé** Bij het dompelprocédé wordt een glasplaat in een metaaloxide-oplossing gedompeld (het glas wordt dus dubbelzijdig gecoat), waarna het glas verhit wordt en de coating in het oppervak gebrand wordt. Ook dit zijn harde coatings die op positie 1 en 2 kunnen worden gebruikt. Ze beïnvloeden de U-waarde niet.

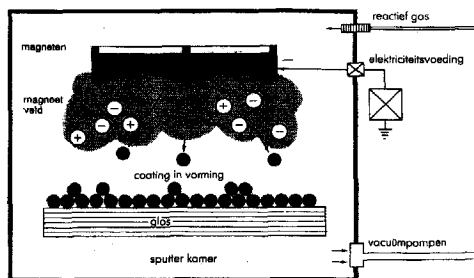
**Chemische procédé** Bij het chemische procédé wordt eenzijdig op het nog warme glas een metaaloxi-



5.34 Reflecterende beglazing in nieuwe hoogbouw, Hong Kong



5.38 Kathodeverstuiving onder vacuümomstandigheden.



5.39 Magnetisch versterkt sputterprocédé.

de-oplossing gesproeid. De aldus aangebrachte coating is een niet-selectieve, harde coating met een hoge reflectiegraad. De coating kan op positie 1 en 2 gebruikt worden.

**Vacuümmethode** Onder de vacuümmethode vallen drie applicatietechnieken. In principe worden onder vacuümomstandigheden één of meerdere lagen metalen of metaaloxiden aangebracht. We onderscheiden de 'hoogvacuümmethode' (thermisch verdampen) en de 'kathodeverstuiving' (sputtering), waarbij door middel van een elektrisch veld verdampde of losgeslagen metaalionen op het glasoppervlak neerslaan. (fig. 5.38) Wordt bij de kathodeverstuiving gebruik gemaakt van een magnetisch veld, dan spreken we van een 'magnetisch versterkt sputterprocédé'. (fig. 5.39) Bij de eerste twee applicatietechnieken ontstaan zachte coatings, bij de laatste een halfharde coating omdat de hechting tussen de metaaloxide en het glasoppervlak veel groter is. Zowel de zachte als de halfharde coatings moeten beschermd worden tegen invloeden van buitenaf. Ze dienen op de spouwzijden van de dubbelglaseenheid te worden aangebracht.

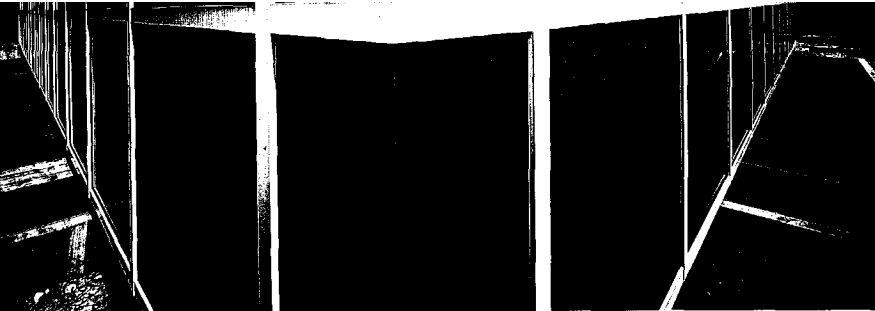
Meestal worden deze reflecterende coatings opgebouwd uit meerdere lagen; de hechtlaag, de interferentielaag (of werkingslaag) en de bescherm laag. De metaallaag kan bestaan uit koper, zilver of goud. Samen met de interferentielaag kunnen **selectieve coatings** worden samengesteld die bijvoorbeeld de emissiviteitswaarde en de kleur van het glas beïnvloeden. Daarnaast kan een coating worden samengesteld die bepaalde frequenties uit het spectrum minder goed doorlaat. Op die manier kunnen de LTA- en ZTA-waarden van het glas positief en separaat beïnvloed worden.

**Folie** Naast het fabrieksmatig op de beglazing aanbrengen van coatings bestaat ook de mogelijkheid om achteraf een zonreflecterende laag aan te brengen. Dit gebeurt met behulp van een zonreflecterende folie. Het materiaal is niet zo kravast als glas en gevoelig voor beschadigingen. Een opgeplakte folie is eigenlijk alleen geschikt voor maatregelen achteraf, er bestaat gevaar voor delaminatie. De folies zijn in meerdere kleuren en patronen verkrijgbaar. Van coating voorzien folies kunnen bij isolerende beglazing ook als spouwcompartimentering worden toegepast.

**Gescreende beglazing** Door het glas te voorzien van een laagje email kunnen de zondoorlatende eigenschappen verminderd worden. Bij dit proces wordt een laagje email op het glas gedrukt, dat er vervolgens, bij een temperatuur van circa 650 °C, ingebrand wordt. Door het glas geforceerd af te koelen wordt het meteen voorgespannen en krijgt het een grotere temperatuurschokbestendigheid. De meeste gekleurde lagen zijn niet goed bestand tegen weersinvloeden en worden op zijde 2 toegepast. Door de email laag af te werken met een blanke, pyrolitische coating kan deze toch op positie 1 worden toegepast. Op blank glas, figuurglas en in-de-massa-gekleurd glas kan in nagenoeg alle RAL-kleuren een laagje glasemail worden aangebracht. Toepassingen van volledig geëmailleerde beglazing vindt men hoofdzakelijk in borstweringspanelen, waarbij de geëmailleerde kant aan de binnenzijde van het glas wordt geplaatst.

Naast het volledig egaal emaileren van een glasblad kan men ook een patroon op het glas laten drukken. Dit gebeurt met behulp van een grafische zeefdrukprint. Door de flexibiliteit die de zeefdruktechniek





5.41 Gescreende beglazing met een noppenpatroon.

biedt, zijn talloze varianten mogelijk, in overeenstemming met de beeldvorming van het bouwwerk. (fig. 5.40 en 5.41) Door een verlopende bedrukkingsgraad kan de ZTA (en LTA) geleidelijk toe- of afnemen. Beïnvloeding is slechts beperkt mogelijk. De mate van zonbeheersing is afhankelijk van de bedrukkingsgraad (kleur, dichtheid en soort raster), de glasunit-samenstelling, de dikte van de emallaag en de eventuele combinatie met een coating. Er zijn verschillende kleurmogelijkheden die ieder hun eigen specifieke eigenschappen hebben:

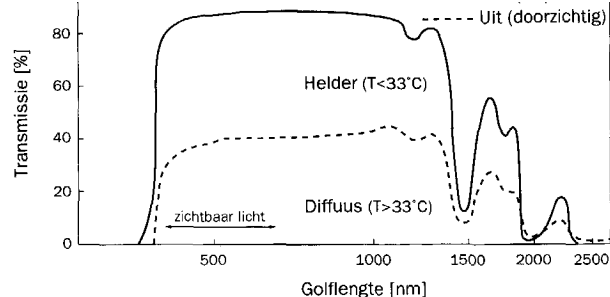
- Opake kleuren. Deze zijn dekkend en laten bijna geen licht door.
- Translucente kleuren. Dit zijn vermengingen van opake kleuren en laten het licht beter door. De LTA-waarde is ongeveer 40%.
- Transparante kleuren. Deze hebben een hoge lichtdoorlatendheid. Ze zijn kwetsbaar en kunnen daardoor alleen in de spouw van een isolatiepaneel worden toegepast.
- Interfererende kleuren. Hierdoor wordt een deel van het spectrum teruggekaatst.

**Glas met geïntegreerde zonregulering** Het is mogelijk om in de spouw van isolerende beglazing een zonregulering op te nemen. Dit kan zijn in de vorm van lamellen of in de vorm van een rolscreen. Wanneer beweegbare lamellen worden toegepast, kunnen deze tevens gebruikt worden om het opvallende licht te sturen naar bijvoorbeeld plekken achter in het vertrek. (fig. 5.42 en 5.43) Rolscreens kunnen voorzien worden van reflecterende coatings. Door de screen een grove structuur te geven kan, ook bij gesloten toestand, een zekere transparantie behouden blijven.

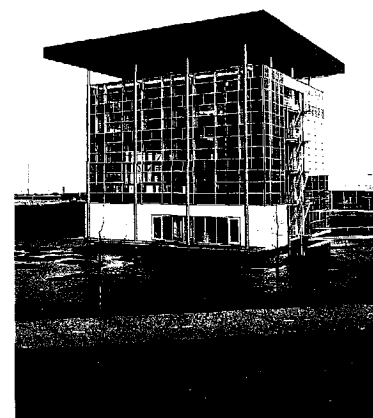
### Glas met variabele transmissie

**Thermotroop glas** Thermotroop glas is glas dat reageert op warmte. Wanneer het glas een zekere temperatuur bereikt, verkleurt het van glashelder naar melkachtig wit. Het basismateriaal bestaat uit twee componenten met een verschillende brekingsindex, bijvoorbeeld water en een kunststof (hydrogel) of uit twee kunststoffen (polymeermengsel). De werking ligt besloten in de polymeerketens die zijn opgesloten tussen twee glasplaten. In afgekoelde toestand zijn de polymeerketens langgerekt en uitgestrekt; het glas is dan doorzichtig. Bij het bereiken van een bepaalde temperatuur rollen de ketens op, waardoor een melkwitte suspensie ontstaat die minder warmtestraling doorlaat. (fig. 5.44) De reactie is omkeerbaar. De omschakelingstemperatuur kan vooraf worden bepaald. Een probleem van de hydrogels wordt gevormd door de hoeveelheid water die het produkt bevat. Speciale maatregelen moeten worden genomen wanneer de buitentemperaturen dalen onder het vriespunt.

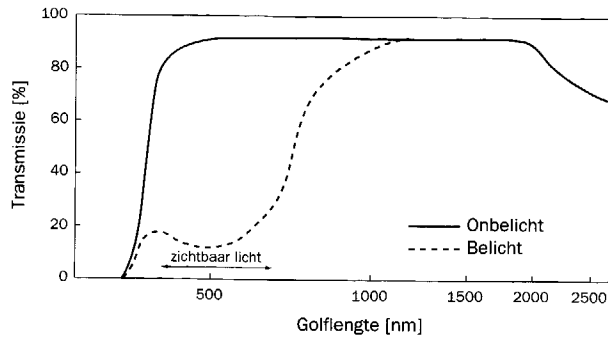
**Thermochroom glas** Een andere glassoort die reageert op warmte is thermochroom glas. De basis van dit produkt wordt gevormd door metaaloxiden die onder invloed van warmte andere transmissie-eigenschappen krijgen, met name in het infraroodgebied. Zo'n metaaloxide is bijvoorbeeld vanadiumoxide ( $VO_2$ ). Bij een bepaalde temperatuur is het materiaal halfgeleidend of diëlektrisch en heeft het een lage absorptie in het infraroodgebied. Wanneer de temperatuur stijgt wordt het materiaal meer metaalachtig en reflecteert het infraroodstraling. Hierdoor zijn lagen van dit materiaal geschikt als Low-E-coatings om de warmteverliezen ten gevolge van emissie te verminderen.



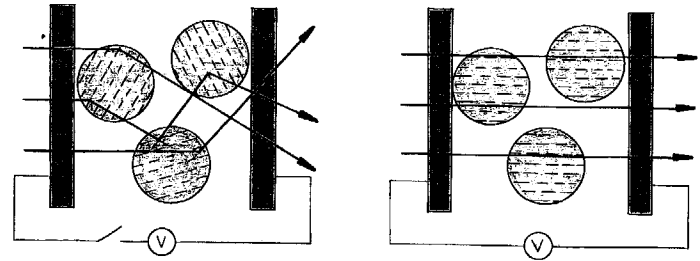
5.44 Spectrale transmissie van 1 mm dikke thermotrope laag voor ingeschakelde en uitgeschakelde toestand (aan/uit).



5.43 De gebouwhoge glasmafakade is voorzien van Oka-Solar spiegellamellen. [5.36] Kantoorgebouw 'Haans', Tilburg, 1992. architect: Jo Coenen



5.46 Spectrale transmissie van fototroop glas.



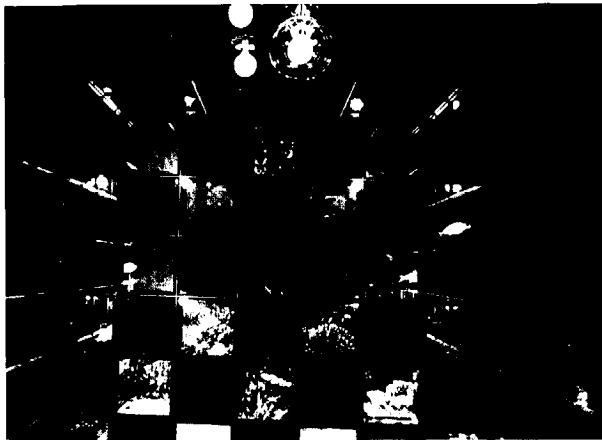
5.47 Toepassing van Liquid Crystals in een binnenwand: Priva-Lite. Door het aanleggen van een spanning krijgen de LC-moleculen dezelfde oriëntatie en laten ze het licht ongehinderd passeren.

**Elektrochrom glas** Elektrochrom glas verandert onder invloed van een elektrisch stroompje van glashelder in melkachtig wit, of van een helder lichtdoorlatend in een donkerder getint transparant. Het stroompje kan geïnitieerd worden door een sensor die reageert op een verandering van de lichtintensiteit. De werking van een elektrochrome laag berust op hetzelfde principe als de elektrochrome cel, opgebouwd uit een kathode, anode en een elektrolyt. Bij elektrochrome vlakken is de anode de werkende of kleurende elektrode. Voor de kathode wordt dikwijls een metaaloxide gekozen die desgewenst mee kan kleuren met de werkende elektrode. Het elektrolyt bestaat meestal uit waterstof of lithium. Voor het anodemateriaal wordt vaak wolframoxide gebruikt. Door een elektrisch stroompje verkleurt het wolframoxide van helder lichtdoorlatend naar donkerblauw. Door het omkeren van de spanning ontkleurt het glas weer. (fig. 5.45) Het kleurverloop van het elektrochrome glas is afhankelijk van het elektrodemateriaal dat zich tussen het glas bevindt. Naast donkerblauw, bronskleurig (NiO) en zwart (IrO<sub>2</sub>) kunnen kleurwissels van rood naar blauw (CoO<sub>x</sub>) en van geel naar groen (Rh<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) bereikt worden.[36] Toepassingen vinden met name plaats in de autoindustrie. Elektrochrom glas is voornamelijk voor grootschalige toepassingen in de bouw te duur. Mogelijkheden liggen in het verkleuren van bijvoorbeeld atriumdaken om zonnestraling buiten te houden, bij vergaderzalen voor het creëren van privacy etc. De belangrijkste beperkingen zijn voornamelijk de prijs, de snelheid van de kleurverandering (enkele seconden) en het bereiken van een egaal kleuroppervlak wanneer de vlakken groter zijn dan circa 1m<sup>2</sup>. Een voordeel ten opzichte van LC-beglazing (zie verderop in deze paragraaf),

is de mogelijkheid van de keuze van kleurgradaties.

**Fototroop glas** Fototroop glas is een zelfregulerend systeem waarbij de hoeveelheid doorgelaten licht verandert ten gevolge van de hoeveelheid invallende UV-straling. Bij een toenemende zonbelasting neemt de ZTA-waarde af ten gevolge van een omgekeerde fotochemische omzetting. Het glas wordt zichtbaar donkerder naarmate de zon feller schijnt. Volgens dit principe worden al jaren zelfkleurende brillenglazen op de markt gebracht. Als gevolg van dit proces absorbeert het glas meer zonnestraling. (fig. 5.46) Het rendement is over het algemeen lager dan dat van normaal absorberend glas, maar heeft als voordeel dat het bij minder zoninstraling weer helder wordt. Fototroop glas wordt dan ook meestal toegepast op plaatsen waar de werking van fel zonlicht gecombineerd dient te worden met warmtewering. Een nadeel van dit systeem is de onmogelijkheid het zelf te sturen. Daarnaast zijn de kosten erg hoog.

**Liquid Crystal-beglazing (LC)** Een andere vorm van variabele transmissie zijn de Liquid Crystal-ramen. Deze techniek maakt gebruik van elektrische stroom die ervoor zorgt dat de Liquid Crystal-moleculen, die zich tussen twee lagen glas bevinden, dezelfde oriëntatie krijgen en het gepolariseerde licht ongehinderd laten passeren. Bij het uitschakelen van de stroom wordt de moleculuoriëntatie willekeurig en vindt er lichtverstrooiing plaats. Het glas verandert van doorzichtig naar melkachtig wit. Zolang er spanning op het glas staat is het glas doorzichtig. De verkleuring vindt plaats binnen enkele milliseconden. De Liquid Crystals kunnen gemengd worden met dichroïtische



5.45 A + B Wand met 196 elektrochrome glasbladen. Kleuromschakeling van licht naar donkerblauw vindt plaats op de tonen van de muziek. Museum 'Seto Bridge', Kojima, Japan, 1988, Asahi.

kleurmoleculen: het 'guest-host-type'. [36] Door de kleur wordt de stralingsabsorptie verhoogd. Toepassing van LC-beglazing in de bouw vindt met name plaats in binnenwanden, ter bescherming van de privacy. (fig. 5.47)

## WARMTE

**T**hermische isolatie Warmte kan op drie manieren worden getransporteerd: door **convectie**, door **geleiding** en door **straling**. Bij warmteoverdracht volgens het principe van convectie wordt warmte door een stromend medium, zoals bijvoorbeeld lucht, meegevoerd. Bij geleiding vindt het warmtetransport in het materiaal plaats van molecuul op molecuul. Bij straling vindt warmtetransport plaats in de vorm van elektromagnetische straling, een transportmedium is niet nodig. [17]

Een maat voor het gemak waarmee warmte wordt doorgegeven in een materiaal is de zogenaamde **U-waarde**, of **warmtedoorgangscoefficiënt** van dat materiaal. Een lage U-waarde betekent een grote weerstand van het materiaal en weinig warmteverlies van binnen naar buiten. (fig. 5.48 en 5.49) De U-waarde, voorheen K-waarde genoemd, wordt gedefinieerd als:

$$U = 1 / R_{\text{tot}}$$

waarin  $R_{\text{tot}}$  de totale **warmte weerstand** van de constructie is. De U-waarde wordt uitgedrukt in  $W/m^2K$  en wordt gemeten van lucht op lucht. Naast de theoretische U-waarde bestaat de equivalente U-waarde. Deze U-waarde verrekent transmissieverliezen met zonne-energiebenutting, waarbij rekening wordt gehouden met de oriëntatie van het glasvlak. (fig. 5.50) De waarde wordt gedefinieerd als:

$$U(\text{eq}) = U(F) - (ZTA \times S)$$

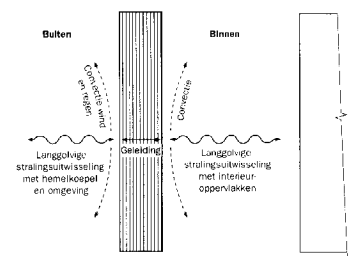
waarbij  $U(F)$  de U-waarde in  $W/m^2K$  van een raam met beglazing is, de ZTA de zontoetredingsfactor en S de stralingswinstcoëfficiënt. De S-waarde is afhankelijk van de oriëntatie van het glasoppervlak en heeft de volgende waarden:  $S_{\text{noord}} = 1,2$ ,  $S_{\text{oost/west}} = 1,8$  en  $S_{\text{zuid}} = 2,4$ . In Duitsland is het hanteren van de formule, na de inwerkingtreding van de 'Wärmeschutzverordnung' in januari 1995, verplicht.

	U(eq) glas alleen op noord	U(eq) glas alleen op zuid	U(eq) glas gelijk verdeeld
U-waarde enkelglas= 5,8	4,74	3,69	4,22
U-waarde dubbelglas= 2,9	2,10	1,20	1,65
U-waarde 3-voud glas= 2,0	1,21	0,42	0,81

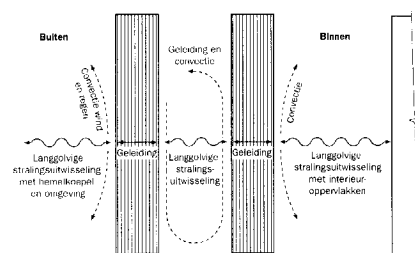
fig. 5.50 Equivalente U-waarden.

Glas speelt een belangrijke rol in het totale energieverbruik van gebouwen. Door het vergroten van de thermische weerstand van het glasproduct kan een aanzienlijke energiebesparing bereikt worden.

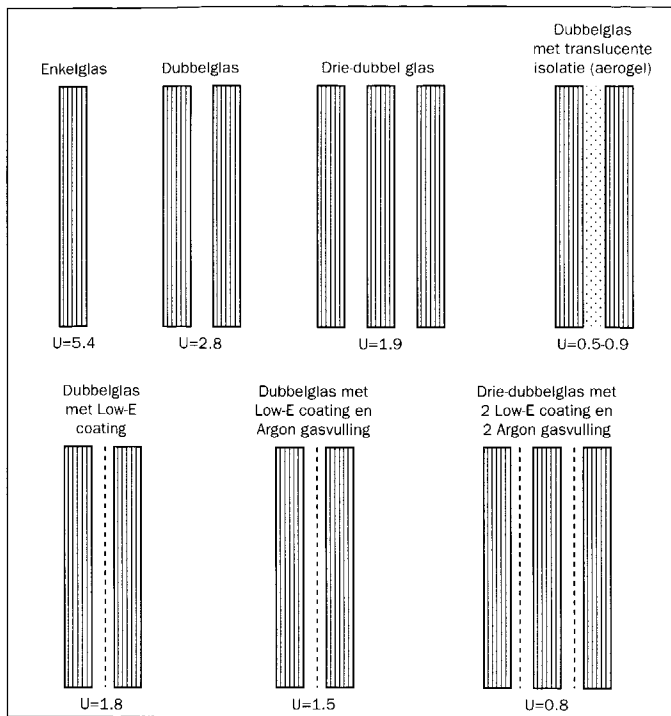
**Isolerende beglazing** Isolerende beglazing is een samenstelling van twee (dubbelglas) of meerdere glasbladen met daartussen luchtgevulde of gasgevulde spouwen. De glasbladen worden gescheiden door afstandhouders die tevens de houders vormen van een drogingsmateriaal dat, door spouwvocht te absorberen, inwendige condensvorming voorkomt. (fig. 5.51) Door het creëren van de spouw vindt bijna een verdubbeling van de warmte weerstand plaats. Vergelijk de U-waarde van dubbelglas:  $2,9 W/m^2K$  met die van enkel-



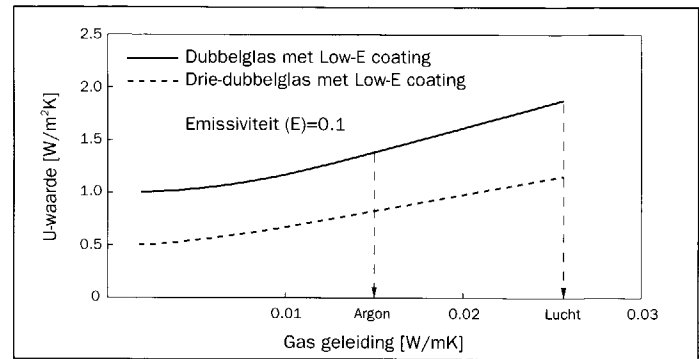
5.48 Warmteverliesmechanisme bij enkelglas.



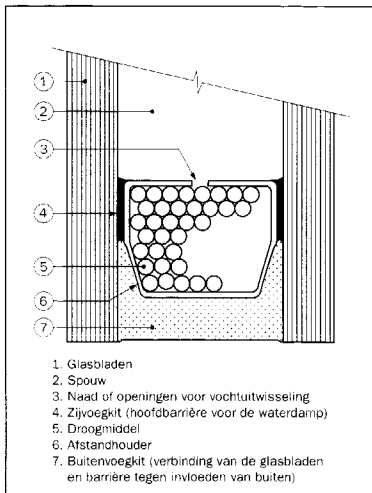
5.49 Warmteverliesmechanisme bij dubbelglas.



5.52 U-waarden van verschillende glasproducten.



5.53 Invloed van gasgeleiding op de U-waarde.



5.51 Principe opbouw van isolerende beglazing.

glas:  $5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . De totale thermische isolatiewaarde van de beglazing wordt bepaald door het glasproduct, de randverbinding met afstandhouder en het kozijn.

**Glasproduct** Ongeveer 50% van de totale warmte-weerstand van de glas-unit wordt gevormd door de luchtspouw. Deze waarde wordt voor eenderde bepaald door convectie en geleiding en voor tweederde door straling.[4] Door het beïnvloeden van deze drie fysische verschijnselen kan de weerstand van een glas-unit verder worden verhoogd. (fig. 5.52)

**Gasvulling in de spouw** Normaal gesproken wordt isolerende beglazing uitgevoerd met een luchtgevulde spouw. De U-waarde kan verbeterd worden door de spouw met een gas te vullen dat een lagere thermische geleiding heeft dan lucht. (fig. 5.53) Zulke gasen zijn bijvoorbeeld argon, krypton en (radioactief) xenon. Vanwege de kostprijs wordt nu voornamelijk argon gasvulling toegepast maar in de toekomst worden de beter isolerende gassen krypton en misschien xenon meer toegepast. (fig. 5.54) Ter vergelijking de volgende U-waarden:

- dubbelglas met 12 mm luchtspouw:  $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- dubbelglas met 12 mm argonspouw:  $2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- dubbelglas met 12 mm kryptonspouw:  $2,2\text{--}2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Bij een gasgevulde spouw is het wenselijk de randverbinding van de isolerende beglazing met thiokol af te dichten. De in de VS veel toegepaste siliconenafdichting is niet dampdicht. Gebleken is dat de speciale gasvullingen na circa 5 jaar grotendeels vervangen zijn door lucht.

**Low Emissivity coating** Volgens de wetten van de

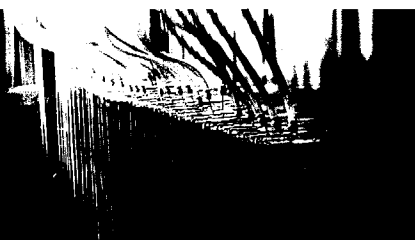
fysica emitteert een materiaal evenveel warmte als het kan absorberen. Door de absorptie van het materiaal te verminderen wordt ook de hoeveelheid geëmitteerde straling gereduceerd. Dit principe ligt aan de werking van een Low Emissivity coating ten grondslag.

Glas absorbeert slechts een klein gedeelte van de kortgolvlige stralingslengten (licht) en nagenoeg alle langgolvlige warmtestraling. Deze langgolvlige warmtestraling wordt (naar buiten) uitgezonden. Door in een dubbelglassysteem zijde 3 te voorzien van een Low-E-coating op metaalbasis wordt de absorptie van warmte gereduceerd: de coating laat kortgolvlige straling door en langgolvlige warmtestraling wordt gereflecteerd. De stralingsuitwisseling tussen het warmere binnenblad en het koudere buitenblad wordt tot een minimum teruggebracht en de warmte-weerstand van de glas-unit bijna verdubbeld. De emissiecoëfficiënt (=absorptiecoëfficiënt), die voor normaal floatglas ongeveer 0,9 is wordt met een coating op zilverbasis teruggebracht tot 0,05. Tegelijkertijd daalt de U-waarde:

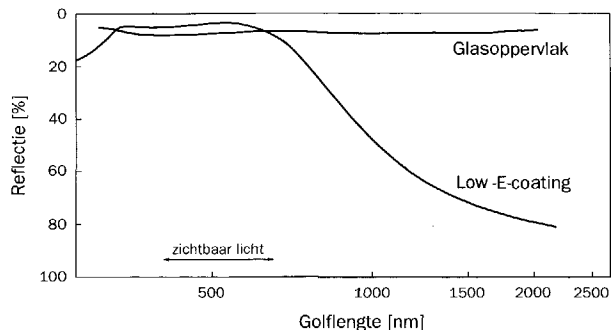
- dubbelglas:  $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- dubbelglas + Low-E-coating:  $1,5\text{--}1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Alle geleidende metalen op basis van koper, zilver en goud kunnen in principe gebruikt worden voor Low-E-coatings. De coating op basis van zilver heeft zich echter het sterkst ontwikkeld. Hiermee kan namelijk de meest kleurneutrale of kleurloze coating worden gemaakt met daarbij de hoogste lichtdoorlatendheid. (fig. 5.55) Er zijn drie mogelijkheden om de coating aan te brengen:

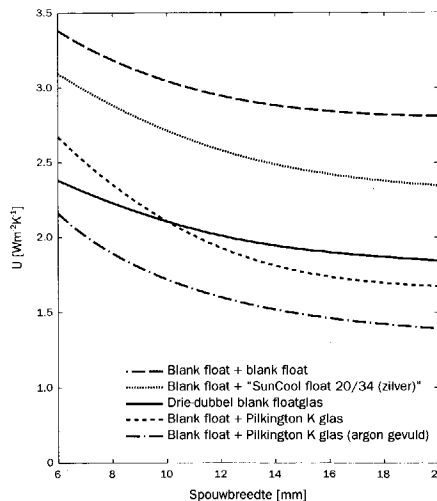
- Door sputtering. Het is dan een zachte coating die altijd in de glasspouw moet worden aangebracht.
- Door pyrolyse. Het is dan een harde coating die ook op de buitenzijde van het glasblad kan worden toegepast.



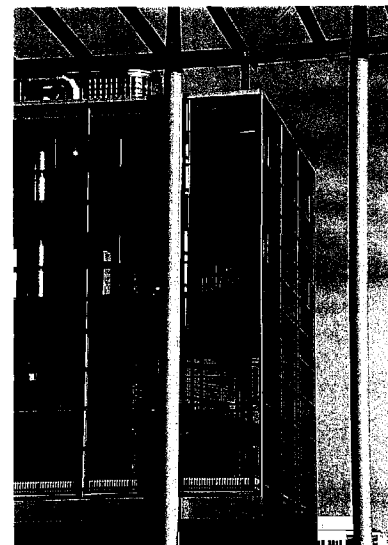
5.54 Het vullen van de spouw met argongas, Flachglas AG, Duitsland.



5.57 Spectrale reflectie van glas met Low-E-coating.



5.58 Invloed van de spouwbreedte op de U-waarde.



5.55 De gebouwhoge glasfaçade is voorzien van helder isolerende beglazing. De gelamineerde binnenbladen zijn veredeld met een Low-E-coating. Nederlands Architectuur Instituut, Rotterdam. architect: Jo Coenen

- Op een kunststof folie. De van coating voorziene folie wordt tevens gebruikt als spouwcompartimentering, zodat minder convectieverliezen optreden. De totale glaspaneeldikte wordt 130 tot 140 mm. (fig. 5.56)

Een voordeel van de Low-E-coating is de lage reflectie van het zichtbare licht, zodat het glas helderder lijkt dan gewoon glas. (fig. 5.57) Verwacht wordt dat de toepassing van Low-E-coatings voor doorzichtigbeglazing in de toekomst standaard wordt.

**Spouw vergroten** Door verbreden van de spouw kan extra warmteweerstand worden verkregen. (fig. 5.58) De grens ligt echter bij 15-20 mm, hierna kunnen convectieverliezen optreden ten gevolge van luchtwervelingen. Een verbreding van de spouw is gunstig voor de geluidsisolerende eigenschappen van de glasunit.

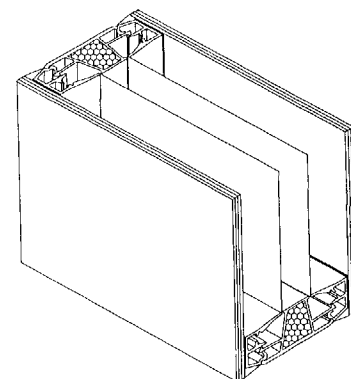
**Vullen van de spouw met translucent isolatiemateriaal** Het vullen van de spouw met transluente isolatiematerialen is een andere mogelijkheid om de warmteverliezen van de glas-unit te beperken.

- De spouw kan gevuld worden met acrylschuim. Dit is een transluente stof met een dichte cellenstructuur die zeer goed isoleert doordat de cellen gevuld zijn met lucht. De doorzichtfunctie van glas vervalt hiermee.
- In de spouw kunnen loodrecht op het glas staande kokertjes van glas, PMMA (polymethylmethacrylaat) of PC (polycarbonaat), met een doorsnede van 1 tot 4 mm worden aangebracht. (fig. 5.59) De spouw wordt hierdoor onderverdeeld in luchtcellen. De U-waarde van een isolatieplaat met een capillairstructuur van

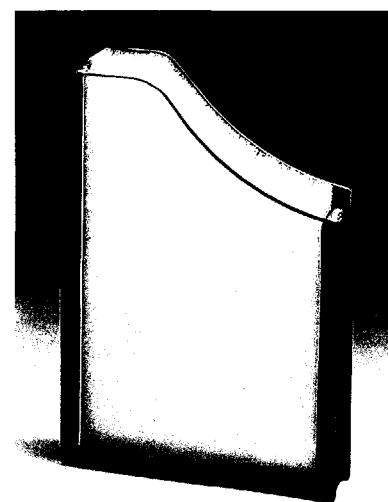
polycarbonaatkokertjes (diameter 3 mm) en een dikte van 100 mm is 0,89 W/m<sup>2</sup>K.[36]

- Daarnaast kan de spouw gevuld worden met een semihomogene substantie. Zo'n substantie is bijvoorbeeld aerogel: een transluente, microporeuze, isolerende laag die voor 2-5% is opgebouwd uit silicaten en voor 95-98% uit lucht. Met een 20 mm dikke tussenlaag van aerogel kan een U-waarde van circa 0,7 W/m<sup>2</sup>K worden bereikt en een transmissiegraad voor diffuus zonlicht van 69%. [36] Terwijl ongeveer 90% van de straling van de zon het glas ongehinderd kan passeren is het glas voor de langgolvlige warmtestraling volledig ondoordringbaar. Aerogel kan ook in de vorm van korrels worden geproduceerd met een doorsnee van 1-6 mm. De warmteweerstand wordt slechter; een 16 mm dikke laag heeft een U-waarde van 0,8 W/m<sup>2</sup> K. Het materiaal is nog erg gevoelig voor water en kan soms melkachtig vertekenen. Door ongelijke poriënspreiding wordt het licht ongelijk verstrooid en kan men een lichtbruine tint waarnemen. Het produkt is in de ontwikkelingsfase.

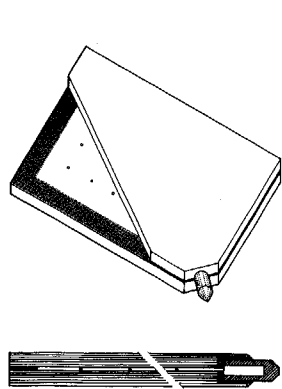
**Vacuümtrekken van de spouw** Een andere manier om een hogere thermische isolatie te verkrijgen is het vacuümtrekken van de spouw (theoretisch is een U-waarde van 0 W/m<sup>2</sup> K mogelijk). Het principe bestaat uit het scheiden van de glasbladen door een vacuümruijme waarin geleiding en convectie niet mogelijk zijn. Deze techniek moet echter verder ontwikkeld worden omdat er nog verschillende problemen zijn. Door de atmosferische druk hebben de glasbladen de neiging te bezwijken en naar binnen te klappen. De bladen moeten dus gescheiden worden door plaatselijke afstandhoudertjes. Dit gebeurt tegenwoordig al met



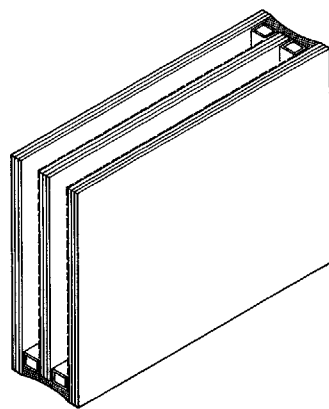
5.56 Principe opbouw van isolerende beglazing met spouwcompartimentering door Low-E-folies.



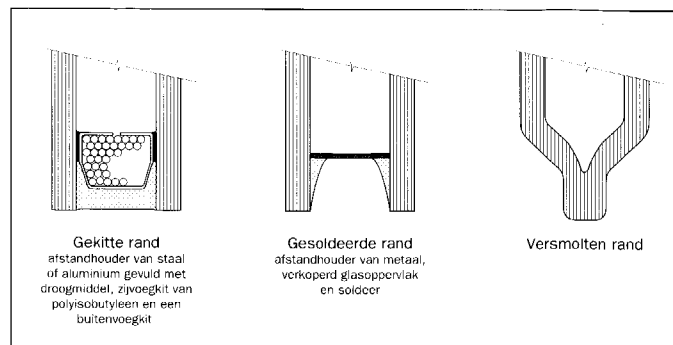
5.59 Isolerende beglazing met in de spouw een transluente isolatieplaat met capillairstructuur.



5.60 Principe opbouw van vacuumbeglazing.



5.61 Principe opbouw van meervoudige beglazing.



5.62 Verschillende typen randverbinding.

kleine staalbolletjes, glasplaatjes of polyester nopjes op een raster van circa 50 x 50 mm. Deze afstandhoudertjes bepalen de uiteindelijke geleiding van de plaat. (fig. 5.60) Daarnaast is het moeilijk om het vacuüm in stand te houden. Het vereist grote zorgvuldigheid en speciale technieken met betrekking tot de randafdichting die voortdurend aan wisselende temperaturen wordt blootgesteld. Dit, tezamen met het ietwat verstoorte doorzicht van de beglazing, zorgt ervoor dat de ontwikkelingen op dit gebied minder snel gaan, hoewel dergelijke units voor een redelijke prijs te maken zijn. Er zijn U-waarden van 0,35 W/m<sup>2</sup> K gerealiseerd bij een zeer hoge daglichttransmissie.

**Meerdere glasbladen** Door isolerende beglazing samen te stellen die is opgebouwd uit meer dan twee glasbladen, met daartussen spouwen, al dan niet gevuld met gas of transluente materialen, kan een hogere warmte-isolatie bereikt worden. (fig. 5.61) Door de goede isolatie van de unit kan bij zeer lage buitentemperaturen het buitenste glasblad zo koud worden dat er op het buitenoppervlak condensatie ontstaat. Het doorzicht wordt dan gehinderd hetgeen niet wenselijk is.

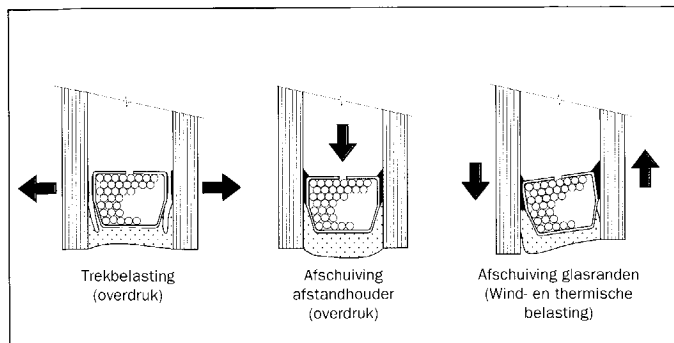
**Verwarmen van een van de glasbladen** Warmte-uitwisseling tussen het binnenglasblad en de binnenlucht neemt toe wanneer het temperatuurverschil tussen beide groter wordt. Naast het oneconomische warmteverlies is er nog het neveneffect van de koudeval. Een mogelijkheid om dit effect te voorkomen is het verwarmen van het binnenste glasblad. Er worden verwarmbare glas-units op de markt gebracht, bestaande uit twee bladen helder floatglas van tenminste 6 mm

dikte met een visueel neutrale metaaloxide-coating op de twee binnenzijden van de spouw. De metaalcoatings hebben ieder hun specifieke eigenschappen; zo heeft de coating op positie 2 een lage emissiviteit. In de coating op het binnenblad (zijde 3) wordt een nauwkeurig berekende spanning aangelegd, voldoende om de binnenruit op te warmen tot circa 35 °C. Door de glasverwarming en de Low-E-coating op positie 2 wordt langgolvlige straling naar binnen uitgezonden. Condensatie treedt niet op, zelfs niet bij zeer hoge vochtigheidsgraden in de binnenuimte. Dit maakt het glas geschikt voor toepassingen in zwembaden en serres. De LTA-waarde is 74% bij een ZTA-waarde van 62%.

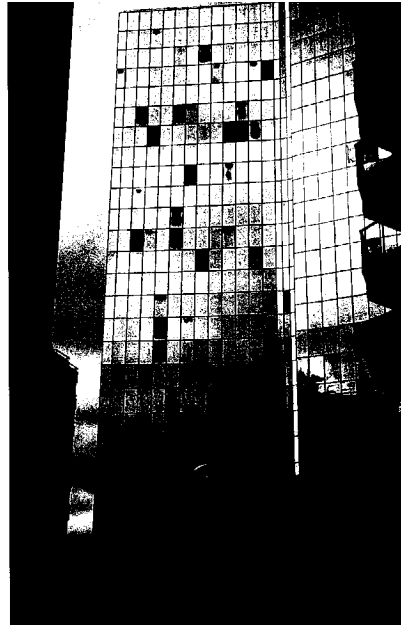
**Randverbinding** De ontwikkeling en verbetering van de randverbinding van isolerende beglazing wordt in de tijd globaal gekenmerkt door drie fabricagemethoden:

- Een gesmolten verbinding. Bij een temperatuur van 550 tot 600 °C worden de glasranden met elkaar versmolten.
- Een gesoldeerde verbinding. Nadat de glasranden aan de binnenzijde zijn verkoperd, wordt er een loodstrip of een koperprofiel tussen gesoldeerd.
- Een verkitten verbinding. Door middel van een kit, meestal polyisobutyleen of butyl, wordt de afstandhouder binnen de glasranden bevestigd. De spouwruiimte wordt zo dampdicht afgesloten. De glas-unit wordt afgewerkt met thiokol- of siliconenkit, die de glasbladen aan elkaar verbindt (lijmverbinding) en een eerste barrière vormt tegen vochttoetreding in de glasspouw.

Tegenwoordig worden hoofdzakelijk nog verkitten verbindingen toegepast. De andere twee zijn sterk verouderd. (fig. 5.62)



5.63 Invloed van klimatologische wisselingen op de randverbinding.



5.64 Het leklaan van isolerende beglazing veroorzaakt een ernstige verstoring van het gevelbeeld.

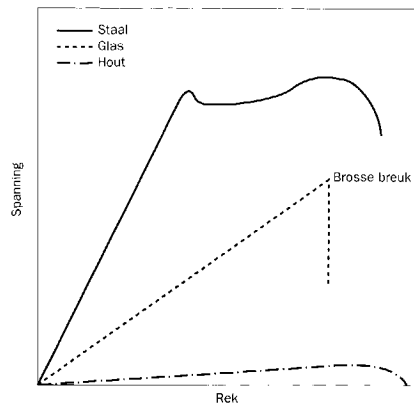
De randafdichting van de spouw moet dampdicht worden uitgevoerd. De spouwvlucht moet tevens zo droog mogelijk zijn. Hoe meer vocht in de spouwvlucht, hoe groter de kans op condensvorming op de binnenzijde van het buitenblad, en hoe lager de thermische isolatiewaarde van de spouw. Om problemen te voorkomen wordt tegenwoordig meestal een dubbel-barrièresysteem toegepast gevormd door een binnenafdichting, een afstandhouder met droogmiddel en een buitenafdichting. De binnenafdichting bevindt zich tussen het glas en de afstandhouder en vormt de hoofdafdichting voor waterdamp en gassen. De buitenafdichting (thiokol- of siliconenkit) waarborgt de sterkte van de randverbinding en vormt een barrière tegen schadelijke invloeden van buitenaf. Beide kitvoegen moeten in staat zijn bewegingen ten gevolge van klimatologische invloeden op te vangen zonder dat er lekkage ontstaat. (fig. 5.63 en 5.64)

De afstandhouder kan gemaakt worden van verschillende materialen, tegenwoordig wordt hiervoor meestal aluminium gebruikt. Door de hoge warmtegeleiding van aluminium ontstaat ter plaatse van de afstandhouder een warmtelek (koudebrug). Langs de rand van de isolerende beglazing ontstaat een koude glaszone die in sommige gevallen condensatie kan veroorzaken. De thermische isolatiewaarde van de afstandhouder wordt belangrijker naarmate het glasoppervlak kleiner is en beter thermisch isoleert. Nieuwe ontwikkelingen concentreren zich op het maken van thermisch onderbroken afstandhouders van aluminium, afstandhouders van holle polycarbonaat extrusieprofielen en afstandhouders van siliconenschuimen.

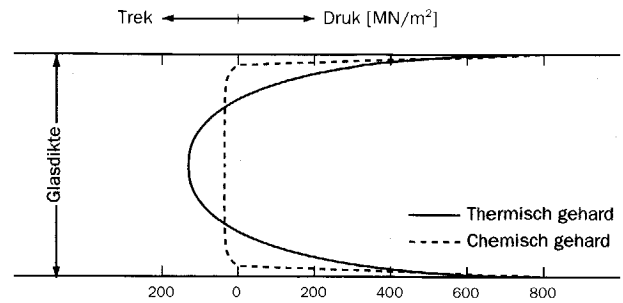
De afstandhouder wordt gevuld met een droogmiddel om spouwvocht te absorberen en eventuele water-

dampdiffusie op te vangen. De hoeveelheid droogmiddel is afhankelijk van de spouwinhoud.

**Raamprofiel** De thermische isolatie van het raamprofiel bepaalt uiteindelijk de totale warmteweerstand van het beglaasde raam; de keten is zo sterk als de zwakste schakel. Houten kozijnen zijn goede warmteisolatoren door hun lage geleidingsvermogen ( $\lambda = 0,17$  W/mK). Kunststof profielen hebben ook een laag geleidingsvermogen ( $\lambda = 0,17$  W/mK). De thermische prestaties worden verslechterd wanneer het kozijn moet worden versterkt met een metaalprofiel. Door het toepassen van meerdere luchtkamers wordt dit effect gedeeltelijk gecompenseerd. Staal ( $\lambda = 52$  W/mK) en vooral aluminium ( $\lambda = 204$  W/mK) hebben een zeer hoge warmtegeleiding. Een raamprofiel met koudebrugonderbreking is voor het bereiken van een hoge thermische weerstand noodzakelijk.



5.65 Plastische deformatie.



5.66 Spanningsprofiel in een vlakke glasplaat na thermisch respectievelijk chemisch voorspannen.



5.67 Testinstallatie.

## STERKTE

**G**las is, mechanisch gezien, een bijzonder sterk materiaal. Het hoge aandeel siliciumoxide is voor de hardheid en sterkte van het glas maatgevend. Het bepaalt echter ook de brosheid ervan. [5.36] Glas is niet in staat plastisch te vervormen. Bij een minimale overschrijding van de elastische vervormingsgrens treedt spontane glasbreuk op. Er is niet, zoals bij metalen, een waarschuwingsmechanisme dat duidt op overbelasting. (fig. 5.65)

De theoretische treksterkte van glas is zeer hoog. In de praktijk worden slechts waarden behaald van ongeveer  $40 \text{ N/mm}^2$ . Bij langdurige belasting is dit zelfs maar  $7 \text{ N/mm}^2$ . Dit is te wijten aan de structuur en de samenstelling van glas. Glas is opgebouwd uit siliciumoxidepiramides. De piramides zijn aan de buitenkant negatief geladen en stoten elkaar in principe af. Wanneer de trekspanningen in het glas te hoog worden, zijn de positieve ladingen niet sterk genoeg om de piramides bij elkaar te houden. Doordat het glas geen kristallijne structuur heeft en geen hechte samenhang vertoont, wordt een optredende scheur niet gestopt in het materiaal. Kleine inhomogeniteiten, zoals oppervlaktebeschadigingen en microscheurtjes, kunnen een dergelijk proces initiëren. Door het voorspannen van glas kunnen de prestaties op dit gebied verbeterd worden.

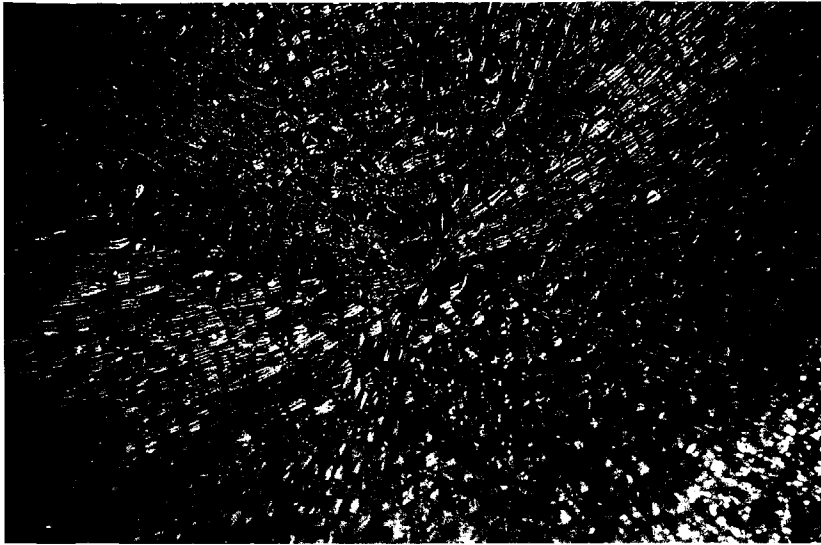
**Voorspannen** Wanneer een glasplaat gebogen wordt ontstaan aan de 'verlengde' zijde trekspanningen en aan de 'verkorte' zijde drukspanningen. Worden de trekspanningen te hoog dan breekt het glas volgens het hierboven beschreven mechanisme. Bij gewoon

vlakglas ligt deze uiterst opneembare buigtrekspanning bij circa  $50 \text{ N/mm}^2$ . Een mogelijkheid om de uiterst opneembare buigtrekspanning van een glasplaat te verhogen is het aanbrengen van een kunstmatige drukzone aan beide buitenzijden van de glasplaat. Bij vervorming worden optredende trekspanningen tot de hoogte van de voordruk gecompenseerd door de al aanwezige drukspanningen. Aan de drukzijde zullen de spanningen hoger worden. Het aanbrengen van drukspanningen noemt men het voorspannen van glas. (fig. 5.66) Er zijn twee manieren om glas voor te spannen: chemisch voorspannen en thermisch voorspannen.

**Chemisch voorspannen** Chemisch voorspannen wordt voor glasprodukten in de bouw niet veel toegepast. Het glas wordt in een zoutoplossing gedompeld die kaliumionen bevat. De kaliumionen zullen de plaats van de natriumionen innemen in het glasnetwerk en door hun grotere volume een drukspanning veroorzaken in de buitenste glaslaag. De inwerkingsdiepte van deze behandeling is relatief klein. Hierdoor kan deze bewerking plaatsvinden op zeer dunne glasbladen. De uiterst opneembare buigtrekspanning is bij chemisch voorgespannen glas zeer hoog; circa  $1000 \text{ N/mm}^2$ . Dit glas wordt veel in laboratoria toegepast.

**Thermisch voorspannen** Bij het thermisch voorspannen wordt glas in een oven verwarmd tot ongeveer  $650 \text{ }^\circ\text{C}$ , het punt waarop het glas net niet verweekt. Hierna wordt het glas geforceerd gekoeld met lucht waardoor de buitenste zones snel krimpen. De kern van het glas heeft nog een hoge temperatuur en zal bij het langzaam afkoelen ook willen krimpen. Hierin wordt het echter tegengewerkt door de buiten-





5.69 Breukpatroon van gehard glas door nikkelsulfide-insluiting.

ste zones. In deze zones ontstaan drukspanningen die in het glas opgesloten blijven, terwijl de centrale zone op trek belast wordt. De uiterst opneembare buigtrekspanning van dit glas is ongeveer verviervoudigd en bedraagt nu circa 200 N/mm<sup>2</sup>. Er ontstaat spreiding van de sterkte in de glasplaat doordat tijdens het voorspanproces de plaatselijk mate van harding onvoldoende beheerst kan worden. (Voorschriften ontbreken op dit punt.) In de praktijk wordt gewerkt met een toelaatbare buigtrekspanning van 50 N/mm<sup>2</sup>, wat globaal een kwart is van de gemiddelde bezwijkspanning.

Wanneer glas alleen voorgespannen moet worden om thermische spanningen te kunnen opvangen, dan wordt het glas **half voorgespannen** (heat-strengthened). Het glas wordt minder snel afgekoeld dan bij een volledige thermische voorspanning. De uiterst opneembare buigtrekspanning wordt hierdoor 2 tot 2,5 maal hoger, voldoende om thermische breuk te voorkomen, en bedraagt circa 100 N/mm<sup>2</sup>. In de praktijk wordt gewerkt met een toelaatbare buigtrekspanning van 30 N/mm<sup>2</sup>.

Bij breuk van half-voorgespannen glasplaten blijven de stukken scherfvormig. Bij breuk van volledig voorgespannen glas ontstaan glaskorrels, die hooguit lichte schaaft- of snijwondjes veroorzaken. In NEN 3568 zijn de maximale afmetingen van de glaskorrels vastgelegd bij een standaardbeproeving die door de glasverwerkende industrie regelmatig wordt uitgevoerd. (fig. 5.67)

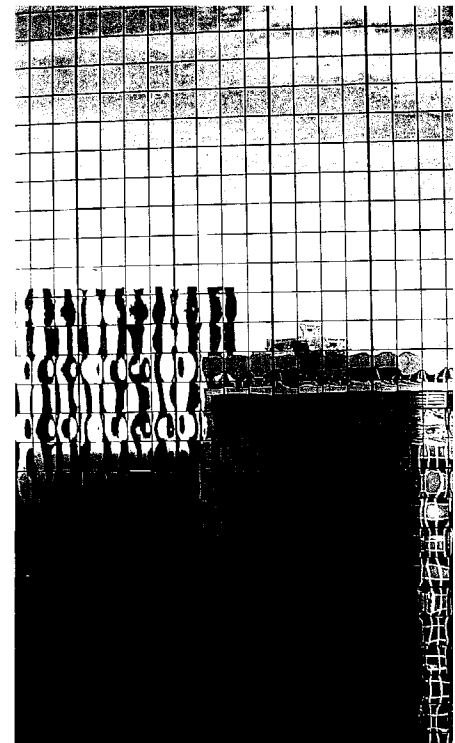
Het voorspannen van glas kan zowel plaatsvinden in een horizontale als een verticale oven. Een nadeel van het verticaal harden van het glas zijn de altijd zichtbare ophangingspunten. Verticaal harden komt tegenwoordig nog maar weinig voor. Horizontaal voor-

gespannen glas kan onregelmatigheden in het glasoppervlak vertonen door de rollen van de oven. Deze kunnen in een sterk reflecterende opstelling zichtbaar worden. (fig. 5.68) Bij het voorspannen probeert men ervoor te zorgen dat de vlakheidsafwijking naar buiten toe bolvormig is. Wanneer het glasblad namelijk hol zou zijn ontstaan storende optische effecten (rechte lijnen worden convex).

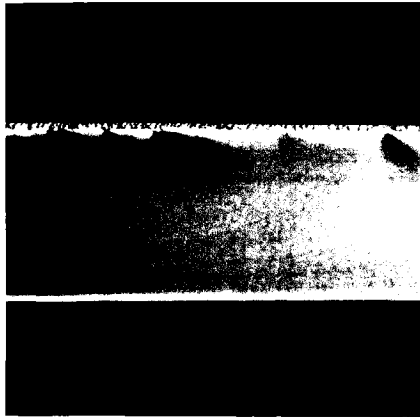
Glas dat wordt voorgespannen moet van te voren alle mechanische bewerkingen hebben ondergaan (boren, slijpen). Naderhand is dit niet meer mogelijk omdat bij het raken van de inwendige, aan trekspanningen onderhevige zone, de ruit in kleine stukjes uiteenspringt.

Het glasproduct kan verontreinigd zijn met nikkel-sulfide. Bij volledig voorgespannen glas bestaat door groei van de verontreiniging het risico op spontane glasbreuk. Deze glasbreuk wordt gekenmerkt door twee vijfhoekige 'vlinderbrokjes' in het centrum van de breuk. (fig. 5.69) Om het risico te verlagen kan een **heat-soak-test** onderdeel zijn van de levering (in Duitsland is deze test verplicht). Deze test kan echter niet voor honderd procent zekerheid bieden. Bij chemisch en half-voorgespannen glas is het risico op spontane glasbreuk niet aanwezig.

**Toepassingen** Volledig voorgespannen glas valt bij breuk uiteen in kleine glaskorrels en niet in grotere scherven. Dit maakt het 'veilig toepasbaar' in auto's, bussen en treinen. Volledig voorgespannen glas wordt verder gebruikt in deuren, wanden en ramen. De mogelijkheid bestaat om deuren en ramen te creëren die uitsluitend uit glas en het nodige hang- en sluitwerk bestaan (een vorm van constructieve beglazing).



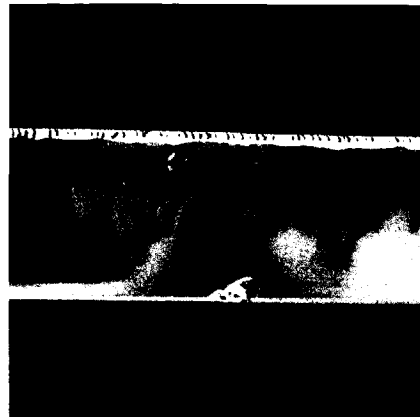
5.68 Vlakheidsafwijkingen in gehard glas zijn duidelijker zichtbaar bij sterk reflecterende toepassingen.



A: Goede strakke snijkant



B: Acceptabele snijkant met lichte groefvorming



C: Nog net acceptabel snijvlak met groefvorming



D: Onacceptabele snijvlakbeschadiging

#### 5.70 Glasrandbeschadiging door snijden

Gehard glas wordt verder gebruikt indien thermische spanningen kunnen optreden, en waar grotere overspanningen of dunnere glasbladen gewenst zijn. Een zeer belangrijke toepassing van voorgespannen glas vinden we bij constructieve beglazing (zie ook hoofdstuk 3 Façadesystemen).

### THERMISCHE SPANNINGEN

**A**ls glas blootgesteld wordt aan zonnestraaling, absorbeert het warmte, stijgt het in temperatuur en zet het uit. In het glas treden temperatuurverschillen op tussen niet-bezonde delen en bezonde delen. Met name de randen van het glas blijven koud omdat er geleiding plaatsvindt van warmte naar het koudere frame. Omdat glas een slechte warmtegeleider is, kunnen de niet-bezonde delen niet meegaan in de lengteverandering van de bezonde delen. Hierdoor zullen in het koude glasoppervlak trekspanningen ontstaan, doordat het warme deel zich hiervan tracht los te scheuren. Een te groot temperatuurverschil kan leiden tot forse thermische spanningen en breuk van de glasplaat tot gevolg hebben.

De oriëntatie van de ruit en de gekozen glassoort bepalen in belangrijke mate het risico op een te groot temperatuurverschil. In zonbeheersende beglazing kan de temperatuur ten gevolge van absorptie flink stijgen. Wanneer zonbeheersende beglazing gebruikt wordt in isolerende eenheden wordt het risico nog eens vergroot doordat warmte van het buitenblad niet kan worden afgegeven naar binnen. Met behulp van computerprogramma's kunnen de risico's berekend worden.

Door het glas half voor te spannen wordt de uiterst opneembare buigtrekspanning verhoogd en kan

een groter temperatuurverschil in het glas opgenomen worden. De opneembare buigtrekspanning van het glas wordt voor een belangrijk deel bepaald door de kwaliteit van de glasranden. Thermische spanningen zijn hier het hoogst en kleine beschadigingen (door onnauwkeurig snijden of onoordeelkundige opslag) kunnen thermische breuk initiëren. (fig. 5.70)

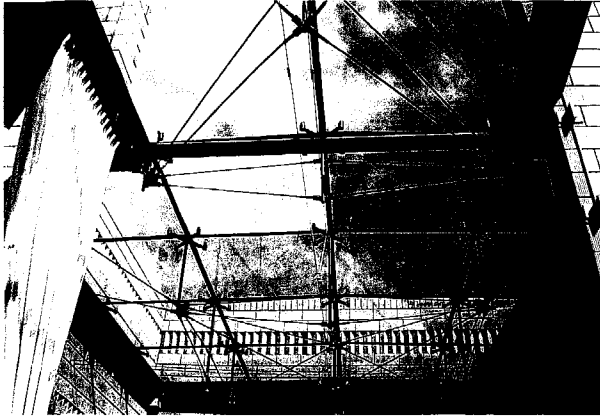
### VEILIGHEID

**H**oewel glas zeer hoge sterkte-eigenschappen heeft is het in hoge mate breekbaar. Er zijn verschillende situaties waarin veiligheidsglas gewenst is:

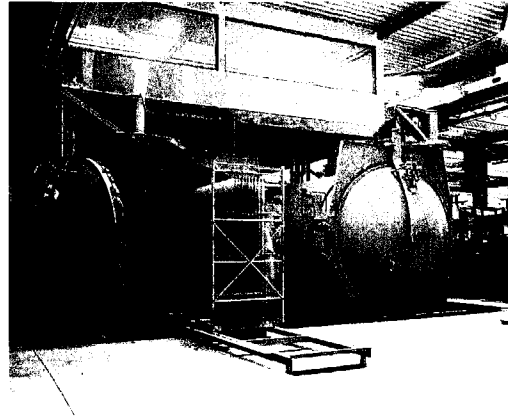
- doorvalbeveiliging in borstwering en balustrade;
- brandveiligheid;
- risico's van vandalisme;
- 'onzichtbaar glas'(deuren);
- inbraakwering;
- beveiliging voor explosies en kogelinslagen;
- glas voor dak- of kapbeglazing (fig. 5.71);
- elektromagnetische stralingswering;
- speciale plaatsen zoals gymnastiekzalen.

In principe zijn er drie soorten veiligheidsglas: voorgespannen glas, draadglas en gelaagd glas. Voor de beveiliging van bouwwerken (inbraak-/kogelwering) komt vooral gelaagd glas in aanmerking.

**Voorgespannen glas** Voorgespannen glas wordt als beveiliging voornamelijk toegepast omdat bij breuk glaskorrels ontstaan die hooguit lichte schaafof snijwonden veroorzaken. (Er bestaat een kans dat het glas bij breuk in grotere schollen explodeert, die pas fragmenteren als ze een voorwerp raken. Dat kan voor



5.71 De gebroken glasplaat wordt bij elkaar gehouden door een PVB-folie.



5.72 Autoclaaf voor het vervaardigen van gelaagd glas.

mensen toch een probleem vormen.) Breuk treedt plotseling op wanneer één van de voorgespannen lagen wordt doorbroken. In verband hiermee is dit glas niet geschikt als doorvalbeveiliging, als vloer of als traptrede.

**Draadglas** Draadglas wordt met name toegepast als brandwering omdat bij breuk en hoge temperaturen het glas bijeen wordt gehouden door het draadnet. De opening blijft dicht en voorkomt het overslaan van de brand.

**Gelaagd glas** Wanneer gevaar bestaat voor doorvallen, inbraak of mogelijke kogelinslagen wordt gelaagd glas toegepast. Gelaagd glas is een produkt, opgebouwd uit meerdere lagen glas verbonden door PVB-folies of epoxygiethars. Met name de door folies gebonden soorten zijn geschikt als veiligheidsglas. De soorten met hars als tussenlaag worden hoofdzakelijk toegepast om hun geluidreducerende eigenschappen.

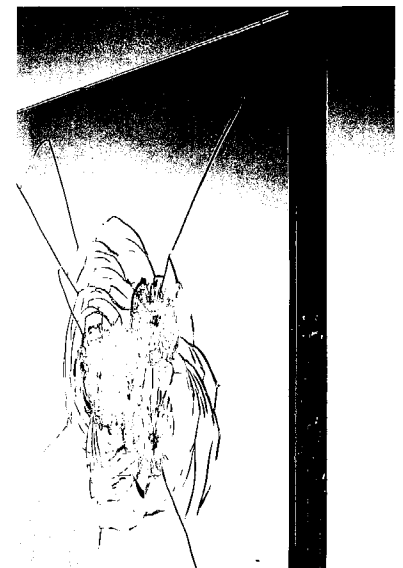
**Gelaagd glas met PVB-folie** Gelaagd glas met PVB-folie wordt gemaakt door twee of meer glasbladen, al of niet voorgespannen, met daartussen de folie, op elkaar te walsen en vervolgens in de autoclaaf te verhitten. (fig. 5.72) Er ontstaat een compacte eenheid die in transparante, gekleurde of van een print voorziene uitvoeringen verkrijgbaar is. Mocht het glas door bijvoorbeeld mechanische overbelasting breken, dan worden de scherven bijeen gehouden door de PVB-laag. Hierdoor is de kans op verwonding door glasscherven klein en blijft de vensteropening gesloten.

Afhankelijk van de vereiste bescherming kan de samenstelling van gelaagd glas worden aangepast door de glasdikte te veranderen en/of het aantal PVB-

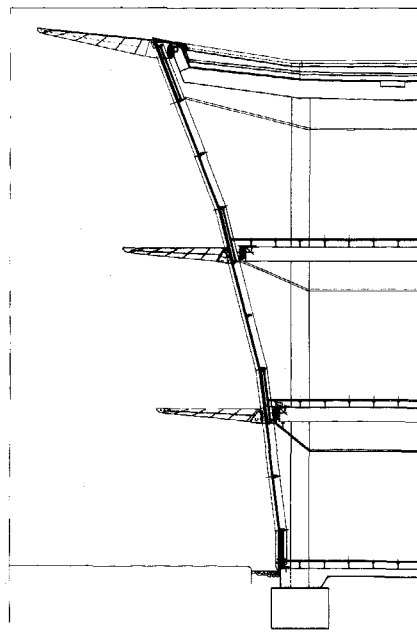
folielagen te variëren. Als uitgangspunt kan aangehouden worden: aanvallen op het glas met weinig snelheid (slaan of gooien) vragen meer PVB-lagen, terwijl aanvallen met grote snelheid (bijvoorbeeld schieten) meer glasmassa vragen. (fig. 5.73) In sommige situaties is het doelmatig gehard en gelaagd glas te combineren door in het gelaagde pakket één van de bladen voorgespannen uit te voeren. [5.7] Gelaagd glas kan beter niet ingeklemd worden. Door de inklemming bestaat de kans dat de folie weggeperst wordt. Dit houdt risico van onthechting van de folie in, waardoor vieze plekken op het glas kunnen ontstaan. [5.7]

De meeste folies zijn niet compatibel met de siliconenkit die gebruikt wordt bij structural sealant glazing. De siliconenkit veroorzaakt een verkleuring van de kunststof folie, hetgeen esthetisch storend is.

**Gelaagd glas met polycarbonaat** Wanneer er grote risico's bestaan voor inbraak of kogelinslagen is het gebruikelijk één van de glasbladen te vervangen door een plaat polycarbonaat. Polycarbonaat heeft de eigenschap dat het zeer slagvast is. Daarnaast is het lichtdoorlatend, buigzaam en bij brand zelfdovend. [5.7] Een nadeel van dit materiaal is de grote krasgevoeligheid. Door de combinatie van glas en polycarbonaat worden de negatieve en positieve kanten van beide materialen verenigd. Glas is krasvast maar breekbaar. Polycarbonaat is krasgevoelig maar slagvast. Het polycarbonaat kan zowel tussen de glasbladen als aan de binnen- of buitenzijde van de eenheid aangebracht worden. Deze combinatie heeft als nadeel dat de materialen verschillende uitzettingscoëfficiënten hebben. De uitzettingscoëfficiënt van polycarbonaat is ongeveer 9 maal hoger dan die van glas. Hierdoor kunnen in het



5.73 Een 23 mm dikke gelamineerde glasplaat (4+8+6+4 mm) onderworpen aan een 0.357 Magnum revolver.



5.74 A+B Het naar voren laten hellen van het gevelvlak heeft een tweeledige functie: zon-beheersing en het beperken van de reflectie van radarstraling, Coördinatie-centrum British Airways, Heathrow, Londen, 1994. architect: Nicholas Grimshaw and Partners

laminaat aanzienlijke schuifspanningen ontstaan. Wanneer gecoat of in-de-massa-gekleurd glas wordt gebruikt zal dit probleem verergeren door de hogere warmteaccumulatie.

Gelaagd glas kan in meerdere situaties worden toegepast. Het is eenvoudig te combineren met isolerende beglazing. Het gelaagde glas kan zowel aan de buitenzijde als aan de binnenzijde van de isolerende beglazing worden toegepast. Ter bevordering van de inbraakveiligheid kan het glas voorzien worden van een alarmsysteem. Op de folie wordt een elektrisch geleidende zilverdraad aangebracht in een kronkelend patroon. Bij beschadiging van het glas gaat het alarm af.

Gelamineerd glas is veel minder sterk dan massief floatglas van dezelfde dikte. De verschillende glaslagen werken namelijk niet volledig mechanisch samen door de tussenliggende hars of PVB-lagen. Om dezelfde sterkte te verkrijgen moet een dikker pakket worden samengesteld. Het bezwijkgedrag van een gelamineerde plaat is gunstiger dan dat van ongelamineerde beglazing omdat bij breuk de scherven bijeen gehouden worden door de folie.

**Elektromagnetic shielding** Een speciale vorm van veiligheidsbeglazing is glas gebaseerd op elektromagnetic shielding. Elektromagnetische straling wordt onder andere uitgezonden door machines en installaties en kan de werking van elektrische of elektronische apparaten verstoren. In principe zijn er drie mogelijke problemen:

- er wordt straling ontvangen van buiten het gebouw, wat zorgt voor verstoring van het eigen netwerk;
- het eigen netwerk zendt straling uit, wat binnen het gebouw zorgt voor verstoring van andere apparatuur;

- computergegevens kunnen worden ontvreemd of 'in de war' worden gebracht.

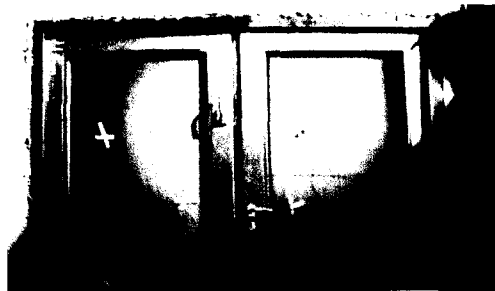
Om apparatuur tegen elektromagnetische straling te beschermen kan een zogenaamde kooi van Faraday gecreëerd worden. Door een kamer, of het hele gebouw, te omgeven door een metalen 'net' wordt een kooi gevormd, waarbinnen het elektromagnetische veld geen invloed heeft.

Helder, onbehandeld, blankglas laat in principe alle elektromagnetische straling vrij door. Door een dunne metaallaag op het glas aan te brengen, en deze te verbinden met het frame zodat de kooi ontstaat, kan een uitstekende werking van de elektromagnetische straling verkregen worden. De hoeveelheid geweerde straling hangt af van de dikte en de geleiding van de metaallaag, de frequentie van de straling en de signaal-impedantie (impedantie = weerstand die wisselstromen ondervinden).

**Radardemping** Gecoat glas reflecteert radarstraling bijna volledig. Met name in de buurt van luchthavens veroorzaakt dat problemen. Een verbetering kan gevonden worden in het naar voren laten hellen van het gevelvlak. (fig. 5.74) Daarnaast kan het glasproduct zelf gemodificeerd worden. Ontwikkelingen houden zich bezig met het ontwerpen van radarabsorberende beglazing. De glas-unit kan worden opgebouwd uit een aantal glasbladen voorzien van een coating die werkt op basis van interferentie en absorptie van radarstraling. Deze coating beïnvloedt het doorzicht niet. Ook met behulp van een elektrisch stroompje kan een interferentiepatroon in de coating opgewekt worden. De demping van radarstralen is hoog, evenals de LTA-waarde.



A: Bij aanvang van de test.



B: Na zes minuten blootstelling aan brand,



C: Na zestig minuten blootstelling aan brand.

5.75 Brandwerende beglazing in een testopstelling.

## BRAND

**N**ormaal floatglas is niet bestand tegen brand. Door de hoge temperaturen springt het glas, valt het uit de sponning en laat het de vlammen en rookgassen door.

Niet alle materialen vertonen eenzelfde brandgedrag. Sommige materialen vormen alleen een vlammscherm, andere werken brandisolerend en worden brandwerend genoemd. Glas laat warmtestraling zeer goed passeren. Niet alleen is dit onveilig bij vluchtwegen omdat de hoge temperaturen een belemmering vormen voor passerende mensen, ook kan het glas zo veel warmte doorlaten en afstralen dat het materialen aan de niet-brandzijde kan doen ontvlammen. Het is belangrijk de temperatuur aan de niet-brandzijde zo lang mogelijk laag te houden. (fig. 5.75) Uitgaande van deze criteria kennen we twee vormen van brandwerende beglazing:

- warmtedoorlatende, brandwerende beglazing;
- warmte-isolerende, brandwerende beglazing.

### Warmtedoorlatende, brandwerende beglazing

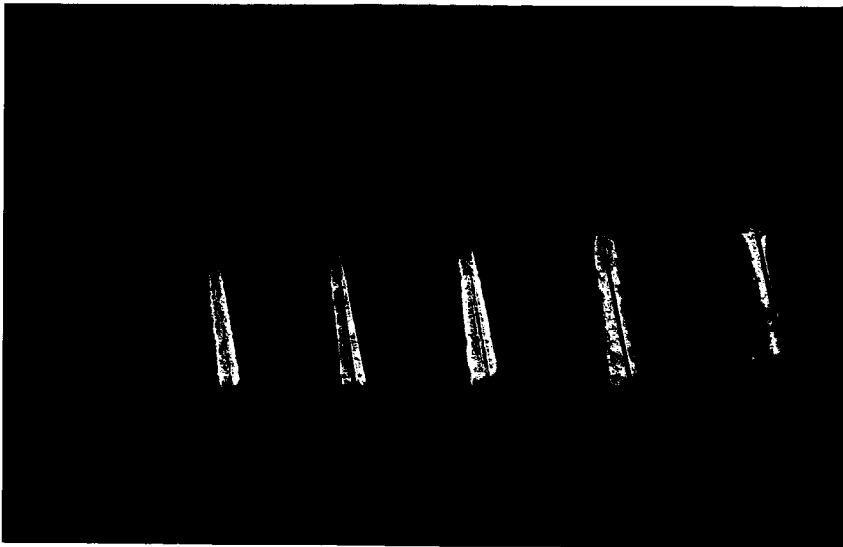
**Draadglas** Draadglas is glas met een tijdens de productie ingebed draadnet van elektrisch gelast, chemisch behandeld staal. De rookwerendheid is groter dan van normaal floatglas doordat het draadnet de glasscherven na breuk bij elkaar houdt. Draadglas is echter zeer gevoelig voor temperatuurveranderingen vanwege de verschillende uitzettingscoëfficiënten van staal en glas. Het is maar matig brandwerend. Afhankelijk van de afmetingen van de ruit en de bevestiging is een brandwerendheid te bereiken van 30 tot 60 minuten. Draadglas is zowel bruut als gepolijst (=spie-

geldraadglas) te verkrijgen en wordt meestal toegepast als enkelglas. Spiegeldraadglas kan met een ongewapende ruit samengesteld worden tot isolerende beglazing, maar de levensduur van zo'n eenheid is minder goed voorspelbaar (lekslaan). Fabrikanten geven in het algemeen geen 10 jaar garantie op deze glassamenstelling.

**Gelaagd gewapend glas** Bij dit glas zit het elektrisch gelaste draadnet (15x15 mm) in een kunststof tussenlaag tussen twee ruiten blank floatglas. Ook hier houdt het draadnet de scherven bijeen. Er is een brandwerendheid te bereiken van meer dan 60 minuten. Het gelaagde draadglas is te leveren in bruut of gepolijst, blank of getint glas en is minder temperatuurgevoelig dan de hierboven beschreven soort.

**Borosilicaatglas** Borosilicaatglas is glas met een zeer geringe uitzettingscoëfficiënt (circa 3 keer kleiner dan van gewoon floatglas) en een lage viscositeit. Door deze eigenschappen is het in staat de kritische opwarmfase bij brand te doorstaan. Naast deze eigenschappen heeft het borosilicaatglas een hoge smelttemperatuur. Het glas wordt pas bij 1000 graden week terwijl floatglas week wordt bij 600 à 700 °C.

Het produkt Pyran is een brandwerende glassoort op basis van borosilicaat. Het produkt is verkrijgbaar in verschillende diktes. Hoe dikker het glas, hoe hoger de brandwerendheid. Door het glas voor te spannen kan ook in andere opzichten aan de veiligheid voldaan worden. Het produkt kan toegepast worden in een laminaat, is UV-bestendig en laat bij een dikte van 6,5 mm 90% van het opvallende licht door.



5.76 Glas met opschuimende lagen: Pyrobel.

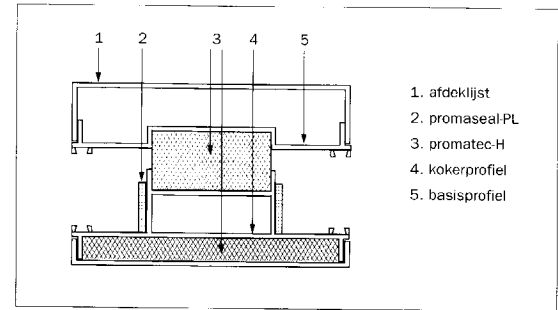
**Voorgespannen glas** Het is mogelijk enkellaags voorgespannen floatglas met rondgeslepen randen en nauwkeurig omschreven sterkte te krijgen. In verschillende uitvoeringen zijn brandwerende prestaties te realiseren van 30 tot 60 minuten of meer.

#### **Warmte-isolerende, brandwerende beglazing**

**Glas met opschuimende lagen** Dit glastype wordt opgebouwd uit drie of meer lagen glas met daartussen doorzichtige lagen van een brandwerend materiaal. Bij verhitting zwellen de tussenlagen op en vormen een vuurvast en isolerend schuim. (fig. 5.76) Het schuim is ondoorzichtig zodat de vuurhaard aan het zicht van de vluchtende mensen wordt onttrokken en paniek kan voorkomen. Wanneer het glas breekt wordt het bijeen gehouden door de schuimlaag. De mate van brandwerendheid hangt af van het aantal gebruikte lagen.

Met deze systemen is het goed mogelijk om een tamelijk lage temperatuur te behouden aan de niet-brandzijde. Het risico van branddoorslag of van het ontvlammen van brandbare materialen aan de niet-brandzijde wordt zo sterk vermindert.

**Glas met gel** Brandwerende beglazing met gel wordt opgebouwd als normaal dubbelglas. Tussen twee thermisch geharde ruiten met een 18 mm brede spouw wordt een helder gel-achtig materiaal aangebracht waarna de spouw wordt afgesloten met een roestvast-stalen randprofiel. De mate van brandwerendheid hangt af van de dikte van de gellaag. Wanneer de gel aan hitte wordt blootgesteld verdampt het water uit de gel en absorbeert daarmee een groot deel van de warmte. De gel verandert in een harde laag die een brandwerend scherm vormt.



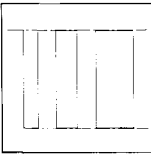
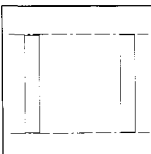

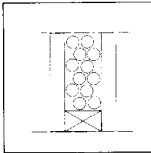
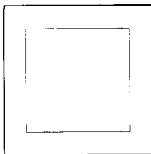
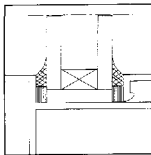
5.77 Opbouw van een brandwerend aluminiumprofiel met een brandvertragende isolator.

De laatste twee groepen brandwerende beglazing zijn gevoelig voor een veelzijdige blootstelling aan UV-straling. Dit kan de duurzaamheid in nadelige zin beïnvloeden.

#### **Toepassingen**

Al deze glassoorten verschillen onderling in afmetingen en toepassingsmogelijkheden. De meeste soorten kunnen in branddeuren, liftdeuren, brandwerende scheidingswanden en gevels gebruikt worden. De totale brandwerendheid van een raamconstructie hangt niet alleen af van het toegepaste type glas. Van net zo groot belang zijn het glasformaat, het beglazingssysteem, de glaslatten, de sponningmaterialen en het kozijn. (fig. 5.77)

- **Glasformaat.** Wanneer glas warmer wordt dan circa 600 graden verweekt het langzaam. Dit wil zeggen dat het glas als het ware inzakt. Wanneer het glas niet voldoende wordt ingeklemd kan het uit het beglazingssysteem zakken en kan brand vrij spel hebben. De grootte van het glasoppervlak beïnvloedt de mate van inzaking.
- **Beglazingssysteem.** De manier van beglazen heeft grote invloed op de brandwerendheid van het raam. Droog beglaasd, nat beglaasd, structural sealant glazing, bevestiging met een afdekstrip, constructieve beglazing: ieder systeem vertoont een ander brandwerend gedrag.
- **Glaslatten en klemlijsten.** Glaslatten en klemlijsten zijn primair de houders van de ruit. Zij moeten voldoende brandwerendheid bezitten en op een zodanige manier bevestigd zijn dat ze niet gemakkelijk van het kozijn afgedrukt kunnen worden.
- **Sponningmaterialen.** De sponningmaterialen in brandwerende constructies hebben meerdere functies. Allereerst moeten zij contact tussen het glas en de

Maatregel		Reden
Toepassing van dikkere glasbladen		Meer massa geeft meer traagheid en een hogere weerstand tegen buiging
Het verbreden van de spouw		Een dikker 'luchtkussen' reduceert de geluidstransmissie
Toepassing van glasbladen met verschillende dikte		Verskillende resonantie frequenties
Het vullen van de spouw met een zwaar gas		Meer massa reduceert de geluidstransmissie
Toepassing van zo mogelijk vierkante glasbladen		Reductie van de trillingscapaciteit
Elastische bevestiging van de glas-units		Reductie van de geluidstransmissie

5.78 Maatregelen ter bevordering van de geluidswerende eigenschappen van glas.

glaslatten voorkomen. Daarnaast kunnen ze van materialen zijn gemaakt die bij verhitting opschuimen en de sponningen vullen. Sommige van deze materialen zetten zo sterk uit dat ze het glas als het ware vastdrukken om uitzakking te voorkomen.

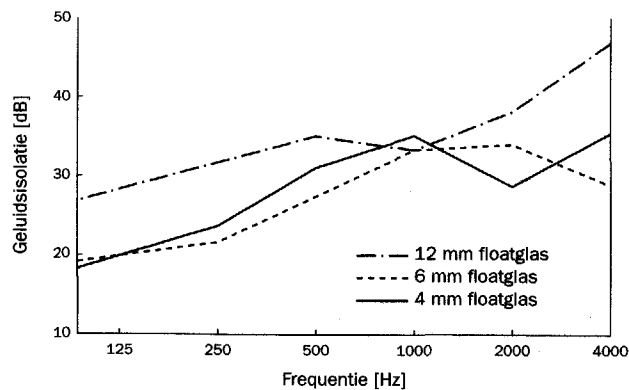
- Kozijn. Om voldoende brandwerendheid van de gevel te bereiken moet het kozijn waarin het glas is opgenomen een even grote brandwerendheid bezitten als het toegepaste glasprodukt. Het kozijn kan hiervoor thermisch onderbroken worden met een brandvertragende isolatiestrip.

De brandwerendeisen van gebouwcomponenten zijn vastgelegd in het Bouwbesluit 1992. In NEN 6068 zijn eisen met betrekking tot de brandwerendheid van buitengevels opgenomen.

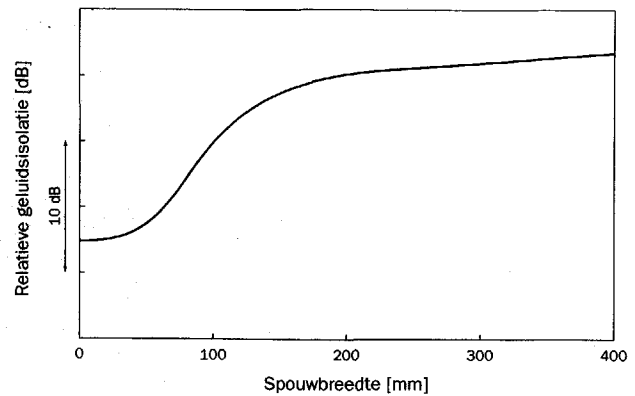
## GELUID

Met name de laatste jaren is de aandacht voor geluidsisolatie sterk toegenomen. Een van de kenmerken van de moderne tijd is de toename van het lawaai. Veel van deze geluiden, zoals van auto, trein en luchtverkeer maar ook van interne apparatuur, zijn hinderlijk. Niet alleen zijn pogingen ondernomen het geluid bij de bron aan te pakken door bijvoorbeeld betere geluidbeperkende ontwerpen, maar er is vooral veel onderzoek gedaan naar de reactie van mensen op lawaai in hun omgeving. Teveel lawaai is vermoeiend en kan zelfs de gezondheid schaden.

Geluid wordt opgevat als trillingen die voor het menselijk oor waarneembaar zijn. Er zijn verschillende soorten geluid. We kennen bijvoorbeeld contactgeluid, dat afkomstig is van een bron die rechtstreeks een constructie in trilling brengt (bijvoorbeeld boren of voetstappen), waarna die constructie de lucht weer in trilling brengt. Daarnaast kennen we het zogenaamde luchtgeluid. Luchtgeluid ontstaat wanneer een bepaalde bron trillingen uitzendt die de luchtdruk verstoren en op die manier de in de lucht aanwezige moleculen doen trillen. Door dat trillen ontstaan er meer luchtdrukvariaties. Worden deze drukvariaties door het oor opgevangen dan beweegt het trommelvlies, waardoor de gehoorzenuw geprikkeld wordt en wij de drukvariaties als geluid ervaren. De belangrijkste parameters van geluid zijn de frequentie, de golflengte en het geluidsdrukkniveau.



5.79 Invloed van de glasdikte op de geluidsisolatie.



5.80 Invloed van de spouwbreedte op de relatieve geluidsisolatie [dB].

**Geluidsisolatie van glas** Wanneer een geluidsgolf een gevel treft wordt een deel van de geluidsgolf weerkaatst, een deel geabsorbeerd en een deel doorgelaten. De weerkaatsing hangt af van de toestand van het oppervlak, ruw of glad, de stijfheid van het vlak en de hoek van inval. De absorptie hangt af van de elasticiteit en de compactheid, en de doorlating van de stijfheid en de massa van de gevelmaterialen en de dichtheid van de constructie. Het gevoeligste punt wat de geluidsisolatie van een gevel betreft ligt meestal bij de ramen. Dit is voornamelijk te wijten aan de kieren rond de kozijnen en aan het feit dat de geluidsisolatie van gewoon enkelglas bijzonder laag is. (fig. 5.78)

**Luchtgeluidsisolatie van enkelglas** Volgens de massawet draagt de dikte van het glas in belangrijke mate bij aan de geluidbeheersing. (fig. 5.79) Deze wet stelt dat theoretisch gesproken bij een verdubbeling van de massa een verbetering van 6 dB optreedt. In de praktijk blijken deze waarden een stuk lager te liggen omdat er allerlei neveneffecten optreden in de vorm van resonanties, die een lokale verslechtering van de geluidsisolatie tot gevolg hebben.

Er zijn twee vormen van resonantie. Een ervan is de zogenaamde resonantiefrequentie, die samenhangt met de dikte en grootte van de beglazing en de aard van de sponning. De resonantiefrequentie is de frequentie van het vlak zelf en is voor glas vrij laag; tussen de 20 en 100 Hz. Doordat het vlak bij deze frequentie gemakkelijk in trilling raakt gaat de geluidsisolatie sterk achteruit. Door de glasbladen zoveel mogelijk vierkant uit te voeren wordt dit effect gereduceerd.

Daarnaast kennen we de coïncidentiefrequentie, die ontstaat doordat een geluidsgolf het oppervlak

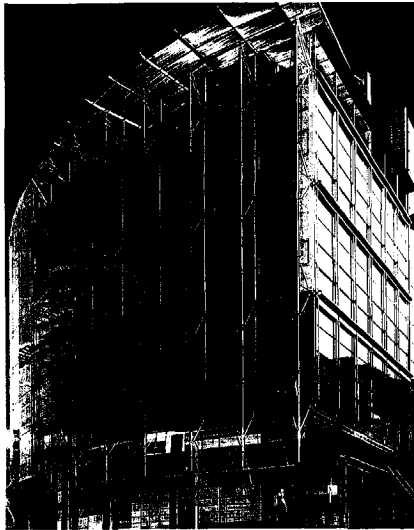
onder een bepaalde hoek treft en zo een golvende of slangvormige beweging veroorzaakt. Deze coïncidentie treedt meer op in de midden- en hogere frequenties, en hangt nauw samen met de dikte van het glasblad.

**Luchtgeluidsisolatie van gelamineerd glas** Een mogelijkheid om de karakteristieke resonantiefrequenties te veranderen is het lamineren van de glasplaat met tussenlagen die een gedeelte van de geluidsenergie absorberen. Deze tussenlagen kunnen bijvoorbeeld gemaakt zijn van polymethylbutyral of methacrylaten, maar de beste geluidsisolatie kan men bereiken door het gebruik van epoxygiethars. Het gietharslaminaat heeft doorgaans een dikte van 1,3 - 2,0 mm. In het algemeen geldt dat hoe zachter het materiaal is hoe groter de geluidabsorptie.

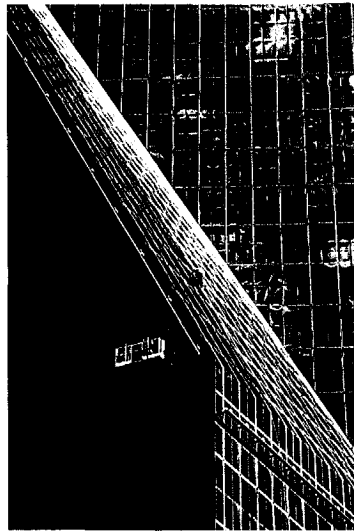
**Luchtgeluidsisolatie van dubbelglas** Ook bij dubbelglas kennen we twee vormen van resonantie. Een ervan wordt veroorzaakt door het tegelijk en identiek trillen van de glasbladen, de andere vorm ontstaat doordat geluidsgolven in de spouw weerkaatsen tegen de glasbladen en de holte als het ware doen trillen: spouwresonantie. Spouwresonanties treden meestal op bij zeer hoge frequenties.

Wanneer twee glasbladen van verschillende diktes worden toegepast zijn er geluidstechnische voordelen omdat het ene glasblad resonanceert terwijl het andere niet in trilling raakt en zo een buffer vormt. Hoge akoestische isolatie wordt bereikt door het gelijktijdig toepassen van gelamineerd glas en een asymmetrische constructie. Hierbij maakt de positionering van de glasbladen ten opzichte van de geluidsbron niet uit. Een andere manier om de geluidwering van dubbelglas





5.81 Winkelpand met een dubbele gevel, Zürich, 1993-1994.  
architect: T. Hotz AG.



5.82 Glas moet planmatig gereinigd worden.

te verbeteren is de toepassing van een speciaal gas in de spouw. Zo'n gas is bijvoorbeeld het zware gas zwavelhexafluoride, SF<sub>6</sub>.

De meest effectieve geluidsisolatie die men kan verkrijgen ontstaat door het vergroten van de spouw. Het vergroten van de spouwbreedte met een factor twee heeft globaal genomen een geluidsreductie van 3 dB tot gevolg. (fig. 5.80) Deze spouwbreedte mag echter niet onbepaald verhoogd worden. In een brede spouw kunnen luchtbewegingen ontstaan die de warmte-isolatie van het raam negatief beïnvloeden. De grens ligt ongeveer bij 20 mm. Een mogelijkheid om toch een brede spouw te maken en luchtverwelingen te voorkomen is het toepassen van folies in de spouw die deze opdelen in kleinere compartimenten en die tevens een functie kunnen vervullen op warmtetechnisch gebied. In een dubbele gevel met bijvoorbeeld enkelglas aan de buitenzijde, een zeer brede spouwruijme en dubbelglas aan de binnenzijde, verkrijgt men de hoogste geluidsisolatiewaarden. (fig. 5.81)

Er zijn uiteraard meer factoren van invloed op de geluidwering. Al eerder genoemd is de bevestiging van het glas. Door het glas zo min mogelijk te verbinden met de constructie wordt voorkomen dat hinderlijke trillingen uit de constructie overgaan op het glas. Gunstig is bijvoorbeeld 'met kit verlijmd beglazing' (structural sealant glazing) of het gebruik van neopreen gaskets. Andere factoren van invloed zijn de oppervlaktemaat van het glas, de afstand van het glas tot de geluidsbron, de hoogte waarop het glas wordt toegepast en mogelijke effecten van obstakels.

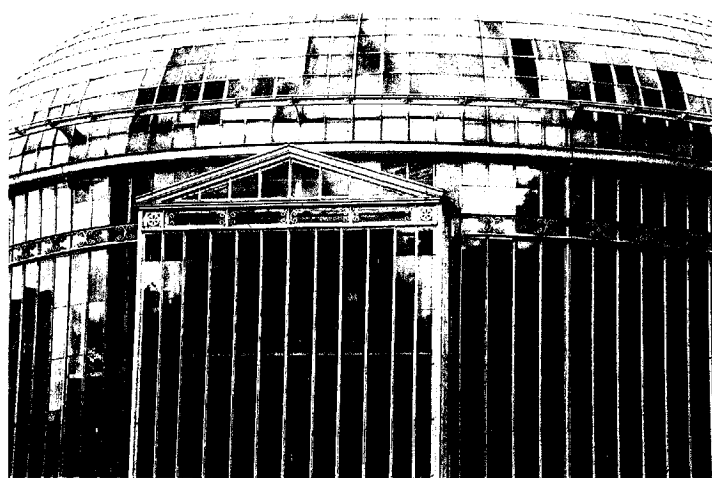
## DUURZAAMHEID

**G**las is onder normale omstandigheden een uiterst duurzaam materiaal. Eeuwenoud glas is vaak nog in perfecte staat en de huidige glassoorten zijn nog beter resistent tegen invloeden van buitenaf.

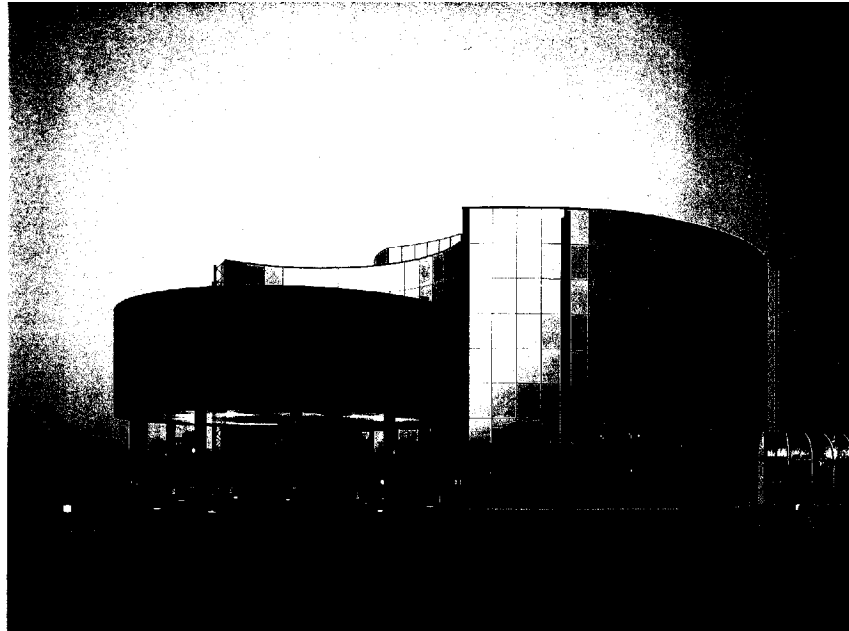
**Aantasting** Na plaatsing wordt glas blootgesteld aan vele vormen van vervuiling en belasting. Hierdoor kan het glas aangetast worden. Zonnestraling, atmosferische vervuilers, cement, zand, grind, zout en hemelwater vormen de belangrijkste groep. Doordat stoffen uit de atmosfeer zich mengen met hemelwater ontstaan oplossingen die ondermeer CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> en H<sub>2</sub>S bevatten. Met name in industriegebieden kunnen hoge concentraties voorkomen.

Floatglas is praktisch resistent tegen de inwerking van water, hoewel er een uitloging van alkali-ionen plaatsvindt (alkaliën zijn hydroxyden van alkalimetalen, ontstaan door de inwerking van water op deze metalen). Deze uitloging is normaal gesproken zeer gering, zodat hiervan geen schade ondervonden wordt. Langdurige condensatie op het glas moet echter vermeden worden. Regelmatig wassen is nodig. (fig. 5.82) Wanneer water langdurig op het glas blijft staan, en er dus een grotere uitloging plaatsvindt, blijven de alkaliën na verdamping van het water achter op het glas. Bij een nieuwe regenbui lossen deze moleculen op en vindt er een sterke basische aanval op het glas plaats. Hierdoor kan het glas gaan verweren. Bij de verwerking van glas in een gebouw dient contact met alkalische stoffen, zoals cement, te worden vermeden.

Verwerking van glas wordt gekenmerkt door olieach-



5.83 Olieachtige verkleuring van glas in het kassencomplex in Laken, België.



Hoofdkantoor Nucletron Engineering b.v., Veenendaal, 1990.  
architect: D. van de Hoef & A. Bronsvort

tige verkleuringen.[9] Deze verkleuring ontstaat doordat schilferlaagjes het licht verschillend interfereren. Het proces is niet omkeerbaar en vervanging is veelal nodig. (fig. 5.83)

De gevoeligheid van glas voor aantasting wordt in hoge mate beïnvloed door de chemische structuur. Hoe willekeuriger de glasstructuur is, hoe duurzamer het materiaal.[14] De chemische structuur van glas kan veranderd worden door het toevoegen van oxiden. Door aluminiumoxide toe te voegen wordt de weersbestendigheid van het glas verhoogd.

**Oppervlaktebehandeling** Op microscopisch niveau is de structuur van het glasoppervlak tamelijk ruw. Hierdoor kunnen schadelijke stoffen makkelijk inwerken en blijven kleine vuildeeltjes sneller achter op het glas. Het glas kan behandeld worden met een speciale coating. Dit is een transparante, microdunne laag kunststof, die zich bindt met de oppervlaktemoleculen van het glas. Het aanbrengen kan vooraf in de fabriek geschieden maar ook bij gevels van bestaande gebouwen. De laag vormt een buffer tussen het glas en de aantastende elementen van buitenaf; het geconditioneerde oppervlak is gladder, wordt hydrofoob en apolair en is daardoor minder onderhoudsgevoelig. De levensduur van een dergelijke bescherm laag is 3 tot 5 jaar. Daarna dient een nieuwe laag te worden aangebracht. De bescherm laag mag niet worden toegepast indien op zijde 1 een coating is aangebracht. Wanneer wel een bescherm laag op zijde 1 wordt aangebracht, dient men er bij plaatsing rekening mee te houden dat hierop geen glazuigers mogen worden bevestigd; door de bescherm laag kunnen de zuigers loslaten.

**Glasopslag** Glas kan tijdens de opslag beschadigd worden:

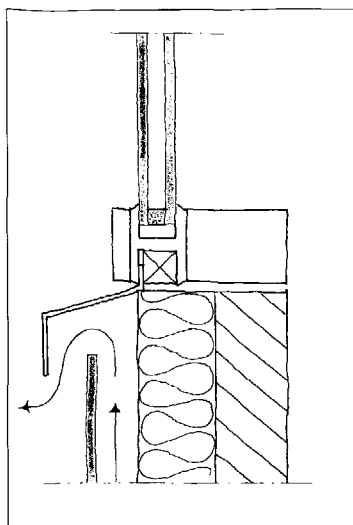
- doordat water langdurig op het glas blijft staan;
- doordat condensatie optreedt tussen de afzonderlijke glasbladen;
- onder invloed van ongeschikte verpakkings- en beschermmaterialen.

Een goede opslag moet aan twee voorwaarden voldoen: het glas moet droog staan en de opslagruimte mag niet te vochtig zijn. Daarnaast moet voorkomen worden dat het glas tijdens het transport nat wordt.

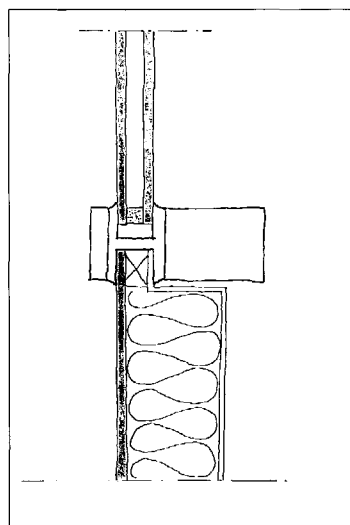
Tijdens de opslag dienen de glasbladen te worden gescheiden door een tussenmateriaal, bijvoorbeeld kurkplakkers. Door hiervoor een materiaal te kiezen met een wat lagere pH-waarde voorkomt men uitloging van alkalische elementen wanneer het glas toch vochtig wordt.

## GLAS ALS BORSTWERING

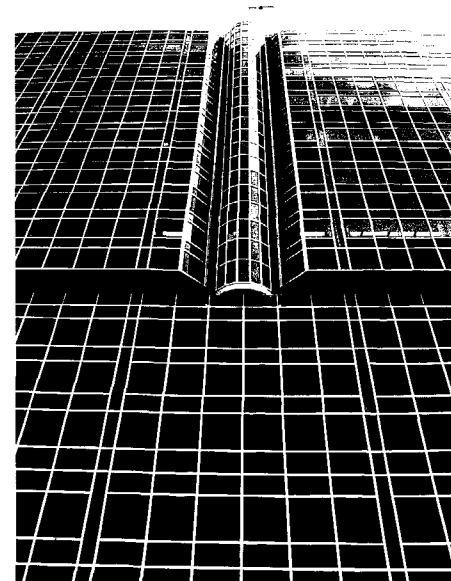
In de jaren tachtig is de geheel glazen buitengevel bijzonder populair geworden. In veel gevallen werd geen kleurverschil gewenst tussen het doorkijkgedeelte en het borstweringsgedeelte. (fig. 5.85) Door middel van het kleuren van glas werd getracht de verschillen tot een minimum te beperken. De huidige technieken hebben dit zeer goed mogelijk gemaakt hoewel kleine kleurverschillen ten gevolge van belichting, weersgesteldheid en de diepte van de vertrekken altijd mogelijk zijn. Een probleem van de volledig glazen gevel kan worden gevormd door de overmatige opwarming van de glazen borstweringspanelen. Dit wordt veroorzaakt doordat de ruimte achter



5.86 Koude gevel.



5.87 Warme gevel.



5.88 Vliesgevel, Atriumgebouw, Amsterdam.  
architecten: Architectenbureau Ellerman Lucas  
Van Vugt

de borstweringspanelen door zoninstraling sterk opwarmt zonder dat de warmte weg kan. Maatregelen om dit probleem te beperken richten zich op het ventileren van de spouw en het behandelen van het borstweringsglas met zonreflecterende coatings. Ventilatie van de spouw is tevens nodig om condensvorming achter het glas te voorkomen. Langdurige blootstelling aan condens kan aanzienlijke schade veroorzaken aan het glas en aan het isolatiemateriaal. In principe zijn er twee typen glazen gevels mogelijk: de koude gevel en de warme gevel.

**Koude gevel** Bij een koude gevel heeft de glasplaat die wordt toegepast in de borstwering, nagenoeg geen invloed op de thermische weerstand van de constructie. Het glasblad hangt als het ware voor de thermische isolatielaag en vormt hiervoor de 'regenjas'. (fig. 5.86) De aldus ontstane spouw neemt de temperatuur aan van de buitenlucht. Ventilatie van deze spouw is noodzakelijk om condensvorming en ophoping van warmte te voorkomen. Wanneer er kans bestaat op thermische spanningen kan het glas half worden voorgespannen zodat thermische breuk wordt uitgesloten.

**Warme gevel** Bij dit type gevel vormt de glasplaat een onderdeel van de borstwering. De plaat levert een wezenlijk aandeel in de thermische isolatie van de gevel. (fig. 5.87) Het toegepaste glas moet daarom altijd in voorgespannen vorm uitgevoerd worden. Het glas wordt verbonden met een isolatiemateriaal en de 'binnenbak', zodat een sandwichpaneel ontstaat. Deze 'binnenbak' wordt vaak gemaakt van aluminium of staal en vormt bij een glasfaçade tevens de binnenafwerking.

**Borstweringspanelen** Zowel bij koude als warme gevels is het van belang de buitenste ruiten van de doorzichtigbeglazing en het borstweringspaneel in één vlak te leggen om schijnbare kleurverschillen zoveel mogelijk te beperken. De borstweringspanelen kunnen op verschillende manieren van een gekleurde laag worden voorzien: door emaileren, een kunststoffolie of een shadow-box-constructie. (fig. 5.88)

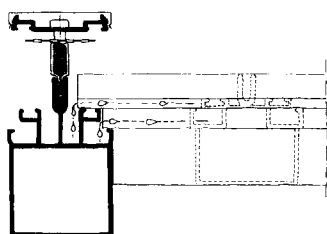
**Emaileren** Door het aanbrengen van een emailaag op het borstweringsglas kan een zeer egaal gekleurde, ondoorzichtige glasplaat verkregen worden. Tijdens het emaileren wordt het glas half voorgespannen of volledig voorgespannen en maatregelen ter voorkoming van thermische breuk hoeven niet meer genomen te worden. Er zijn verschillende verwerkingsmogelijkheden:

- Email op blank of gekleurd glas. De geëmailleerde zijde wordt op positie 2 geplaatst. De emailaag is leverbaar in zogenaamde standaardkleuren en in nagenoeg alle RAL-kleuren.
- Email op pyrolitisch gecoat glas. De email zit op de niet-gecoate zijde en wordt op positie 2 geplaatst. Ten opzichte van de eerste variant vertoont een dergelijk paneel een hogere lichtreflectie.
- Email in een dubbelglassysteem waarbij op positie 2 dezelfde coating wordt aangebracht als die van de doorzichtigbeglazing, en op positie 4 de emailaag.

**Kunststof folie** Een glaspaneel kan ondoorzichtig worden gemaakt met een kunststof laag, de zogenaamde opacifier (opacite = ondoorschijnend). Deze laag moet bij enkelglas altijd worden toegepast op positie 2. Er zijn drie soorten opacifiers:



5.89 De stationsoverkapping is dakpansgewijs beglaasd. De afdichting tussen de 10 mm dikke geharde glasbladen wordt gewaarborgd door neopreen-profieltjes, Waterloo International Station, Londen, 1994.  
architect: Nicholas Grimshaw and Partners



5.90 Waterafvoer in horizontale regels.

- Zelfklevende zwarte folie van polyetheen of polyester. Beide folies zijn gevoelig voor vocht.
- Een verfbare en uithardende zwarte opacifier-pasta.
- Een gemoffelde laklaag (tegenwoordig het meest toegepast).

Bij een warme gevel moet voorkomen worden dat het isolatiemateriaal volledig verkleefd met de opacifier. Bij voorkeur moet de isolatie los worden ingeklemd of puntsgewijs worden verbonden met het glas, bijvoorbeeld door middel van een siliconenkit.

**Shadow box** Bij een shadow box-constructie wordt het borstweringglas geplaatst voor een donkergekleurde achterplaat of folie. Hierbij wordt een luchtspouw gemaakt die zwak geventileerd dient te worden omdat de randen van een dergelijke constructie nooit hermetisch zijn afgesloten. Ventilatieopeningen moeten worden afgedekt met insectengaas.

Het borstweringspaneel kan zowel in dubbelglas als in enkelglas worden uitgevoerd. Dit wordt beïnvloed door de doorzichtbeglazing, de gebruikte coating en de gewenste thermische isolatie. Bij borstweringspanelen met dubbelglas moet voorkomen worden dat de lijmsoort waarmee het paneel wordt samenesteld niet met de randverbinding van het dubbelglas in aanraking komt.

Het isolatiemateriaal dient voldoende stijfheid te hebben om uitzakking te voorkomen. Uitzakking is zichtbaar en veroorzaakt verstoringen in het gevelbeeld.

## GLAS IN DAKEN

Tot de opvallendste bouwwerken van de negentiende eeuw behoren ondermeer de met glas overdekte passages. Sinds de jaren tachtig zijn de glazen overkappingen weer in de architectuur terug te vinden in de vorm van winkelpassages en atria. Naast de enorme hoeveelheid licht die met schuine en horizontale glasvlakken naar binnen gehaald kan worden en het ruimtelijk effect dat ontstaat speelt ook het benutten van duurzame zonnenergie een grote rol.

De schuine glasgevel of het horizontale glazen dak bevinden zich wat betreft normering en benaming in een ongedefinieerd gebied. De Stichting Bouwresearch heeft naar aanleiding van het ontbreken van normen, richtlijnen en literatuur een studie laten uitvoeren naar schuine gevelconstructies. [5.37] De kwaliteit van deze studie verdient optimalisering. Hoewel de term schuine glasgevels geprefereert wordt vindt men de term glasdaken acceptabel mits de hoek van het glasdak ten opzichte van het horizontale vlak niet groter is dan 30 graden en de daken als niet-belooptbaar worden beschouwd.

De prestaties waaraan uitwendige scheidingsconstructies, en dus ook glasdaken en schuine glasgevels, moeten voldoen zijn vastgelegd in het Bouwbesluit. Naast deze eisen worden door de SBR aanwijzingen gegeven voor schuine glasgevels en glasdaken die onder andere zijn ontleend aan de VMRG Kwaliteitseisen en Adviezen 1993.

**Dimensionering; sterkte en stijfheid** Voor het bepalen van de winddruk op schuine glasgevels bij

het berekenen van de sterkte moet worden uitgegaan van de in NEN 6702 gegeven stuwdrukwaarden. De gevelvulling moet daarnaast eventueel bestand zijn tegen de geformuleerde lijn- en stootbelasting. De gevel kan extra belast worden door zonwering, glazenwasinstallaties en dergelijke. Op niet-beloopbare daken, zoals glasdaken, hoeven volgens dezelfde norm bepaalde belastingen niet in rekening te worden gebracht, zoals stoot- en lijnbelasting, puntlasten en veranderlijke belasting.

De stijfheidseisen van gevelconstructies worden bepaald door de windbelasting die, volgens NEN 6702, 0,75 maal de maximale windbelasting is. De optredende doorbuiging mag niet leiden tot het overschrijden van de maximale doorbuiging van glas zoals vastgelegd in NEN 2608. Aan deze normen kunnen tevens de rekenregels ter bepaling van de glasdikte worden ontleend. De glasdikte wordt bepaald door het type glas, aan 2 zijden of aan 4 zijden vrij opgelegd, de belasting op het glas, de overspanning en de hellingshoek.

**Veiligheid** De keuze van de toegepaste glaspanelen dient er op gericht te zijn de kans op lichamelijk letsel tot een minimum te beperken. Voor gebouwen in veiligheidsklasse 2, dat wil zeggen gebouwen waarbij de onderliggende ruimten regelmatig worden betreden, betekent dat dat het glas splinterbindende eigenschappen moet bezitten. Dat wil zeggen dat het glas na breuk bijeen wordt gehouden door een folie of een stalen draadnet. Gelamineerd glas en draadglas zijn in principe geschikt voor horizontale beglazing. Wanneer dubbelglas wordt toegepast, wordt het buitenblad normalerwijze uit gewoon floatglas of voorgespannen glas vervaardigd en het binnenblad uit een veiligheidsglassoort. Wanneer voor dit binnenblad gewapend glas wordt gebruikt wordt de kans op glasbreuk verhoogd door thermische spanningen en mogelijke corrosie van het draadnet. Voor het binnenblad van meervoudige beglazing kunnen tevens kunststofpanelen worden gebruikt.

**Brand** De brandwerendheid van gevels moet voldoen aan de eisen conform het Bouwbesluit. Voor schuine glasgevels en glasdaken bestaan geen aanvullende brandveiligheidseisen. Het is van belang om voldoende aandacht te besteden aan de brandeigenschappen van het glas en het toegepaste beglazingssysteem. Meestal moet een aanzienlijke hoeveelheid rookgasluiken in de glasdaken worden opgenomen.

**Systemen** De waterdichtheid van een glasdak of een schuine glasgevel wordt bepaald door het beglazingssysteem, de details en de montage. Algemeen wordt aangenomen dat enig water door de buitenaf-

dichting kan en mag dringen. In de loop van de tijd zal, ten gevolge van veroudering, het proces toenemen. Het is echter ook mogelijk om een volledig waterdichte schil te maken. Er zijn verschillende bevestigingssystemen voor horizontale en schuine beglazing ontwikkeld. We kennen ondermeer:

- open beglazing;
- het patroentroedensysteem;
- structurele beglazing;
- constructieve beglazing.

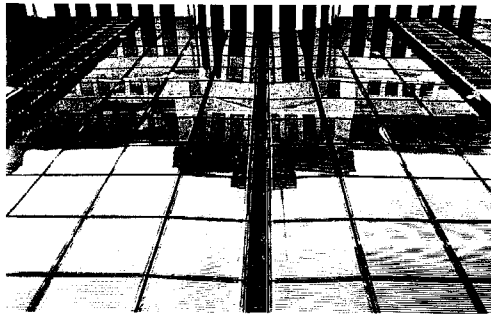
Een **open beglazingssysteem** kan worden gemaakt door de glasbladen dakpansgewijs te overlappen (kasbouw). (fig. 5.89) Door een zekere hellingshoek toe te passen ontstaat een goede afwatering. De glasbladen worden op onderlinge afstand gehouden door neopreen profieltjes.

Bij het gewoonlijk niet geïsoleerde **patroentroedensysteem** heeft het profiel naast een dragende functie ook een waterafvoerende functie en bestaat meestal uit stalen of aluminium I-/kokerprofielen. De gewenste afmetingen van de waterafvoer hangen af van het totale geveloppervlak, de hellingshoek en de waterdoorlaat van de buitenafdichting. De regels moeten ongehinderd kunnen afwateren in de stijlen. (fig. 5.90) De regels mogen loodrecht op het gevelvlak niet te ver doorbuigen om waterophoping te voorkomen.

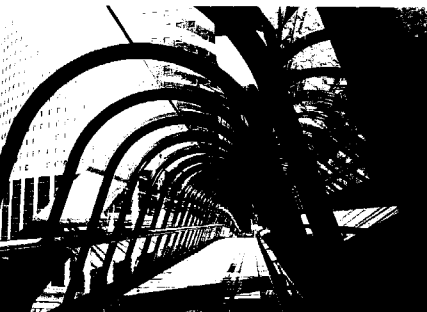
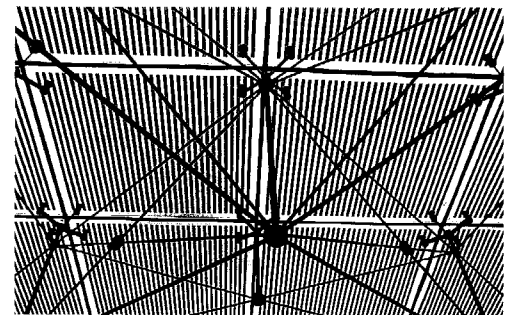
**Structurele beglazing** kan worden toegepast wanneer men aan de buitenzijde geen stijl- en regelwerk preferert. De enkelvoudige of isolerende glas-units worden aan de binnenzijde, met behulp van siliconenkit, rondom verbonden met een aluminium frame. Dit frame wordt bevestigd op een onderconstructie. De naad tussen de glaspanelen moet met rubber of kit waterkerend worden uitgevoerd en vormt de primaire 'weatherseal'. Aanbevolen wordt om een secundaire dichting toe te passen in de vorm van een waterafvoerende gootje. Door het gladde dakoppervlak vindt met een dergelijk systeem een ideale afwatering plaats. In daken wordt structurele beglazing veelal slechts tweezijdig toegepast. De horizontale voegen worden dan met structurele siliconenkit afgewerkt, de verticale voegen worden afgedekt met een aluminium afdekljst.

Met behulp van **constructieve beglazing** kan een zeer transparant dakvlak verkregen worden. Afhankelijk van het systeem kan een enkelvoudige of tweevoudige waterkering gemaakt worden met een zeer glad dakoppervlak. Er zijn verschillende mogelijkheden om het glas constructief te gebruiken. Gewoonlijk wordt voor de glasoort een gelamineerd en gehard type gebruikt. (fig. 5.91) Zie tevens de paragraaf constructieve beglazing in hoofdstuk 3 Façadesystemen.

Het wordt voor klassieke daken afgeraden om het glasdak onder een hellingshoek kleiner dan 10 graden te leggen in verband met mogelijke waterophoping en



5.91 *Blauw in-de-massa-gekleurd glas met een gestreepte screening op positie 2 toegepast in een constructief dak beglazingssysteem. Het onderpaneel van de isolerende glaseenheid is vervaardigd uit gelamineerd glas. Rechtbank, Maastricht, 1994.*



5.92 A+B *Gebogen glas, Japan Bridge, Japan, Kisho Kurokawa.*

lekkage. Een glasdak is zelfreinigend en onderhouds-arm vanaf een hoek van 30 graden. Een horizontaal dak moet een zodanige helling hebben dat bij het doorzakken van de bovenplaat toch hemelwaterafvoer gewaarborgd is. Het Bouwbesluit spreekt van minimaal 1,5 graden.

De thiokol die bij gewone dubbele beglazing wordt gebruikt voor de dichtingsvoeg is zeer gevoelig voor UV-straling. De beglazing moet daarom aan vier zijden in de sponning worden gebracht, anders moet isolerende beglazing met een siliconenvoegafwerking besteld worden.

**Zonbeheersing** Een van de grootste problemen van glasoverkapt ruimten is de kans op oververhitting. Ten behoeve van de zonbeheersing kan het glas daarom voorzien worden van een zonreflecterende coating die tevens voor een verstrooiing van het licht kan zorgen. De ZTA-waarde, evenals de kans op verblinding, wordt sterk verlaagd. Voor het atriumglasdak kan thermotroop glas worden gebruikt. Wanneer een bepaalde temperatuur in het atrium bereikt wordt schakelt het glas over van doorzichtig naar melkachtig wit. De omschakelingstemperatuur kan bepaald worden tussen de 20 en 40 graden.

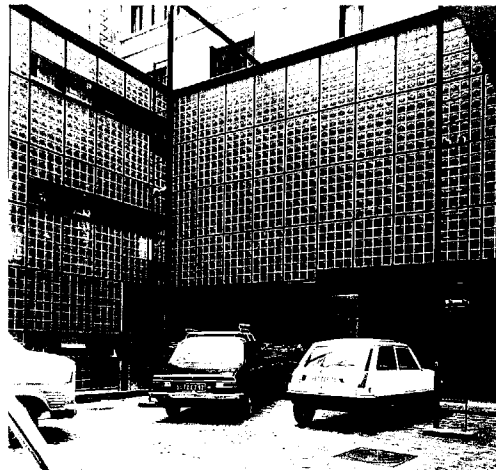
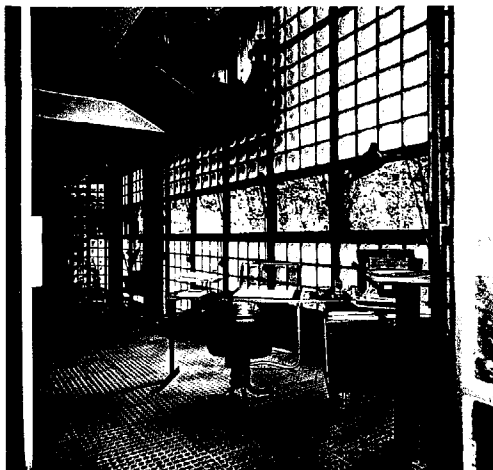
In het glasdak kunnen lichtsturende elementen worden opgenomen zoals hologrammen en prisma's. Daarnaast kan het glas gedeeltelijk voorzien worden van fotovoltaïsche cellen. Deze cellen kunnen bijvoorbeeld worden opgenomen in een glaslaminaat. De buitenste glasplaat bestaat hierbij uit ijzeroxide-arm glas zodat zoveel mogelijk straling wordt doorgelaten.

## GLASPRODUKTEN

**Gebogen glas** Mede door de hoge kostprijs van gebogen glas worden de meeste gekromde daken uitgevoerd in een harde transparante kunststof. Hoewel de prestaties van kunststof in het algemeen goed zijn, is glas toch te prefereren omdat het op de lange duur mooier blijft en duurzamer is. (fig. 5.92)

Gebogen glas kan zowel in geharde als in ongeharde toestand worden geproduceerd. Nadat de glasplaat de nodige bewerkingen heeft ondergaan (snijden, boren), wordt hij horizontaal in de oven gebracht en verhit tot circa 650 °C. Bij dit verwekingspunt neemt het glas geleidelijk de vorm aan van de mal met de gewenste krommingen. Dan wordt het glas afgekoeld. Bij het voorspannen gaat het koelen geforceerd snel, in het andere geval gebeurt dit langzaam om het glas spanningvrij te houden. Door het buigen van de ruit kunnen geringe, optische vertekeningen en soms ook kleine vlekjes niet voorkomen worden. Bij een andere buigtechniek wordt gebruik gemaakt van verhitte malvormen, die het glas in de gewenste vorm drukken. Bij beide technieken kunnen meerdere glaslagen tegelijk gebogen worden.

Volgens deze methoden kunnen hoeken van 90 graden gebogen worden. Daarnaast kunnen asymmetrische krommingen en S-bochten gemaakt worden. De afmetingen hangen af van de grootte van de oven, en verschillen per fabrikant. De ontwikkelingen op dit gebied zijn voorlopig nog niet afgelopen. De prijzen zullen echter nog moeten dalen. Een gebogen glasplaat was in 1992 nog 9 keer zo duur als een vlakke plaat van dezelfde afmetingen.[5.9]



5.93 *Maison de Verre, Parijs, 1932.*  
architecten: Pierre Charreau en Bernard Bijvoet

Een alternatief voor het dure thermisch vervormen van glas is het zogenaamde koud-gebogen glas. Dit zijn dunne, meestal chemisch geharde, vlakke glasplaten die op het werk in de aluminium profielen worden gebogen. Er is slechts een geringe buigradius mogelijk. Wanneer een dubbele uitvoering gebruikt wordt kan men, uit oogpunt van veiligheid, voor het binnenblad acrylaat of polycarbonaat gebruiken. Dit biedt tevens de mogelijkheid voor variaties in kleur en licht-doorlatendheid.

**Glazen bouwstenen** Glazen bouwstenen bestaan al vanaf het begin van onze eeuw. Een zeer spraakmakende toepassing vond plaats in het woonhuis van een arts in Parijs, *Maison de Verre* (1932). (fig. 5.93) Het is voor architecten een zeer geliefd bouwelement en wordt sinds de tachtiger jaren weer op grote schaal in de architectuur verwerkt.

Er zijn verschillende typen glazen bouwstenen. De bekendste is de holle uitvoering. Bij een temperatuur van 1200 °C wordt glas in een metalen mal gebracht waarna het met een tegenvorm geperst wordt. De zo verkregen halve glasstenen worden met een speciale techniek aan elkaar gesmolten. Doordat de hete lucht in de glazen bouwsteen afkoelt ontstaat er in de spouw onderdruk, zodat condensvorming haast niet mogelijk is. De buitenzijde van de steen wordt meestal glad uitgevoerd en de binnenzijde, indien gewenst, geprofileerd. Hierdoor treedt een betere verstrooiing van het licht op en kun je er minder goed doorheen kijken. De zijkanten van de bouwsteen zijn van een profiel voorzien zodat er een betere hechting met het voegmateriaal kan plaatsvinden. De stenen laten ongeveer 75% van het opvallende licht door. Glazen

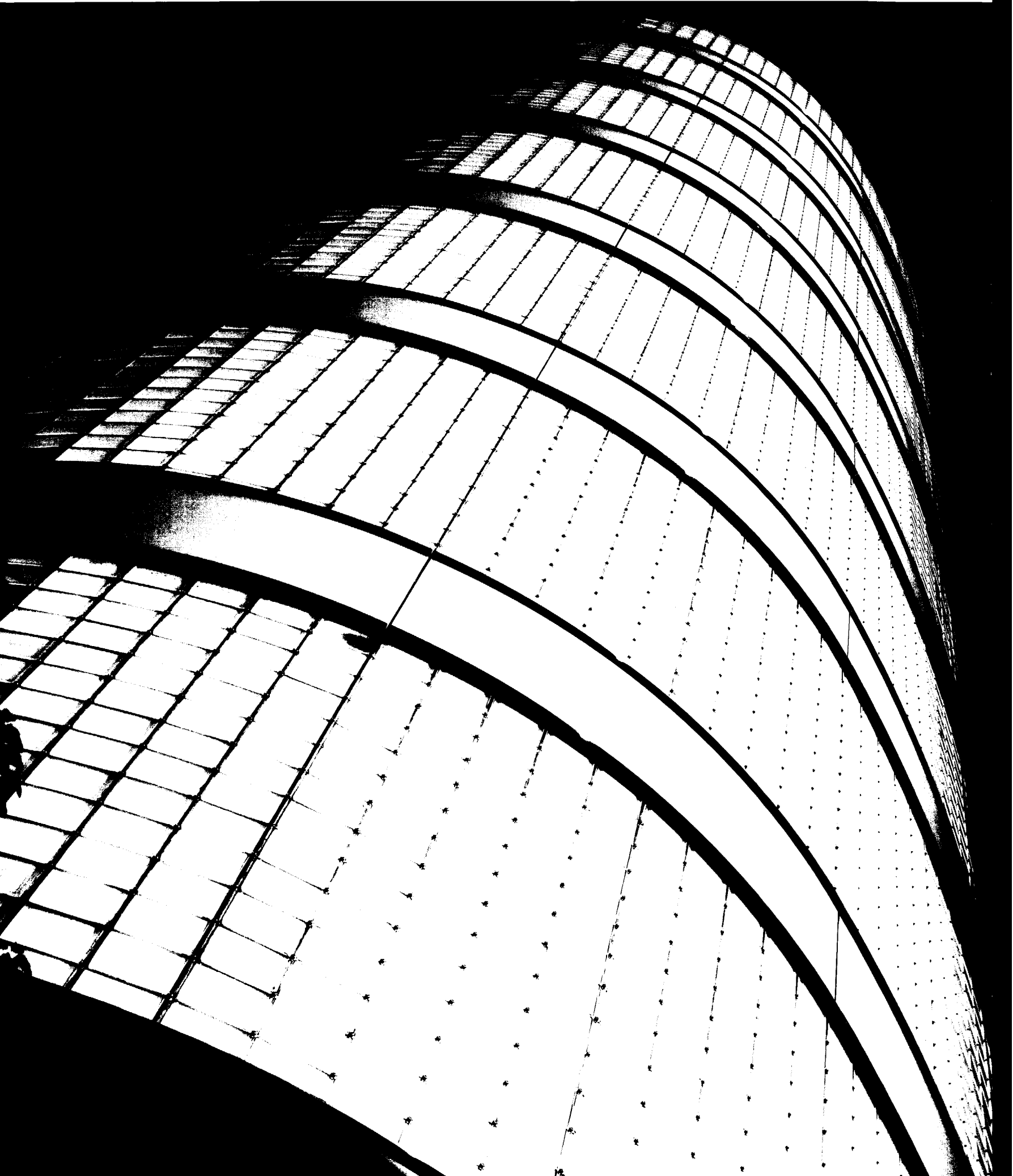
bouwstenen kunnen op verschillende manieren tot een vlak samengesteld worden:

- met behulp van cementmortel (hiermee kan een U-waarde van 3,2 W/m<sup>2</sup> K bereikt worden);
- met behulp van lichte beton (hiermee kan een U-waarde van 2,9 W/m<sup>2</sup> K bereikt worden);
- met behulp van kit en een speciaal frame (hiermee kan een U-waarde van 2,8 W/m<sup>2</sup> K bereikt worden).

Daarnaast kunnen de stenen in prefabpanelen aangevoerd worden op het werk. De glazen bouwstenen zijn in zeer veel verschillende soorten en maten verkrijgbaar. Afmetingen van lengte en hoogte variëren van 95 tot 300 mm, bij een dikte van 80 tot 100 mm. Zowel vierkante, rechthoekige, ruitvormige als speciale hoekstenen zijn mogelijk. Naast alle mogelijk profileringen hebben de meeste fabrikanten ook een scala aan gekleurde bouwstenen in hun assortiment. De stenen kunnen tot ronde wanden worden samengesteld, waarbij de straal afhangt van de grootte van de steen.

Wanden opgebouwd uit glazen bouwstenen zijn niet-dragend. Bij het ontwerp dient ook altijd rekening te worden gehouden met enige bewegingsvrijheid in verband met thermische zettingen. De brandwerende eigenschappen zijn in het algemeen zeer gunstig maar hangen af van de grootte van de wand en het toegepaste voegstelsel.

Glazen bouwstenen kunnen gebruikt worden als vlakvulling of als vormgevend, architectonisch element. (fig. 5.94) Een voordeel van het gebruik van glazen bouwstenen in een buitenwand is dat als de zon hoog staat, de instraling hiervan gehinderd wordt door de diepe voegmaat van de stenen, en als de zon laag staat deze juist ver in het vertrek kan doordringen.





**Glazen u-profielen** Glazen u-profielen worden gemaakt door een glasplaat in de gewenste vorm te walsen. Deze profielen hebben een hoge weerstand tegen windbelasting en zijn meer geschikt voor grotere overspanningen dan gewoon floatglas. De profielen laten veel licht door en kunnen zowel enkelwandig als dubbelwandig worden uitgevoerd. De U-waarde van enkelwandige profielen is  $5,9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  en van dubbelwandige profielen  $2,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . De warmtebeheersende eigenschappen kunnen verbeterd worden door het profiel aan één zijde te voorzien van een metaalcoating. Een andere mogelijkheid is het vullen van de profielen met translucente isolatie. Naast de gebruikelijke heldere of matte uitvoering kan het profiel versterkt worden met staaldraad: draadprofielglas.

Door middel van plastische en/of elastische kitten worden de glasprofielen geplaatst, al of niet met behulp van kunststof of aluminium profielen. De koppen kunnen naderhand opgevuld worden met schuimpolystyrol. De profielen worden toegepast in gevels, puien en scheidingswanden, zowel horizontaal als verticaal. Bij horizontale plaatsing dienen de profielen op de koppen te worden ondersteund. Stapeling koud op elkaar is niet mogelijk.

**Gekleurd gekristalliseerd glas** Gekleurd gekristalliseerd glas is een bouw materiaal dat gemaakt wordt door kristallisatie van glas. Volgens een speciaal Japans procédé wordt glas vermaald en gesmolten, waarna het wordt ondergedompeld en gegraneleerd. Na droging wordt de stof verhit tot  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$  en ontstaan de naaldachtige structuren die de stof een marmerachtig uiterlijk geven. Gekristalliseerd glas wordt gebruikt als bekledingsmateriaal. Het kan worden toe-

gepast in vloeren, tafelbladen, gevel- of kolombekleding. Afhankelijk van de fabrikant zijn er veel kleurkeuzemogelijkheden. Het materiaal is sterker dan marmer en graniet en heeft uitstekende mechanische en fysische eigenschappen. Bovendien is het materiaal relatief licht ten opzichte van bijvoorbeeld natuursteen. Het gekristalliseerde glas is zeer duurzaam. Naast de gewone vlakke platen kunnen, door het toevoeren van warmte, ook gebogen, convexe en concave platen gemaakt worden. (fig. 5.95) De platen worden aan de niet-zichtzijde voorzien van een glasvezelmat, enerzijds uit veiligheidsoverwegingen en anderzijds, bij prefabgevelcomponenten, als scheidingslaag tussen het glas en de beton. De platen kunnen bevestigd worden met roestvaststalen ankers of met mortel. De maximale grootte is circa  $900 \times 1200 \text{ mm}$  bij een dikte van  $15 \text{ mm}$ .

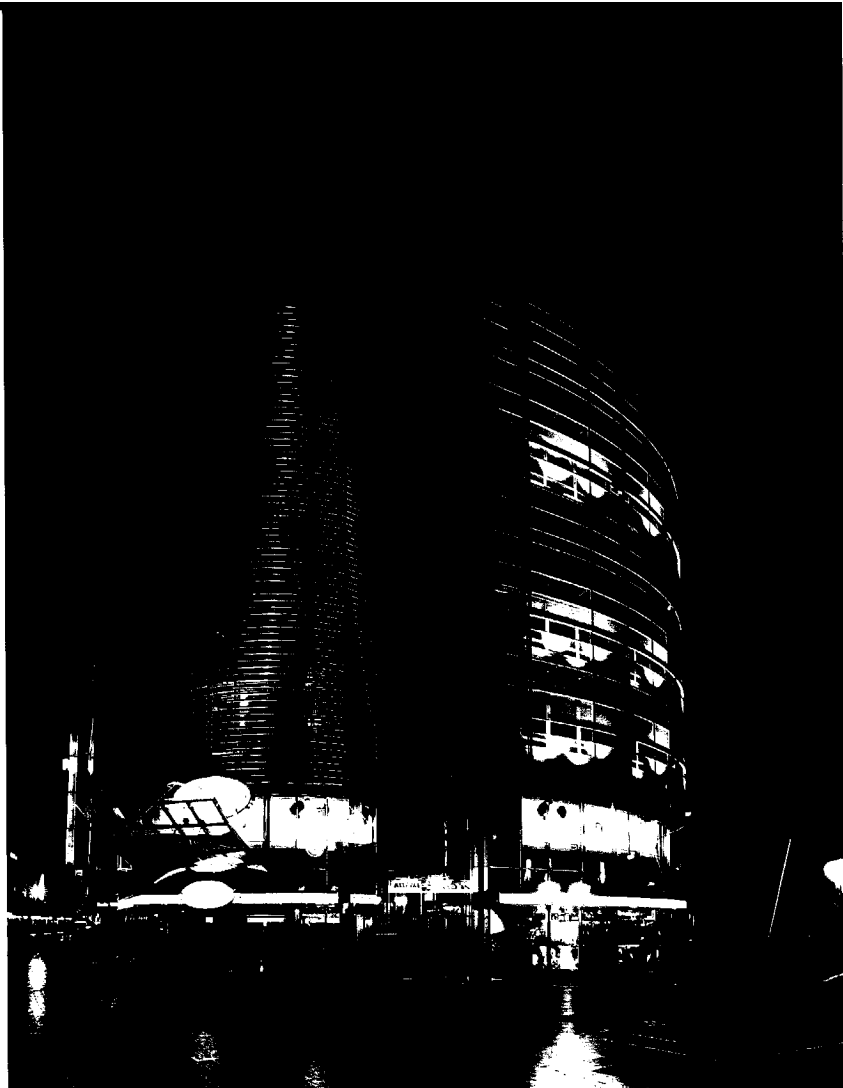
## TRENDS EN ONTWIKKELINGEN

**S**inds de jaren vijftig is de ontwikkeling van glas voornamelijk gericht geweest op het veredelen van het basisproduct door toevoegingen en samenstellingen: ontwikkeling van isolerende beglazing, gelamineerd glas en gecoat glas.

Veel hedendaagse architecten hebben belangstelling voor gebouwen met een bepaalde graad van kunstmatige intelligentie. Ontwikkelingen maken het mogelijk dat in de façade steeds meer stuur- en regeltechnieken kunnen worden opgenomen die betrekking hebben op het energiegebruik. In dubbelglas-units zullen dit soort technieken kunnen worden toegepast door middel van filters, coatings, fotovoltaïsche cellen, supergeleiders en elektronische en holografische elementen. Het glas zal hierbij in wezen zijn doorkijkfunc-



5.95 Gekleurd gekristalliseerd glas, The Hara Azabu Building, Tokio.  
architect: Nobuhide Miyake Architect & Associates.



5.96 Nobel-Haus, Frankfurt/Main, 1994.  
architect: Prof. Kramm en Strigl

tie behouden. Gestreefd wordt naar een dynamische façade: een zelfregulerend systeem dat reageert op het aangeboden buitenklimaat en het gewenste binnenklimaat. Vanuit de industrie probeert men in te springen op deze nieuwe wensen en eisen of deze zo mogelijk te initiëren, bijvoorbeeld door het aanpassen van de basisproductie van floatglas, de ontwikkeling van nieuwe bevestigingsmethoden, ontwikkeling van coatings etc. Dit alles in de context van strenge milieueisen, een betere energetische prestatie van de gevel en de architectonische uitstraling van het glasoppervlak.

**Productie** Het is te verwachten dat ook in de toekomst floatglas de basis zal vormen voor het veredelde glasprodukt. Het floatglasproductieproces is efficiënt maar gevoelig voor de afzet van kwantiteit omdat het tussentijds niet gestopt of afgeremd kan worden. Er wordt gedacht aan het opstellen van kleinere, specifieke floatglaslijnen zodat per eisenpakket het glasrecept aangepast en in kleinere charges geleverd kan worden.

**Basiseigenschappen** Specifieke eigenschappen van het glaspaneel werden tot nu toe steeds gereali-

seerd door toevoegingen aan het glasblad en samenstellingen van de glasbladen tot een glaspaneel. Uiteindelijk rijst de vraag welke verbeteringen aan de basis van het glasprodukt gerealiseerd kunnen worden. Dit kan door toevoegingen aan het glasmengsel maar ook door manipulaties van de glasstructuur op moleculair niveau: nanotechnologie, aangekondigd als dé techniek van de eenentwintigste eeuw. Met behulp van deze techniek zouden minder gunstige materiaaleigenschappen verbeterd kunnen worden. Glas zou bijvoorbeeld op een zodanige manier gemanipuleerd kunnen worden dat het zich laat berekenen, verwerken en belasten als een taai materiaal dat niet zonder waarschuwing breekt: de ontwikkeling naar een betrouwbaar ingenieursmateriaal, zoals metalen dat zijn. Ook coatings kunnen met behulp van nanotechnologie bepaalde hoogwaardige eigenschappen krijgen. Zo zijn al coatings ontwikkeld met een zeer hoog smeltpunt. Door deze op het basismateriaal glas te appliceren wordt het glas beschermd door een hitteschild, en kan dan zelf als zodanig gaan functioneren.

**Glasveredelingen** In de ontwikkeling van coatings zijn de verwachtingen hoog gespannen. Er zijn naast vele typen passieve coatings ook actieve



5.97 Hergebruik van glas en aluminium.

coatings ontwikkeld die reageren op interne of externe omstandigheden. Veel van deze ontwikkelingen zijn geïnitieerd in de vliegtuig- en auto-industrie. De toepassingen waarvan de ontwikkelingskosten zijn gedekt en die geschikt zijn voor grotere afmetingen en seriematige fabricage, kunnen doorgezet worden naar de bouwindustrie.

Met name voor actieve spectraal selectieve coatings en tussen het glas opgesloten substanties met variabele transmissie-eigenschappen worden verregaande ontwikkelingen verwacht. Voor elektrochrome beglazing in het bijzonder lijkt een toekomst te zijn weggelegd. Research richt zich op de duurzaamheid, het tempo van omschakeling, UV-bestendigheid en de prijs van dergelijke beglazing.

Ook door middel van samenstellingen met verschillende plaalementen kunnen de eigenschappen van een glascomponent verbeterd worden. Door een kern van transparante kunststof met een grote mechanische sterkte en een lage uitzettingscoëfficiënt te cachen met dunne glasbladen kunnen panelen worden samengesteld met een grote initiële sterkte en een verhoogde taaiheid.

**Verschijningsvorm** De ontwikkeling van nieuwe glastypen en glasveredelingen wordt gestimuleerd vanuit de architectonische beleving van glas. Glas in de architectuur wordt gewaardeerd op perceptie. Nieuwe kleuren, patronen en hologrameffecten vormen een scala aan mogelijkheden voor de glazen façades. Door glas te voorzien van teksten en figuren met behulp van emailprints, computers en elektronische displays of door het aanlichten van de façade van binnen of van buiten wordt de glasgevel een communicatief medium.

(fig. 5.96) Met een druk op de knop of een anticiperend computerprogramma kan een gebouw een volledig nieuwe verschijningsvorm krijgen.

**Milieu** Ook vanuit de milieu-optiek worden een aantal ontwikkelingen binnen de glasproductie gestimuleerd. Glas is een milieuvriendelijk materiaal, uiterst duurzaam en zeer geschikt voor hergebruik.

Het energetisch rendement van de verschillende produktiestappen is voortdurend onderwerp van onderzoek. Er wordt gestreefd naar een steeds lager energiegebruik bij de glasproductie door bijvoorbeeld het smeltpunt van het basismengsel te verlagen. Bij de ontwikkeling van coatings wordt gestreefd naar meer milieuvriendelijke applicatiemethoden en zo min mogelijk gebruik van zware metalen.

Glas toegepast in gebouwen moet zo mogelijk een positief energetisch effect opleveren. Dit bereikt men onder andere door een gunstige oriëntatie, zonregulering en het verhogen van de thermische isolatiewaarde van het samengestelde glaspaneel (ontwikkeling en toepassing van thermisch geïsoleerde afstandhouders).

Helder floatglas is makkelijk te recyclen. (fig. 5.97) De aangeboden hoeveelheid glas voor hergebruik is aanzienlijk en zal in de toekomst toenemen. Bij de productie van floatglas wordt ontstaan afvalglas direct teruggevoerd in de oven. Het gebruik van sommige (gekleurde) coatings maakt het glas minder geschikt voor hergebruik doordat door de metaalhoudende coatings verontreiniging van het floatglasmengsel ontstaat. Dit glas verdwijnt naar de holglas-industrie voor de productie van flessenglas. Glas voorzien van een Low-E-coating zou zich echter wel lenen voor terugname in het floatglasproces. Er wordt verder



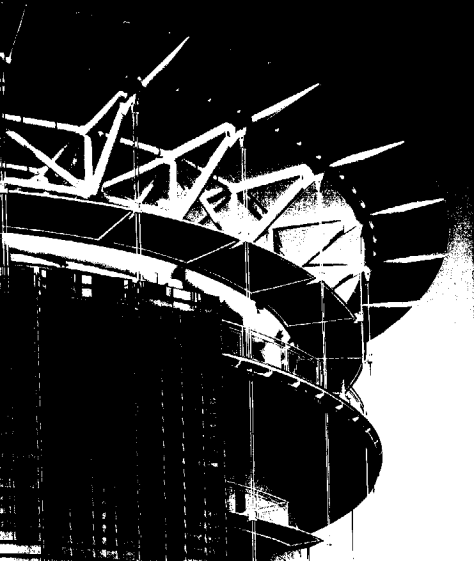
5.98 Fitnessclub 'Manhattan', Wenen, 1989.  
architecten: Dl. Dr. techn. Sepp Frank, Fr. Arch. Dl. Fink

onderzoek gedaan naar coatings die een minimale verontreiniging van het basismengsel veroorzaken. Glas-units en gelamineerde beglazing moeten eenvoudig gedemonteerd kunnen worden om hergebruik te stimuleren. De glasbladen van gelamineerd glas kunnen worden gescheiden door het bevriezen van de ruiten: de folie wordt bros en kan gemakkelijk verwijderd worden. De verkitte randen van isolerende beglazing moeten vooralsnog worden afgekapt en als afval worden afgevoerd.

Tot nu toe hebben verbeteringen van het glasproduct steeds plaatsgevonden door toevoegingen aan en samenstellingen van het basisglas. Deze ontwikkeling zal zich zeker voortzetten. De verwachting is dat het glasproduct op een gegeven moment een zodanig functioneel niveau heeft behaald dat het als het ware zijn top heeft bereikt. Het wordt dan tijd dat glas wordt vervangen door een, qua transparantie en helderheid, gelijkwaardig materiaal maar met betere technische, functionele en bouwfysische eigenschappen. Op dat gebied doet Prof.dr.ir. Mick Eekhout onderzoek naar een nieuw, lichtgewicht, transparant, onbreekbaar, taai en glasachtig materiaal dat constructief belastbaar is op buiging, druk en trek en dat chemisch resistent is: Zappi.

Zonregulering





## Zonwering en zonregulering

6.1 Siemens paviljoen, Sevilla, 1992.  
architect: D. Leistner

'The sun control device has to be on the outside of a building, an element of the facade, an element of architecture.

And because this device is so important as part of our open architecture, it may develop into an as characteristic form as the Doric column'.

*Marcel Breuer*

### ALGEMEEN

**E**r zijn talrijke methoden en systemen om het energie-aanbod van de zon af te stemmen op de comfort- en energiebehoefte van de mens in zijn omgeving. Het benutten en reguleren van de zonnestraling (licht en warmte) in de gebouwde omgeving is een principe dat al vele eeuwen door verschillende beschavingen wordt gehanteerd. Zo werd bij het bouwen in meer of in mindere mate rekening gehouden met de gebouwlocatie, de gebouwvorm, de bouwmasse (accumulerend vermogen), de oriëntatie van openingen in dak en gevel en de kleur van het gebouw. Deze factoren moesten in overeenstemming zijn met het heersende klimaat. Veel van deze technieken zijn vergeten of in onbruik geraakt onder invloed van een steeds verdergaande kunstmatige klimatisering van het gebouw. Naar het energiegebruik van klimaatinstallaties werd nog niet gekeken. De eerste klachten over het slechte binnenmilieu kwamen pas nadat een groot gedeelte van de bouwvoorraad was voorzien van volledig geklimatiseerde ruimten. Mede onder invloed van het Sick Building Syndrome (SBS) en de hedendaagse eisen gesteld aan het energiegebruik is er meer aandacht om het binnenklimaat op een natuurlijker wijze te beïnvloeden. Dit verklaart mede de hernieuwde belangstelling voor het gebruik van zonregulerende voorzieningen. (fig. 6.1)

In dit hoofdstuk worden de meest voorkomende vormen van zonwering en zonregulering behandeld. We praten van zonregulering als naast het weren ook het benutten van zonnestraling tot de mogelijkheden behoort. Een zonreguleringsstelsel kan méér dan alleen weren. Zo kan het het daglichtgedeelte uit de

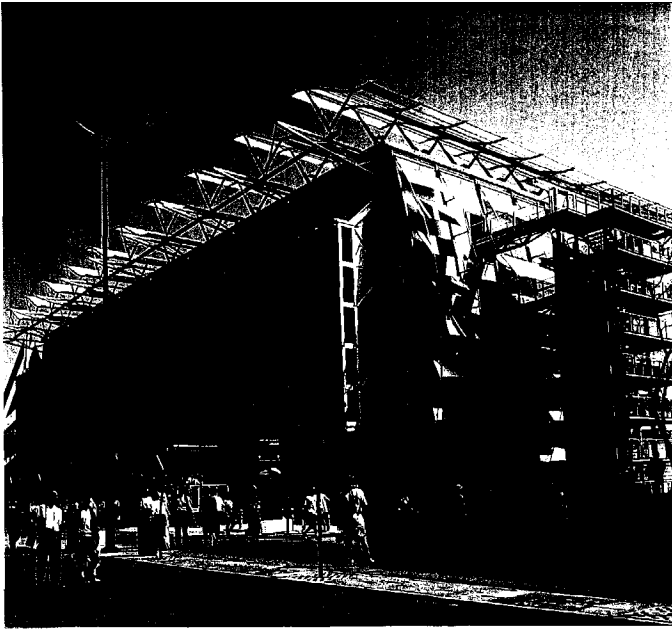
zonnestraling diep het achterliggende vertrek in sturen om zo te zorgen voor een betere verspreiding van het daglicht. We zien dat de huidige zonweringssystemen veranderen van passieve naar regelbare actieve systemen. Ze maken deel uit van de geïntegreerde actieve gebouwschil.

Behalve aan zonwerende voorzieningen wordt er in dit hoofdstuk ook aandacht besteed aan lichtregulerende systemen. Deze onderscheiden zich van de zonregulerende systemen doordat ze specifiek zijn ontworpen om het aanwezige daglicht beter te benutten.

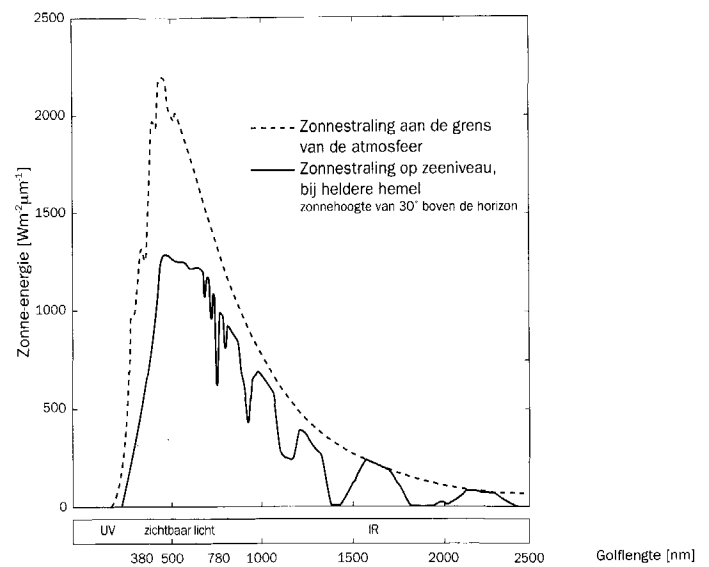
In het laatste gedeelte van dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op de overige aspecten van zonbenutting in relatie met de gevel. Nieuwe technieken en materialen maar vooral ook een veranderende visie op het omgaan met de zon als oneindige energiebron zullen in de toekomst het beeld van de gevel verregaand veranderen. De gevelbranche kan hierbij een actieve rol spelen indien zij deze nieuwe elementen snel oppakt en voor een groter publiek inzichtelijk maakt.

**Van zonwering naar zonregulering** Overal ter wereld zijn voor gebouwen min of meer adequate zonweringen ontwikkeld; voor verschillende klimaten en met verschillende materialen. In Europa ontwikkelde zich de houten stapeljaloezie met katoenen ladderbanden en optrekkoorden. Een principe dat we nog steeds bijna onveranderd aantreffen. [6.11]

Mede als gevolg van het Moderne Bouwen, waarbij de gevelopeningen steeds groter werden, ontstond er een sterke behoefte aan zonwering. Een behoefte die lang niet altijd door de architect ingevuld werd. Zo zijn er in de desbetreffende tijd veel gebouwen gebouwd waar het binnenklimaat in de zomer, maar ook in de



6.3 Paviljoen Engeland, Sevilla, 1992.  
architect: Nicolas Grimshaw and Partners ltd



6.4 De zonnestralen die de aarde bereiken bestaan voor ongeveer 3% uit ultravioletstraling (UV), voor 55% uit infraroodstralen (IR) en voor 42% uit zichtbare stralen (licht).

winter, verre van comfortabel was. Een traditionele methode van passieve zonwering is te vinden in de 'prairiewoonhuizen' van Frank Lloyd Wright. Grote dakoverstekken moeten de ondergelegen ramen tegen de directe zoninstraling beschermen. Gezien de ligging van de huizen ten opzichte van de evenaar (hoge zonestanden) is het dakoverstek een goede methode van zonregulering.

Andere voorbeelden van passieve zonregulering zijn te vinden in het werk van Le Corbusier. Hij maakt veelvuldig gebruik van uitstekende gebouwdelen die functioneren als zonregulering. Deze zogenaamde 'zonlichtbrekers', laten de diffuse en directe zonnestraling in de winter passeren en weren de ongewenste en sterke directe zoninstraling in de zomer. (fig. 6.2) Zon en licht zijn belangrijke thema's, en een bron van inspiratie, in het werk van Le Corbusier.

In de jaren tachtig nam de toepassing van spiegelende zonreflecterende glasgevels sterk toe. Hierdoor was er geen behoefte meer aan zonweringsinstallaties aan de buitenkant van de gevel. Dit leverde in veel gevallen een nogal vlakke en eentonige architectonische verschijningsvorm op. Daarnaast werd er veelvuldig geklaagd over het slechte binnenklimaat en het ontbreken van visuele prikkels door het monotone eenkleurige uitzicht. Aan het eind van de jaren tachtig kwam er een reactie op gang onder zowel de gebruikers als de ontwerpers. Zij gingen zich verzetten tegen deze anonieme, ziekmakende gebouwen.

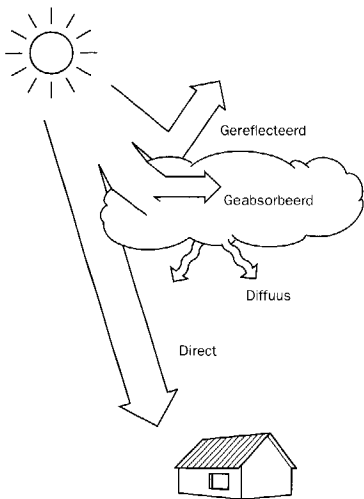
Vanaf 1990 neemt de belangstelling onder architecten om blank glas te gaan toepassen steeds meer toe. Met de ervaringen van overmatige ruimtetemperaturen uit de tijd van het Moderne Bouwen in het achterhoofd gaat men ook meer zonregulerende voorzie-

ningen gebruiken. In sommige gevallen worden deze als expressief architectuurmiddel in het bouwwerk opgenomen. (fig. 6.3) Deze omslag in de architectuur betekent een stimulans voor de ontwikkeling van nieuwe zonregulerende concepten. Het optimaliseren van het zonlichtgebruik is daarnaast een herontdekt concept dat het creatief bedenken en toepassen van nieuwe zonregulerende concepten zal stimuleren.

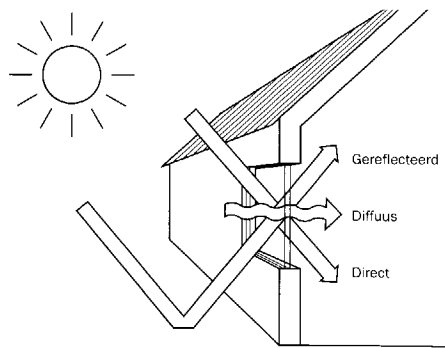
**De zon als bron** Enige elementaire kennis van de door de zon uitgezonden straling is nodig om de uitgezonden zonnestraling effectief te weren en in andere gevallen zo goed mogelijk te benutten. De aarde ontvangt minder dan één biljoenste deel van de totaal door de zon uitgezonden straling. Desondanks bedraagt dit betrekkelijk kleine gedeelte van de totaal uitgezonden zonne-energie bijna 1018 kW/h. Dit is meer dan 99% van alle op aarde aanwezige energiebronnen. [6.1] De zon zendt deze energie uit in de vorm van elektromagnetische straling. Deze straling beslaat het hele gebied van elektrische golven, radiogolven, microgolven, infraroodstraling, zichtbaar licht, ultraviolet straling, röntgenstraling tot kosmische fotonen. De diverse golflengten of golflengtegebieden hebben een verschillende uitwerking op de mens (warmte, licht, verkleuring van de huid). Ongeveer 95% van de zonnestraling die de aarde bereikt bestaat uit ultraviolette (UV), zichtbare en kortgolvlige infraroodstraling (IR). Een deel daarvan is voor ons niet zichtbaar (het infrarood en het UV-gedeelte), maar wel belangrijk voor ons welbevinden. Alleen het gedeelte in het golflengtegebied tussen 380 en 780 nm (nanometer) is 'zonder hulpmiddelen' voor het menselijk oog zichtbaar. (fig. 6.4)



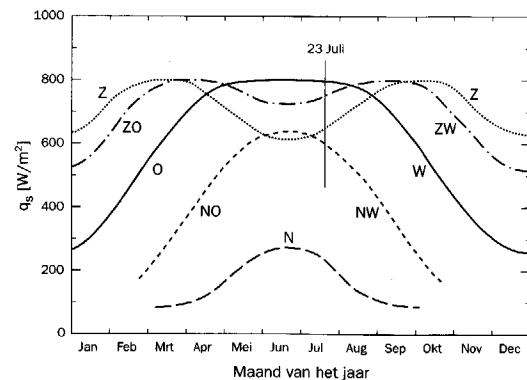
6.2 Woongebouw Unité d'Habitation, Marseille  
architect: Le Corbusier



6.5 De atmosfeer laat zonnestraling direct en diffuus door. Daarnaast absorbeert de atmosfeer een deel van de zonnestraling en een ander deel wordt naar het heelal gereflecteerd.



6.6 Zonnestraling die een gevelopening bereikt



6.7 De maximale intensiteit van de bij heldere hemel op de gevel vallende globale zonnestraling (dat is de som van de directe, diffuse en gereflecteerde straling) afhankelijk van de datum voor enkele geveloriëntaties.

De zonnestraling (zonne-energie) die een gevelopening bereikt bestaat uit een aantal vormen. In figuur 6.5 en 6.6 wordt de totale hoeveelheid door de zon uitgezonden straling verdeeld in een zestal algemene stralingsvormen te weten:

**1. Directe straling;** het gedeelte van de door de zon uitgezonden straling dat het aardoppervlak direct bereikt.

**2. Diffuse straling;** het gedeelte van de door de zon uitgezonden straling dat verstrooid wordt (o.a. door luchtmoleculen en stofdeeltjes) en het aardoppervlak diffuus bereikt.

**3. Gereflecteerde straling** (door het aardoppervlak); dat gedeelte van de door de zon uitgezonden straling dat door oppervlakken zoals de aardbodem, water en gebouwen wordt gereflecteerd en bijdraagt aan de invallende straling op het betreffende oppervlak.

**4. Globale straling;** de globale straling is de som van de directe, de diffuse en de door het aardoppervlak gereflecteerde zonnestraling.

**5. Geabsorbeerde straling;** dat gedeelte van de door de zon uitgezonden straling dat door de in de atmosfeer aanwezige stoffen zoals zuurstof, ozon, waterdamp en stofdeeltjes wordt geabsorbeerd.

**6. Gereflecteerde straling** (door de atmosfeer); het gedeelte van de door de zon uitgezonden straling dat door de atmosfeer naar het heelal wordt gereflecteerd en het aardoppervlak niet bereikt.

Van de totale hoeveelheid zonnestraling die de atmosfeer bereikt wordt plusminus 55% geabsorbeerd en gereflecteerd door de atmosfeer zodat uiteindelijk ongeveer 45% het aardoppervlak bereikt. De zuiverheid van de atmosfeer is bepalend voor de hoeveel-

heid directe en diffuse straling die de aarde bereikt (en natuurlijk ook voor de zonnestraling die door de atmosfeer wordt geabsorbeerd en gereflecteerd naar het heelal).

De door de zon uitgezonden straling is ook onder te verdelen naar de samenstelling uit de diverse golflengten (ultravioletstraling, zichtbare straling en infraroodstraling). Zie figuur 6.4

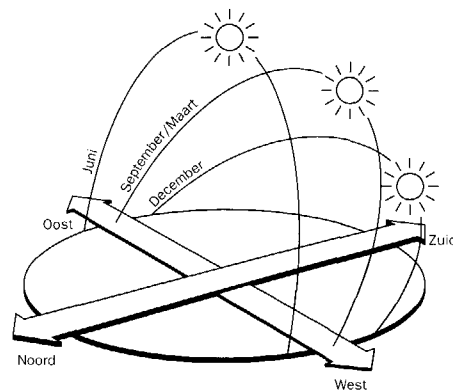
De eenheid voor de hoeveelheid zonnestraling of zonne-energie die per seconde op één vierkante meter aardoppervlak valt is de stralingsintensiteit [ $W/m^2$ ]. Gegevens over de stralingsintensiteit zijn van belang om het rendement van actieve of passieve zonbenuttingssystemen te bepalen (bijvoorbeeld zonneboilers, fotovoltaïsche panelen, etc.). De maximale stralingsintensiteit op een verticaal vlak is afhankelijk van de breedtegraad, de geveloriëntatie, de datum, het tijdstip op de dag en de zuiverheid van de atmosfeer (atmosferische vertroebeling). Hieronder volgen enkele richtgetallen voor een horizontaal vlak in Nederland. In figuur 6.7 is de relatie te zien tussen de stralingsintensiteit en de datum, voor enkele geveloriëntaties.

	stralingsintensiteit in [ $W/m^2$ ]
onbewolkt, juni	1000
onbewolkt, december	850
lichte bewolking, gehele jaar	300
zware bewolking, gehele jaar	20





6.8 Geïmproviseerde zonwering.



6.9 De zonnebaan speelt een belangrijke rol bij de keuze van een type zonregulering. De baan van de zon is afhankelijk van de plaats op aarde, de datum en de tijd.

## DE KEUZE VAN EEN ZONREGULERING

Het kiezen van een geschikte zonregulering dient reeds aan het begin van de ontwerp-fase plaats te vinden. Het komt nog steeds voor dat men achteraf, na constatering van overmatige ruimtetemperaturen, een zonwering moet installeren. Het gebouwconcept blijkt voor het later aanbrengen meestal niet geschikt zonder de architectuur geweld aan te doen. Het spreekwoord: 'De put wordt pas gedempt nadat het kalf verdrongen is' blijkt helaas wat betreft zonregulerende voorzieningen nog steeds van toepassing. (fig. 6.8)

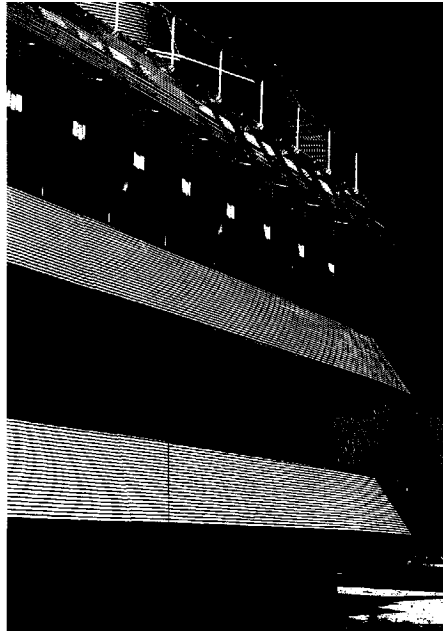
Bij de keuze of het ontwerpen van zonregulerende voorzieningen zijn de volgende factoren van belang:

- de verschillende geveloriëntaties, in verband met de zonnestand en de stralingsintensiteit; (fig. 6.9)
- de zonnestand waarvoor de zonregulering effectief moet zijn;
- toepasbaarheid in verband met wind;
- schaduwen van omliggende gebouwen, bomen etc.;
- de grootte van de raamopeningen (percentage glas);
- de glassoort (blank, reflecterend, of absorberend glas);
- de gebouw- of gevelvorm, bijvoorbeeld dakoverstekken, balkons, nissen;
- de verstelbaarheid, regelbaarheid en bediening; van hand tot automatisch;
- doorvoer van leidingen door de gevel;
- de beveiliging;
- de esthetische aspecten;
- de vraag of de ramen kunnen worden geopend bij een gesloten zonregulering;
- warmte-ophoping achter of tussen de zonregulering;
- het onderhoud aan de zonreguleringsinstallatie;

- de bereikbaarheid van de gevel in verband met reiniging en onderhoud.

Bij de beoordeling van de verschillende zonregulerings-systemen is het verstandig de zontoetredingsfactor (ZTA) als selectie criterium te hanteren. Daarnaast kan ook de selectiviteitsindex (SI) en de convectiefactor (CF) als selectie criterium gebruikt worden. De ZTA is het percentage van de totale hoeveelheid op de gevelopening vallende zonnestraling die wordt doorgelaten door de zonregulering en de gevelvulling. Hoe lager de ZTA hoe effectiever de zonwering. De SI is van belang omdat deze de verhouding aangeeft tussen de lichttoetredingsfactor (LTA) en de ZTA. Hoe hoger de SI des te gunstiger de verhouding tussen de gewenste daglichttoetreding en de 'ongewenste' warmtebelasting door zonnestraling. De meest recente ontwikkelingen zijn erop gericht de ZTA zo laag en de LTA zo hoog mogelijk te houden. Voor een uitgebreidere definitie zie de laatste paragraaf van dit hoofdstuk.

Het is moeilijk om de verschillende zonregulerings-systemen cijfermatig met elkaar te vergelijken. De door de fabrikant opgegeven cijfers zijn vaak globaal en berusten op verschillende meetmethoden. De nieuwe ISO-norm 9050 - 'Glass in Building' moet hieraan een eind maken. Met behulp van deze internationale standaard kan de warmtewering en de invloed op de daglichttoetreding voor alle zonregulerings-systemen worden vastgesteld. Een overzichtstabel met daarin alle zonregulerings-systemen met de desbetreffende ZTA-, LTA-, CF- en LR-waarden is niet in dit hoofdstuk opgenomen. Het meest uitgebreide en onafhankelijke overzicht van het moment staat vermeld in een publicatie van het ISSO. [6.26]



6.10 Vaste zonregulering, Energiebedrijf Haarlem, 1995.  
architect: T. Asselbergs



6.11 Schuine Alu-Glasfaçade, SVB Amstelveen.  
architect: Van Mourik, Vermeulen.

Een goede zonregulerende voorziening kan het beste specifiek voor het gebouw worden ontworpen. Ze is volledig afhankelijk van de plaats van het gebouw, de ramen en de bouwfysische en bouwtechnische voorwaarden en zal geïntegreerd in het gebouwontwerp moeten worden ontwikkeld.

In dit hoofdstuk is gekozen voor een indeling in zes verschillende methoden van zonregulering. We onderscheiden de volgende basismethoden in volgorde van buiten naar binnen:

1. gebouwworm en -oriëntatie;
2. buitenzonregulering;
3. zonbeheersende beglazing;
4. spouwzonregulering;
5. binnenzonregulering;
6. combinaties van diverse zonregulerende systemen.

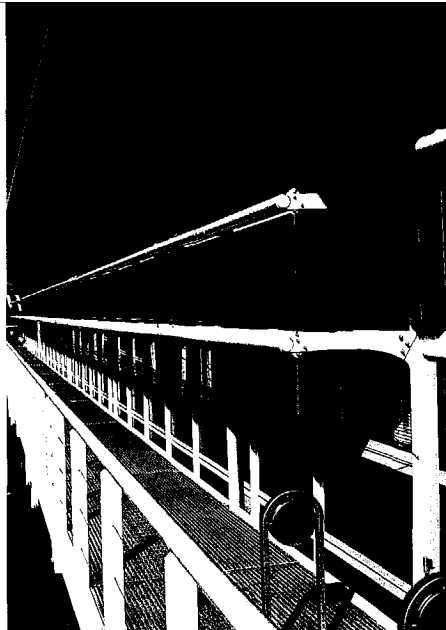
## 1 GEBOUWVORM EN -ORIËNTATIE

**D**e keuzes die tijdens het ontwerpproces worden gemaakt ten aanzien van de oriëntatie van de ruimten zijn voor het binnencomfort van het grootste belang. Als wordt gekozen voor een oriëntatie en een materialisatie die veel zinstraling toelaten (veel glas op het zuiden), zullen uitgebreide zonregulerende voorzieningen noodzakelijk blijken. Een zware koelinstallatie met het daarbij behorende hoge energieverbruik is natuurlijk ook een oplossing, maar energetisch gezien steeds minder gewenst. De keuze voor een gebouwworm die voorziet in een natuurlijke zonregulering is dan een goede architectonische oplossing. Dit geldt vooral voor tropische landen waar de zon gemiddeld hoog aan de hemel staat en een teveel aan warmte gedurende het gehele jaar als

onbehaaglijk wordt ervaren. In de landen met een gematigd klimaat voldoet een gebouwworm die vooral in het zomerseizoen de gevelopeningen van schaduw voorziet. Dit geldt met name voor de zuidgevel omdat de gemiddeld hoge zonnestand een kleiner overstek nodig hebben om effectief te zijn. Te denken valt aan: galerijen, balkons, loggia's, nissen of dakoverstekken. Daarbij moet de overstekende gebouwworm aan beide zijden van de gevelopening doorsteken om ook de schuin opvallende zonnestraling te weren.

Bij een gebouwworm als vaste zonregulering is het van belang te bepalen gedurende welke jaargetijden en gedurende welke uren van de dag men beschaduwing wenst. Dit geldt tevens voor alle andere vaste zonreguleringsystemen. Voor het bepalen van de juiste vorm en afmeting van de zonregulering zijn gegevens over de stand van de zon en de oriëntatie van de gevel essentieel. Een nadeel van een vaste zonregulering is dat deze ook in perioden met een bewolkte hemel licht wegneemt uit de vertrekken. (fig. 6.10) Wordt de gevel hoofdzakelijk door een lage zonnestand belast (west- en oostgevel) dan zijn verticale elementen het meest effectief; dakoverstekken zijn daar nauwelijks doeltreffend.

Le Corbusier introduceerde het principe van de 'brise-soleil', de zogenaamde zonlichtbrekers. Door de vooruitstekende delen in de gevel ontstaat schaduwwerking in de onder- en achtergelegen vertrekken. Een andere architect voor wie het thema licht en schaduw belangrijk was is Louis Kahn. Hij zei ooit: 'A building begins with light and ends with shadows.' [6.22] Kahn heeft diverse oplossingen ontwikkeld om door middel van de gebouwworm te zorgen voor een bepaalde mate van zonregulering.



6.12 Vaste buitenzonregulering.



6.13 Uitvalschermen.

Van belang bij de gebouwvorm als zonregulering zijn:

- de geveloriëntering;
- de gevelstand en hoogte van het raam;
- de positie van de zon (afhankelijk van de plek op aarde);
- de dekkingshoek en gewenste schaduwperiode.

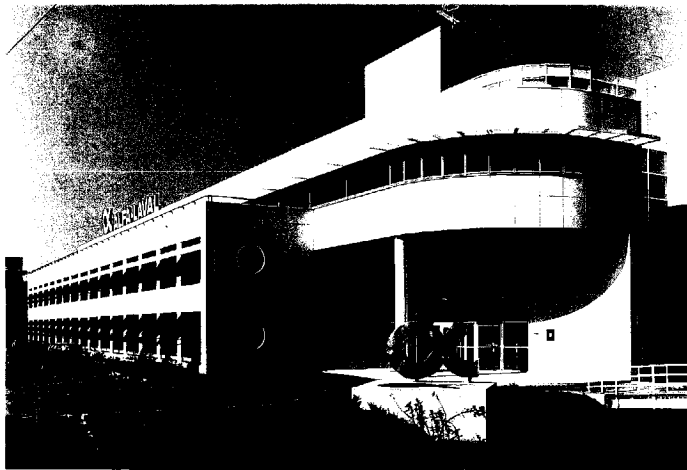
Bij het toepassen van grote glasoverdekte ruimten kan de zoninstraling beperkt worden door de gebouwhoogte van de aangrenzende gebouwen hierop af te stemmen. Deze functioneren dan als vaste zonregulering (atria van hoge gebouwen).

Ook de stand van de gevel kan een middel zijn om overmatige zoninstraling te voorkomen. Belangrijker, en ook vaker voorkomend, is dat juist door de stand van de gevel extra zoninstraling het vertrek binnentreedt. Dit is het geval bij achterover hellende gevels, te denken valt aan piramides en dakbeglazing. Een goede zonregulering is hierbij van essentieel belang. (fig. 6.11) De stand van het doorzichtglas is bepalend voor de hoeveelheid reflectie, absorptie en doorlatendheid (R, A en D). In de paragraaf over zonbeheersende beglazing worden deze begrippen verder verklaard. Het effect van de stand van het glas doet zijn intrede bij een hoek van inval  $\geq 45^\circ$ .

## 2 BUITENZONREGULERING

Er zijn talloze vormen en systemen van buitenzonregulering bekend die alle stelen op het uitgangspunt het probleem te voorkomen in plaats van het op te lossen. Door de jaren heen hebben veel architecten geëxperimenteerd met mooi vormgegeven buitenzonreguleringen. Daarin zijn een aantal verschillende basissystemen te onderscheiden, met als belangrijkste onderverdeling die tussen de beweegbare en vaste systemen. Deze worden ook wel aangeduid met passieve en actieve zonreguleringsystemen. Algemeen geldt dat bij het toepassen van een buitenzonregulering zaken als windbestendigheid, geluidshinder en onderhoud aandacht verdienen bij het ontwerp. Met een buitenzonregulering zijn op eenvoudige wijze lage ZTA-waarden te behalen. Het aan de buitenzijde van de gevel reguleren van de zoninstraling is dan ook qua zonwering optimaal. (fig. 6.12)

**Beweegbare buitenzonregulering** Het grote voordeel van beweegbare uitvoeringen is dat de zonregulering beter afgestemd kan worden op de weersomstandigheden en de stand van de zon. Zo bestaat de mogelijkheid van individuele regeling, wat het individuele comfort kan verhogen. Bij alle beweegbare zonreguleringsystemen bestaat de mogelijkheid tot automatisering. In moderne gebouwen wordt de zonregulering opgenomen in de centrale gebouwbesturing. Vanwege de weersafhankelijkheid van de meeste beweegbare systemen is dit ook aan te raden. Uitgebreide automatische meting met behulp van zonnecellen, windmeters, regenmeters, schemerschakelaars en tijd klokken behoort tot de hedendaagse mogelijkheden. Verder



6.14 *Beweegbare buitenzonwering (uitvalschermer), Alfa Laval.*  
architect: ZZ+P Architecten



6.15 *Buitenscreendoek.*

kan per geveloriëntatie de meest ideale afstemming worden bereikt. Het zou echter altijd mogelijk moeten zijn dat de individuele gebruiker invloed kan uitoefenen op de zonregulering voor zijn verblijfsruimte. Hij moet de centrale besturing daarbij kunnen 'overschakelen'. Een belangrijk aspect is de beperking van het gebruik bij hogere windsnelheden. De meeste uitvoeringen zijn geschikt voor toepassing tot windkracht 6, speciale uitvoeringen zijn bruikbaar tot en met windkracht 7. Verder bestaat er de kans op het fluiten van de uitstaande zonreguleringen bij hogere windsnelheden.

Als men kiest voor buitenzonregulering dient men rekening te houden met het onderhoud. Evenals de gevel staat de buitenzonregulering bloot aan vervuiling. Het regelmatig reinigen is voor een lange levensduur dan ook essentieel. (fig. 6.13) Bereikbaarheid van de buitenzonregulering is bepalend voor het gemak waarmee deze reiniging plaats kan vinden.

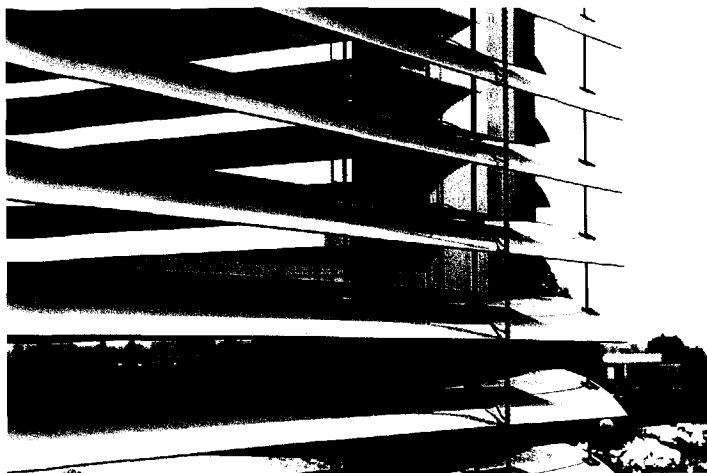
**Markiezen** Het kwartcirkelvormig uitstaande zonneschermer met gesloten zijkanten wordt voornamelijk in de woningbouw toegepast. Door de gesloten zijkanten zijn markiezen op alle oriëntaties te gebruiken, de gemiddelde ZTA is ca. 0,13. In neergelaten stand zal een markies de achtergelegen ruimte aanmerkelijk verduisteren en het binnentredende licht kleuren naar gelang de kleur van het zonweringsdoek.

**Uitvalschermer** (fig. 6.14) Uitvalschermeren zijn onder te verdelen naar hun wijze van openen en sluiten. Er zijn een groot aantal varianten te verkrijgen waaronder ongeschoorde uitvalschermeren, vouwarschermeren en knikarmschermeren. Bij de keuze van een zonneschermer moet rekening worden gehouden met de

kans op zonstraling via de open zijkanten. De zonneschermeren dienen daarom voldoende breed te zijn om deze zijdelingse instraling te verhinderen. Dit geldt met name voor oostelijk en westelijk georiënteerde gevels. Vanwege de geringe windvastheid van zonneschermeren zijn deze niet aan te bevelen voor hoogbouwprojecten. De zontoeetredingsfactor varieert bij uitvalzonneschermeren tussen de 0,15 en 0,25. Deze is mede afhankelijk van de kleur en de openheid van het weefsel. Het uitzicht wordt in de meeste gevallen niet door het zonneschermer belemmerd. Een combinatie van uitvalscherm en rolschermer is ook mogelijk. Hierdoor wordt de windbestendigheid verbeterd en zijn er lagere ZTA-waarden te halen. Schermeren breder dan de gevelopeningen worden door architecten meestal niet gebruikt vanwege de vernietigende werking op het gevelbeeld.

Voor het vervaardigen van zonweringsdoek wordt meestal gebruik gemaakt van acryl- of glasfibervezels. De dikte van de draad en manier waarop de draden in elkaar gedraaid zijn, is bepalend voor de kwaliteit van het doek. Doeken van deze synthetische vezels zijn goedkoper, lichter, kleurvaster en sterker dan doek dat gemaakt is van katoenen vezels. [6.16] Belangrijke aspecten bij de keuze van een zonweringsdoek zijn: de kleurechtheid, de waterdichtheid, de vuilafstotendheid, het brandgedrag, het onderhoud en de levensduur.

**Buitenscreendoek of rolschermer** (fig. 6.15) Het rolschermer wordt ook wel aangeduid als verticaal doekscherm. Het doek loopt aan de buitenkanten in een zijgeleider om de invloed van wind te ondervangen. Als gemiddelde ZTA kan men voor dit systeem van zonregulering 0,15 aanhouden. Bij sommige minder goed reflecterende of vrijdoorlatende doeksoorten zal de



6.17 Buitenjaloezie.



6.19 Verticale zonnescioepen, Provinciehuis Den Bosch.  
architect: H. Klunder Architecten.

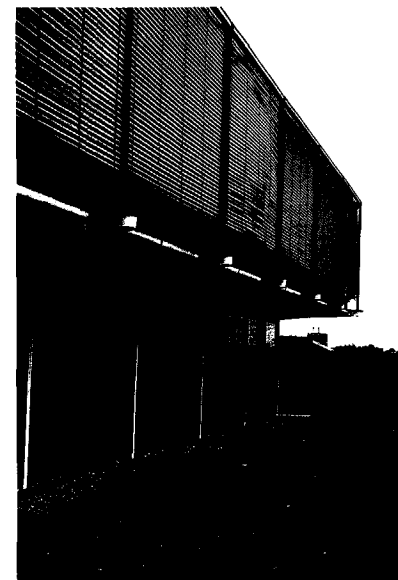
ZTA kunnen oplopen tot 0,30. De lichtdoorlatendheid is voor die systemen dan ook hoger, wat uiteraard voordelen biedt. Met andere doeksoorten en een sterke ventilatie kan de ZTA beneden de 0,10 uitkomen. [6.13] De LTA-waarde in gesloten toestand ligt tussen de 0,05 en 0,30. Dit is echter geheel afhankelijk van het soort doek, het daglicht treedt diffuus het vertrek binnen. Men kan de zonwerende werking gunstig beïnvloeden, door de spouw tussen doek en glasvlak goed te ventileren. Bij buitenscreens dient men te verhinderen dat er warmteopbouw tussen het screendoek en de beglazing plaatsvindt. Hierdoor kan een warmtefuk ontstaan, waardoor het screen-doek plooit en niet meer strak is te krijgen. Het oprollen kan problemen geven. Behalve van glasvezeldoek worden de screens ook gemaakt van geweven metaaldraad in verschillende patronen. De betrekkelijk kleine rolkasten zijn goed in een gevelconcept te integreren, en kunnen een meerwaarde zijn voor het gebouw.

**Buitenjaloezieën** (fig. 6.17) Buitenjaloezieën zijn installaties waarbij lamellen horizontaal of verticaal worden aangebracht, gewoonlijk in een schuine loodrecht op de stand van de sterkste zoninval. Er bestaan vaste en draaibare uitvoeringen, van hand bewogen tot computer bestuurd. Men heeft de keuze uit een groot aantal verschillende types. De kleur, de breedte, het materiaal en de bolling van de lamellen is te bepalen evenals de diverse hijs- en kantelmechanismen, de geleiding en de beschermkoof. Vanwege het grote aantal uitvoeringsvarianten is het onmogelijk om meer dan enkele algemeenheden te vermelden. De basisconstructie wijkt niet af van die van de zo bekende binnenjaloezieën, zij het dat de materiaalkeuze is afgestemd

op buitentoepassing. Dit betekent onder meer dat de lamellen dikker en breder zijn en dat ze voorzien zijn van een vorm van langsgleiding (bijvoorbeeld in de vorm van U-profielen of kabels). De hoogte van de koof is afhankelijk van de raamhoogte, de bolling en de dikte van de lamel. De koof kan onzichtbaar in de gevelconstructie worden opgenomen of juist zichtbaar een rol spelen in de horizontale accentuering van het gevelbeeld. Ook hiervoor geldt weer dat al in de ontwerpfase moet worden nagedacht over hoe ze optimaal kunnen worden geïntegreerd in de gevel.

Het rendement van de zonregulering is over het algemeen zeer hoog (lage ZTA-waarden). De LTA-waarde is sterk afhankelijk van de kleur en de stand van de lamellen. Hoe donkerder de kleur hoe lager de LTA (minder lichtinval). Een donkere kleur van de lamel betekent ook een verlaging van de ZTA ten opzichte van de lichtere kleuren. (fig. 6.18) Dit als gevolg van de verminderde interreflectie (dit is de reflectie tussen de lamellen). Opvallend is dat voor binnenjaloezieën het omgekeerde geldt: een donkere kleur van de lamellen betekent juist een verlaging van zowel de ZTA als de LTA. Een goede ventilatie achter de lamellen is van groot belang om te voorkomen dat de opgewarmde lucht het glas verwarmt en binnentemperatuur verhoogt. De afstand tussen de jaloezie en het glas dient dan ook niet te klein te zijn. Indien de buitenjaloezieën als zonregulering gebruikt worden, is het verstandig om voor een goede lichtreflectie van de lamellen een licht en sterk reflecterend oppervlak te kiezen.

De buitenjaloezie staat bloot aan vervuiling. De jaloezieën zullen daarom periodiek gereinigd moeten worden afhankelijk van de vervuilingssnelheid. Een goede bereikbaarheid van de buitenjaloezie is hierom essentieel.



6.18 Vaste buitenjaloezieën zijn windgevoelig.  
Schlumberger Research Center,  
Cambridge (GB).  
architect: M. Hopkins



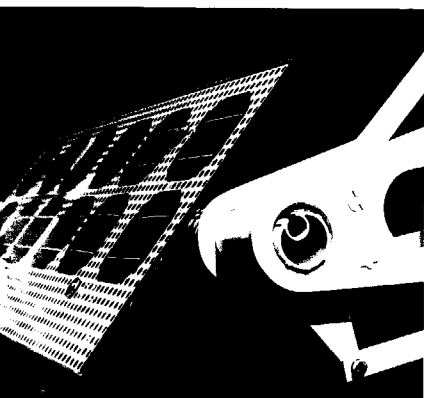
6.23 A Kantoor- en appartementengebouw, Basel.  
architect: Herzog & de Meuron



6.23 B Detail.  
architect: Herzog & de Meuron



6.24 Vaste zonregulering, Ecole de Commerce, Geneve.  
architect: Jourda et Perraudin Partenaires



6.21 PV-zonneschoepen, Sparkasse Hochrein, Stuttgart.  
architect: Jockers & Partners



6.22 Luiken als zonregulering.

**Beweegbare zonneschoepen** Jean Prouvé experimenteerde met de toepassingsmogelijkheden van beweegbare grote lamellen. Deze zogenaamde zonneschoepen kunnen zowel horizontaal als verticaal worden toegepast. Ze worden verticaal toegepast als er sprake is van een sterke zijdelingse zoninstraling (lage zonnestand) of als de gebouwvorm daarom vraagt. Verticale lamellen zijn daarom het meest effectief op NO- en NW-gevels. (fig. 6.19) Is er sprake van vooral hoge zonnestanden dan is het gebruik van horizontale zonneschoepen effectiever. De zonneschoepen kunnen van verschillende lichtgewicht materialen vervaardigd worden: aluminium, staal, hout, glas, glas met fotovoltaïsche cellen, kunststof, etc. (fig. 6.27) De zijden van de schoepen kunnen verschillende kleuren hebben om een optimale ZTA/LTA-verhouding te bereiken. Uiteindelijk bepaalt de ontwerper hoe de zonneschoep er uit moet gaan zien. Hij kiest voor een systeemproduct of ontwikkelt zelf een product. Grote beweegbare zonneschoepen zijn op een creatieve manier vorm te geven en kunnen op velerlei wijzen in het gebouw- en gevelconcept worden opgenomen. Er zijn een groot aantal gebouwen die hun karakteristiek ontleen aan het gebruik van zonneschoepen als zonregulering.

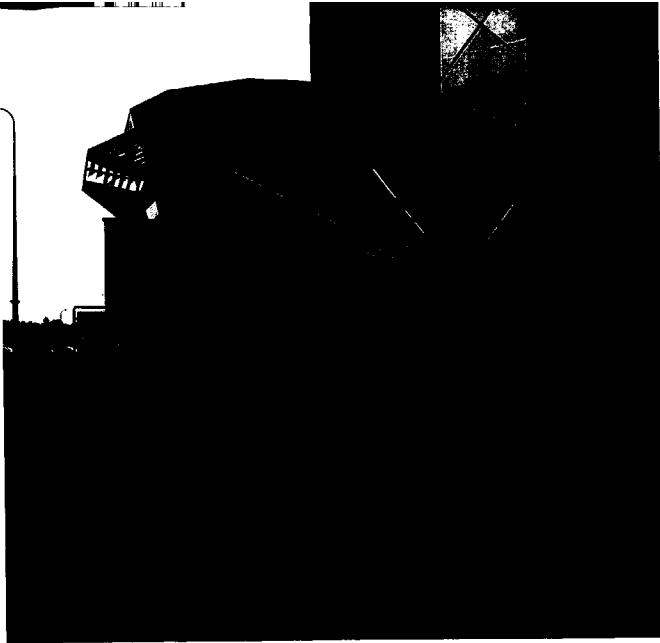
Een aardig voorbeeld is de toepassing van glazen vinnen. Ook in gesloten toestand blijft er uitzicht naar buiten mogelijk door het reflecterende glas van de lamellen. Door de stand van de vinnen te wijzigen is er voor elke specifieke buitenomstandigheid een optimaal gebruik van zonlicht en warmte. Door delen van de glazen vin te bekleden met fotovoltaïsche cellen is het gelijktijdig opwekken van energie mogelijk. (fig. 6.21)

Indien de ontwerper kiest voor het toepassen van

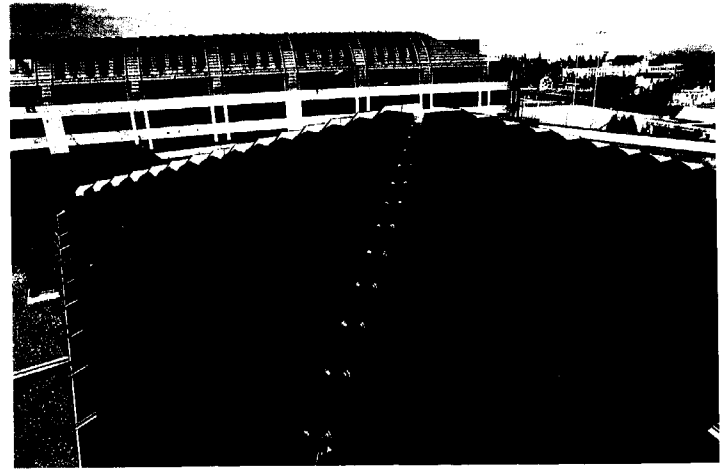
zonneschoepen is het belangrijk rekening te houden met de bereikbaarheid van gevelvlak en zonneschoepen voor het noodzakelijke reinigingsonderhoud.

**Luiken en rolluiken** Een eeuwenoude zonwering is het beweegbare dichte luik. (fig. 6.22) Luiken worden in Nederland nog maar weinig toegepast ondanks het romantische en multifunctionele karakter van het luik. Zo kan een luik een warmtewerende, thermisch isolerende, geluidsisolerende, inbraakwerende en verduisterende functie vervullen. In de ons omringende landen behoort het luik nog steeds tot de standaard gebouwuitrusting. Een moderne variant van het luik is het rolluik; dit kan onzichtbaar worden opgenomen in de gevel. In combinatie met een beweegbaar frame kan het rolluik, evenals het traditionele luik, met behulp van uitzetters worden geopend voor ventilatie. Luiken aan de binnenzijde zorgen, indien zij een lichte kleur hebben, voor reflectie van het licht naar binnen. Hierdoor ontstaan nissen c.q. lichtkoven welke het contrast tussen het verlichtingsniveau buiten en binnen verkleinen. Een interessante tussenvorm van het rolluik en de jaloezie is het type luik dat in gesloten stand gedeeltelijk kan worden geopend om dan als jaloezie te functioneren. De beschermende functie gaat dan niet geheel ten koste van de daglichtvoorziening.

**Schuifbare luiken of schermen** Grote beweegbare schermen, met vaak dezelfde functies als het luik, kunnen horizontaal dan wel verticaal worden weggeschoven. Voor de invulling van deze schermen zijn veel varianten denkbaar. Wij noemen er hier enkele: beweegbare of vaste lamellen, roosters, gaas of vlechtwerk, buizen, etc. De schermen kunnen vóór of



6.25 Kantoorgebouw Randwyck, Maastricht.  
architect: Planburo Witt & Jongen



6.27 PV-zonneschoepen.

in de borstwering worden geschoven. De Japanse traditionele architectuur kende schuivende translucente schermen. Jean Prouvé experimenteerde veel met dit soort constructies. Maar ook tegenwoordig, bijvoorbeeld in het werk van Herzog & de Meuron (fig. 6.23 A+B) en van Günther Behnisch (Parlementsgebouw, Bonn), worden dit soort beweegbare schermen op een prachtige manier toegepast.

**Vaste buitenzonregulering** In dit geval hebben we te maken met horizontaal of verticaal uitkragende zonneluifels of zonneschermen. Er bestaat een grote verscheidenheid aan dit soort bouwkundige constructies. Vaste zonregulerende constructies zijn relatief eenvoudig op projectbasis te ontwerpen. De vele materialen en constructiemogelijkheden geven de ontwerper de mogelijkheid om van deze componenten een architectonisch hoogtepunt te maken. (fig. 6.24) Daarnaast zijn er een groot aantal zonregulerende systemen op de markt (bijvoorbeeld vaste aluminium lamellenroosters) die door de ontwerper aan het gebouwontwerp kunnen worden aangepast. Van belang bij het ontwerp zijn de geveloriëntering en de gewenste dekkingshoek. Vaste horizontale schermen zijn in Nederland het meest effectief op het zuiden (in verband met de hoge zonnestand). De vaste verticale constructies zijn daarentegen vooral effectief voor de NO- of NW-gevel (lage zonnestand). Met behulp van zonnebaandiagrammen, voor 52° NB, kan voor elke geveloriëntatie in Nederland de hoek van de laagste en hoogste zonnestand worden afgelezen.

Vaste zonreguleringen kunnen als montabele componenten aan de gevel worden toegevoegd of bouwkundig in de gevelvorm worden geïntegreerd. (fig. 6.25)

Een nadeel van vaste zonregulerende constructies is dat ze ook op zonarme dagen een groot deel van het daglicht wegnemen.

**Roosters** Geperforeerd staal- of aluminiumplaat en verzinkt stalen of aluminium roosters kunnen toegepast worden als zonregulering. Deze materialen zijn modegevoelig. De roosters vormen een belangrijk deel van de visuele bepaling van de architectuur van het gebouw. Vaak dienen ze tevens als onderhoudsborde. De roosterschermen kunnen zowel horizontaal als verticaal worden toegepast. In een ontwerp van Cepezed (Centre for Human Drugs Research, te Leiden) is het geperforeerde scherm als tweede huid voor de gevel geplaatst. (fig. 6.26) Naast een zonregulerende functie is het architectonische concept de basis geweest voor het ontwerp. De relatieve ondiepte van de roosters vermindert de effectiviteit van de zonwering in vergelijking met vaste lamellen.

**Fotovoltaïsche zonregulering** (fig. 6.27) In bijna alle zonregulerende systemen kunnen fotovoltaïsche elementen worden toegepast. Door het combineren van twee functies, het weren van de zon en tegelijkertijd genereren van elektriciteit, is de kosten-batenverhouding relatief gunstig. Op deze manier worden deze systemen geïntegreerd. Het rendement van de cellen is hoog door de goede oriëntatie. Belangrijk is verder dat de vrije luchtcirculatie rond de panelen gewaarborgd blijft. Hierdoor blijft de temperatuur laag, wat weer gunstig is voor het celrendement.

**Groene zonregulering** (fig. 6.29) Waarschijnlijk de oudste vorm van zonregulering is het planten van bomen,



6.29 Groene zonregulering in combinatie met luiken.

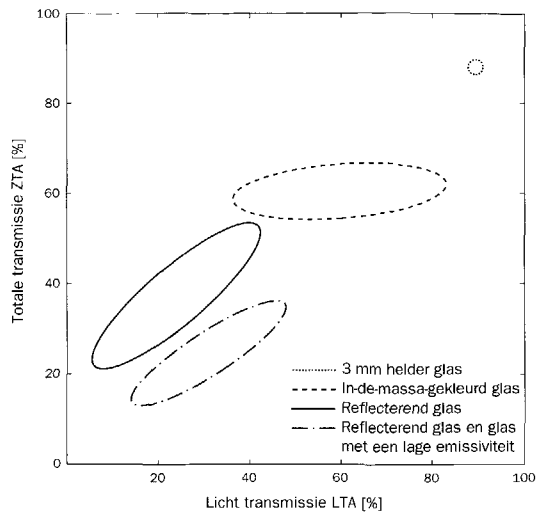


6.26 Geperforeerde metaalplaat als vaste zonregulering. Centre for Human Drugs Research te Leiden.  
architect: Cepezed.



6.30 *Kantoorgebouw KPMG, Rotterdam.*  
*architect: Schurink BNA*





6.31 De prestaties van verschillende typen glas ten aanzien van de ZTA- en LTA-waarden. Het grijze gedeelte vertegenwoordigt de verkrijgbare typen glas.



6.33 Isolatiepanelen met gescreende beglazing met een verlopende bedrukkingsgraad, B3-gebouw, Stockley Park, London, 1989. architect: Sir Norman Foster and Partners

goedkoop en geschikt voor laagbouwprojecten tot de boomgrenshoogte. In de winter, wanneer de boom zijn bladeren heeft verloren, kan de zon naar binnen stralen. De zomerzon daarentegen wordt door het groene bladerdek geweerd. De oud-Hollandse leilinden waren ook nog tweedimensionaal en speelden sterk mee in het straatbeeld. Daarnaast zijn combinaties mogelijk met roosters en pergola's; indien deze door klimplanten worden bedekt ontstaat een natuurlijke groene zonregulering.

### 3 ZONBEHEERSENDE BEGLAZING

De werking van deze beglazing (solar control glass; fig. 6.31) berust op het absorberen en/of reflecteren van de opvallende zonnestraling. Een groot verschil met de andere zonregulerende systemen is dat ze het directe én diffuse zonlicht gereduceerd doorlaten. De meeste andere systemen scheiden het directe en diffuse zonlicht waarbij alleen het diffuse zonlicht voor een groot gedeelte wordt doorlaten. De zonbeheersende eigenschappen van het glas kunnen op twee manieren worden veranderd: door het toevoegen van metaaloxiden aan het smeltbad resulterend in in-de-massa-gekleurd glas (absorberende beglazing), of door het aanbrengen van een reflecterende coating (reflecterende beglazing).

De ZTA-waarde van het glas bepaalt de uiteindelijke effectiviteit van de beglazing op het gebied van zonwering. Daarbij is het belangrijk de LTA-waarde in de gaten te houden. Deze bepaalt namelijk de hoeveelheid zichtbare straling (licht) die door het glas wordt doorgelaten. Verder is belangrijk om bij het kiezen van een type zonbeheersende beglazing de invloed op de visuele beleving, zowel van de buitenwereld als van

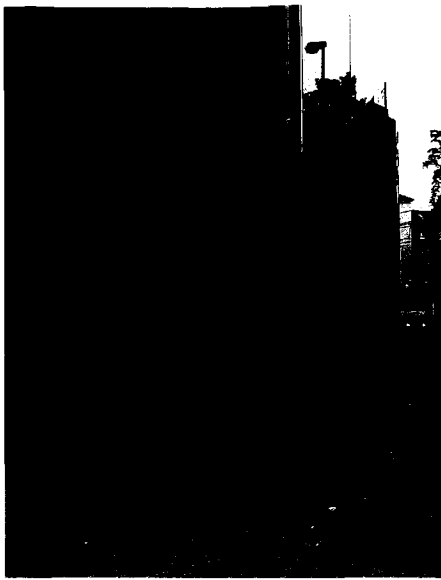
het vertrek, in ogenschouw te nemen. Voor velen is de versombering en verkleuring van het uitzicht onaangenaam. [6.9] Daarnaast nemen ook de interne reflecties toe wat de kans op spiegel-effecten vergroot.

Voordelen van zonbeheersende beglazing boven andere vormen van zonregulering zijn: de onderhoudsvriendelijkheid, de duurzaamheid en de onafhankelijkheid van de windbelasting. Bij hoge gebouwen wordt daarom vaak gekozen voor zonbeheersend glas, omdat de windsnelheden te groot zijn om zonregulering aan de buitenkant van de gevel te bevestigen en toch een goede zonwering gewenst is tegen niet al te hoge kosten. (fig. 6.30)

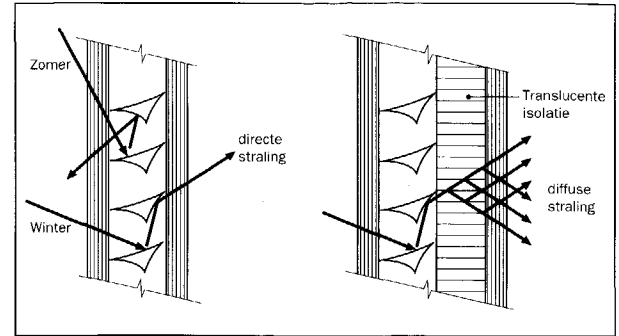
In dit hoofdstuk zullen de diverse zonbeheersende glassoorten kort worden toegelicht. Voor verdere informatie zie hoofdstuk 5 'glas'.

#### Absorberende beglazing (in-de-massa-gekleurd glas)

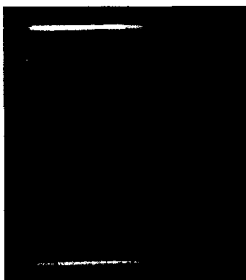
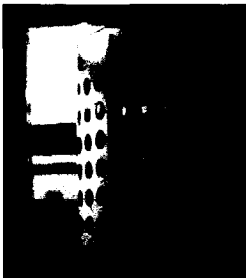
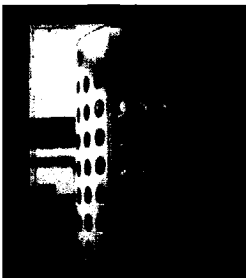
In-de-massa-gekleurd glas (body tinted) heeft de eigenschap een deel van de opvallende zonnestraling te absorberen. Absorberende beglazing wordt met pigmenten, veelal metaaloxiden, in de massa gekleurd. Deze pigmenten worden bij de productie van het floatglas aan het basismengsel toegevoegd. De pigmenten zorgen ervoor dat de fractie doorgelaten zonnestraling kleiner wordt, en de fractie geabsorbeerde stralen groter. De geabsorbeerde straling wordt in de vorm van infraroodstraling naar binnen en naar buiten afgegeven. De daling van de hoeveelheid energie (oftewel warmte) hangt af van het aandeel infraroodstraling dat het glas aan de buitenlucht heeft kunnen afgeven. De dikte van het glas bepaalt de kleur en de ZTA-waarde van het glas. Veel voorkomende kleuren zijn: grijs, groen, brons en blauw.



6.35 Dubbele glasmafakade, Micro Electronica Park, Duisburg.  
architect: Sir Norman Foster and Partners



6.36 Zon- en lichtregulering middels spiegellamellen in de glasspouw.



6.34 Glas met een variabele transmissie.

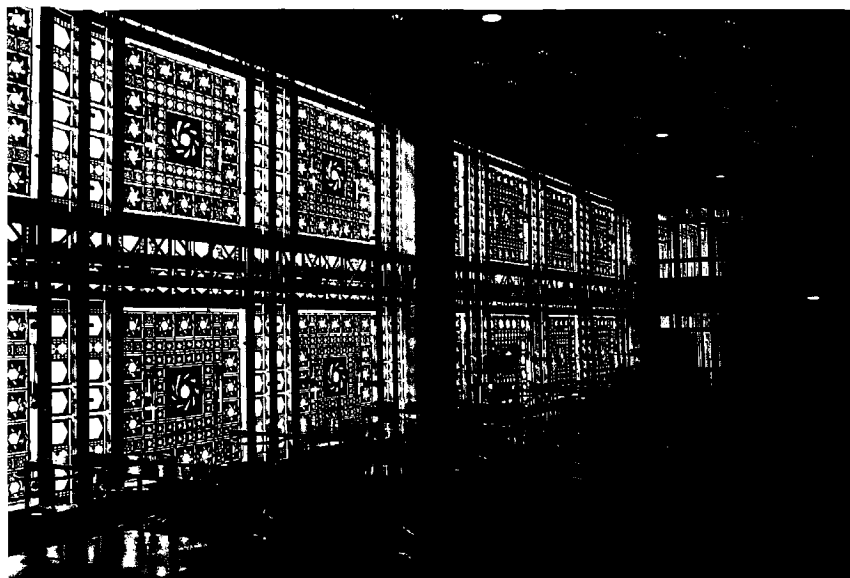
**Reflecterende beglazing** (fig. 6.30) Zonreflecterend glas ontleent haar zonbeheersende eigenschappen aan coatings die achteraf op het basisfloatglas worden aangebracht. Deze coatings bestaan uit dunne lagen metaaloxiden welke bepaalde golflengtes sterker reflecteren. Een optimale coating reflecteert alleen de straling uit het infrarode deel van het zonnenspectrum. Over het algemeen zal reflecterend glas in een isolatieruit worden toegepast om zo de thermische isolatie te verbeteren en de kwetsbare coating te beschermen. Zonreflecterende beglazing heeft als nadeel dat het overdag aan de buitenzijde en 's avonds aan de binnenzijde van het glas in meer of mindere mate als spiegel fungeert. Reflecterende beglazing is in een groot aantal tinten verkrijgbaar. Gezien de snelle ontwikkelingen in de coatingtechnologie zijn er in de toekomst zeer selectieve, mogelijk zelfs instelbare, coatings te verwachten die volledig transparant zijn met extreem lage ZTA- en hoge LTA-waarden.

**Glas met zonreflecterende folies** De mogelijkheden om met folies zonwerende eigenschappen te generen zijn de laatste jaren explosief toegenomen. De folies worden op het glas aangebracht of bij gelaagde glastoepassingen tussen het glas. Voor renovatiedoelinden kunnen deze reflecterende folies een uitkomst zijn om zo het glas, in veel gevallen enkel, zonwerend te maken. Hierbij moet vermeld worden dat bij het gebruik van zonreflecterende folies dezelfde negatieve effecten ontstaan die ook voor reflecterende beglazing gelden. Naast zonreflecterende folies bestaan er ook warmtereflecterende, blinderende, UV-straling reflecterende en elektromagnetisch interveniërende folies. Het is te verwachten dat de folietechnolo-

gie zich snel verder ontwikkelt. De ontwikkelingen in de coatingtechnologie zullen hierop zeker van invloed zijn.

**Gescreende beglazing** (fig. 6.33) Bij gezeefdrukt glas wordt een emailprint door middel van zeefdruktechniek op het glas gedrukt. Deze 'screen' of 'print' kan naast een esthetische functie ook een zonbeheersende functie hebben. Door de flexibiliteit die de zeefdruktechniek biedt zijn talloze varianten te ontwerpen; geheel in overeenstemming met het bouwwerk en met de gewenste ZTA-waarde. Door een verlopende bedrukkingsgraad kan de ZTA (en ook de LTA) geleidelijk toe of afnemen.

**Beglazing met een variabele transmissie** (fig. 6.34) Bij deze glassoorten is de transmissie, reflectie en absorptie van het glas op één of andere wijze te reguleren. De beglazing bestaat in veel gevallen uit een samenstelling van één of meerdere glasbladen en een specifieke coating of emulsie. Deze coating of emulsie is te activeren waardoor de eigenschappen van het glasprodukt veranderen. De wijze waarop dit geschiedt is afhankelijk van het type glasprodukt. Zo kan het glas automatisch reageren op een toenemende zonbelasting, de ZTA neemt dan geleidelijk af. Daarnaast zijn er glasprodukten die reageren op de opvallende lichtintensiteit, elektrische signalen of UV-straling. In de toekomst zullen deze typen beglazing een enorme betekenis krijgen, op het moment verkeren de meeste nog in een experimentele of proeffase. De vraag naar actieve regulerende beglazing met spectraal selectieve eigenschappen is volop aanwezig, het wachten is nu nog op de eerste prijstechnisch interessante produkten. In het hoofdstuk glas worden de



6.37 A Zon- en lichtregulering, *Institute du Monde Arabe, Parijs.*  
architect: Jean Nouvel.



6.37 B Zon- en lichtregulering, *Institute du Monde Arabe, Parijs.*  
architect: Jean Nouvel.

diverse soorten van actieve beglazingen verder besproken.

#### 4 ZONREGULERING IN DE LUCHTSPOUW

Hiermee worden dubbele glassamenstellingen aangeduid die in de spouw een zonregulerende voorziening hebben. Voordelen hiervan zijn het onderhoudsvriendelijke karakter en de onafhankelijkheid van de windbelasting. Een ander voordeel is dat men deze regulering ook 's nachts kan gebruiken, om zo de warmte-isolatie van de gevel te verbeteren of privacy te bereiken. Er bestaan een aantal varianten ten aanzien van de opbouw van de spouw, maar ook ten aanzien van de zonregulerende voorziening, de lamellen en de bediening.

**Klimaatraam en klimaatfaçade** Het opnemen van de zonregulerende voorziening in een bouwkundige spouw heeft als bijkomend voordeel dat de verwarmde lucht in de spouw kan worden afgezogen. De temperatuur in een spouw kan oplopen tot circa 45° C, waardoor een vrij hoge additionele warmtetoetreding optreedt (convectiefactor). Door het afzuigen van de spouw wordt de warmtetoetreding naar het vertrek verlaagd. We praten dan meestal over een klimaatraam in een verder dichte gevel of over een doorlopende klimaatfaçade. Vooral bij hoge gebouwen waar niet voor een zonbeheersende beglazing wordt gekozen is dit een goede optie. De opbouw van de gevelconstructie is in vele varianten uit te voeren:

- enkelglas - spouw met zonregulering - enkelglas;
- dubbelglas aan de buitenzijde - spouw met zonregulering - enkelglas aan de binnenzijde van de gevel: een

klimaatfaçade/klimaatraam;

- enkelglas buiten - spouw met zonregulering - dubbelglas binnen: de tweedehuidfaçade.

Deze gevel is vanwege zijn goede licht- en klimaatregulerende eigenschappen erg populair in Duitsland (Zweite Haut Fassade).

Een mooie toepassing van de tweedehuidfaçade is te zien in het project Micro Electronica Park te Duisburg van Foster Associates (enkelglas buiten - geperforeerde reflecterende horizontale lamellen in de spouw - dubbelglas binnen). De lamellen hebben een dubbele functie: ze functioneren als zonregulering en als lichtsturing. Zo is het licht te sturen door de stand van de lamellen te veranderen. In gesloten stand komt door de perforaties nog voldoende licht naar binnen voor werkzaamheden achter het beeldscherm. (fig. 6.35) Gebleken is dat het energetisch functioneren van deze gevelopbouw nog niet optimaal is.

Het principe van de tweedehuidfaçade wordt ook regelmatig toegepast bij renovatieprojecten. Een nieuw glazen scherm (meestal enkelglas zonder zonregulerende voorzieningen) wordt dan voor de oude gevel geplaatst. Koudebruggen worden zo ingepakt; de totale isolatiewaarde van de gevel gaat omhoog en de gevel kan worden voorzien van een goede zonregulering.

Voor verdere informatie over de tweedehuidfaçade zie hoofdstuk 9.

**Jaloezieën in het isolatieglas** De lamellen bevinden zich in de afgesloten spouw van een isolatieruit met als grote voordeel de stofvrije positie van de lamellen. Dit komt vooral tot zijn recht in ruimten zoals ziekenhuizen en laboratoria, waar uiterste hygiëne en stofvrijheid verlangd wordt. Over de levensduur en het



6.40 Kantoren ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.  
architect: ir. K. v.d. Woeven, i.s.m. ir. K. Rosdorf

6.39 Hoofdkantoor PGEM, Arnhem, 1991  
architect: B en D architecten

onderhoud van deze oplossing is nog onvoldoende bekend. De lamellen kunnen vast of variabel zijn, bij de variabele versie heeft de gebruiker de mogelijkheid om het zonlicht te sturen en zo het daglichtniveau in de ruimte te regelen. De ZTA-waarde van isolatieglasjaloezieën gecombineerd met een zonwerende beglazing is ongeveer 11%, vergelijkbaar met een effectieve buitenzonregulering.

**Andere spouwvullingen** Door het toepassen van speciaal gevormde spiegellamellen kunnen de zon en de lichtbeheersende eigenschappen nog verder worden verbeterd. (fig. 6.36) De spiegellamellen worden vastgezet onder een bepaalde hoek, afhankelijk van de bouwlocatie op aarde, de oriëntatie van de gevel en de gewenste hoeveelheid zonlicht. De warmtetoetreding door convectie is echter vrij hoog waardoor in de zomer toch nogal wat ongewenste warmte het vertrek binnentreedt.

Dit produkt kan als een voorloper worden gezien van een nieuwe reeks produkten met minuscule reflectoren in de spouw van een isolatiepaneel. Bij deze produkten staat het actief reguleren (automatisch of door de individuele gebruiker) van zonnestraling centraal. Echte zonregulering dus.

**Screens in de glasspouw** In plaats van jaloezieën of reflectoren kunnen ook allerlei screendoeken of beweegbare folies tussen het isolatieglas worden opgenomen. Een voorbeeld hiervan is een zonwerende transparante polyesterfilm met microperforaties, aan weerszijden met aluminium of brons opgedampt, beschermd door een polyestherfilm. De spouw is ca. 15 mm breed. Deze produkten voorzien in een behoef-

te van de markt, zolang actieve coatings nog onvoldoende ontwikkeld zijn.

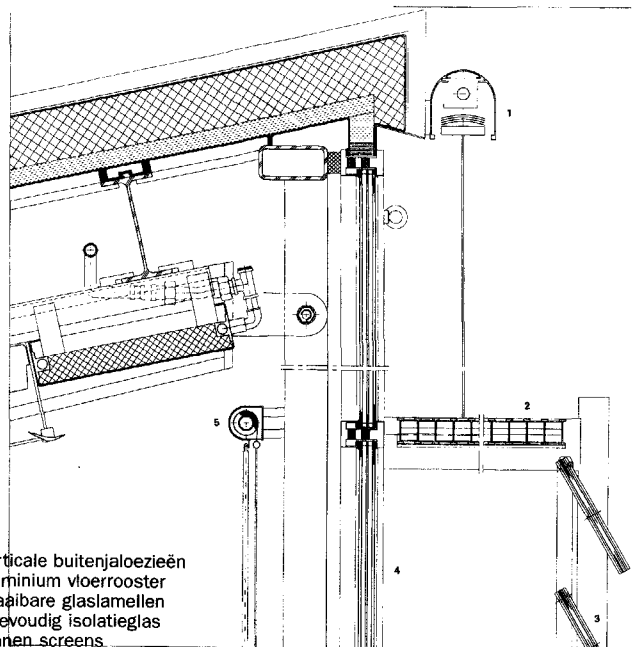
**Diafragma's in de spouw** Jean Nouvel heeft voor de gevel van het Institute du Monde Arabe in Parijs een elektronisch bestuurde, mechanische diafragmaconstructie bedacht en ontwikkeld die in de spouw van de glasgevel kon worden opgenomen. (fig. 6.37 A+B) Deze gevelelementen van 1800 x 1800 mm hebben in de spouw mechanische metalen diafragma's die automatisch reageren op de zon. Hiermee wordt de lichtinval geregeld. Deze prachtige architectonische oplossing is exemplarisch voor de behoefte die er bestaat aan zonreguleerbare voorzieningen tussen of voor het glas.

## 5 BINNENZONREGULERING

**H**et grote nadeel van binnenzonregulering is dat de zonnewarmte al binnen is voordat deze geweerd of gereguleerd kan worden. De enige mogelijkheid is om door middel van reflectie de zonnestraling zo veel mogelijk weer naar buiten te sturen. Hiervoor dienen de jaloezieën een hoge reflectie- en een lage absorptiefactor te bezitten, wat meestal lichte reflecterende kleuren betekent.

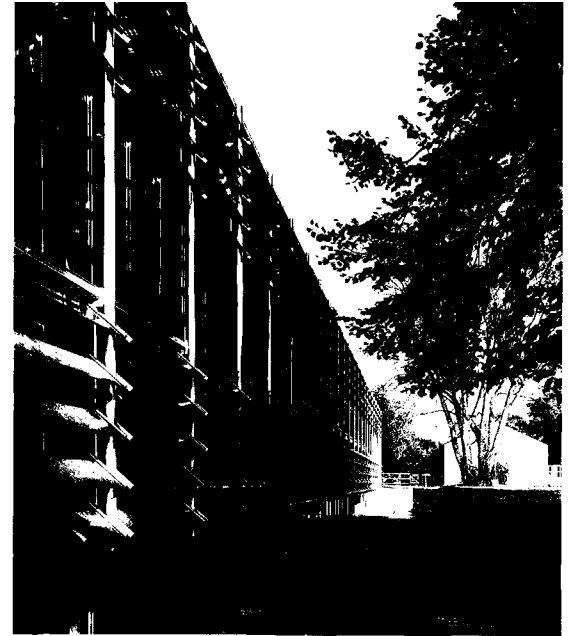
Voor de meeste binnenzonreguleringssystemen geldt dat de warmteoverdracht via convectie en straling naar het achtergelegen vertrek groot is (hoge CF-factor). Het via natuurlijke of gedwongen ventilatie afzuigen van de verwarmde lucht heeft een positieve uitwerking op de totale warmtelast. Maar ook op deze manier kan de binnenzonregulering niet die effectiviteit bereiken die met een goede buiten- of spouwzonre-





1. Verticale buitenjaloerieën
2. Aluminium vloerrooster
3. Draaibare glaslamellen
4. Drieduidig isolatieglas
5. Binnen screens

6.41 Verticale doorsnede aansluiting buitengevel/dak van kantoorgebouw Gartner, Gundelfingen.



6.42 Kantoorgebouw Gartner, Gundelfingen.  
architect: Kurt Ackermann und Partner Jürgen Feit  
Architecten BDA

guling te behalen is. Een binnenzonregulering wordt vaak additioneel aangebracht om de lichtintensiteit beter en zo mogelijk individueel te kunnen regelen, meestal in verband met het gebruik van computers (lichtregulering). Daarnaast kan om reden van privacy voor een binnenzonregulering gekozen worden. Een voordeel van binnenzonregulering is de eenvoudige montage en onderhoud. De individuele bedienbaarheid is goed en eenvoudig.

**Jaloerieën** Zoals bij buiten- en tussenjaloerieën zijn bij binnenjaloerieën de kleur en de mate van sluiting van de lamellen belangrijk voor de reflectie en absorptie van de zonnestraling. Een actieve lichtregulering is met jaloerieën mogelijk. Het is verstandig natuurlijk of gedwongen te ventileren tussen jaloerie en glasvlak.

**Rolgordijnen - screens** Er zijn ook rolgordijnen (rolschermen) met transparante reflecterende folies leverbaar die behalve in de spouw ook achter de glasunit te gebruiken zijn. Deze worden vooral toegepast als er vlakbij met computerschermen gewerkt wordt.

**Geperforeerde vaste componenten** Bij verschillende projecten zijn inmiddels goede resultaten behaald met het aan de binnenzijde monteren van geperforeerde componenten (bijvoorbeeld een geperforeerde aluminiumplaat). Door het gekozen perforatiepercentage kan de binnentredende hoeveelheid zon en licht bepaald worden. De spouw die ontstaat tussen het glas en de geperforeerde componenten kan worden afgezogen. Dit systeem leent zich uitermate goed voor toepassing bij dakbeglazing in atria en andere

grote glas-overdekte ruimten. (fig. 6.39) Op deze wijze zijn ook effectieve klimaatgevels of klimaatramen te realiseren, waarbij de geperforeerde componenten ook uit een open weefsel (ca. 35% open) kunnen bestaan. In die gevallen wordt de zonregulering gebruikt als binnenblad van de gelaagde gevel.

**Prisma's en holografische films** Het opnemen van prismatische platen of films is een mogelijkheid die nog in de kinderschoenen staat. Er wordt vrij veel geëxperimenteerd met deze systemen maar tot grote toepassingen is het tot op heden niet gekomen. Voor holografische en prismatische optische elementen geldt dat zij goed gebruikt kunnen worden om de directe zonnestraling te reguleren. Met diffuse straling hebben zij veel meer moeite. In de paragraaf over lichtregulering worden beide systemen uitvoeriger behandeld.

## 6 COMBINATIES VAN DIVERSE ZONREGULERENDE SYSTEMEN

Voor bij de wat grotere projecten zullen verschillende zonreguleringsystemen naast elkaar voorkomen. De oriëntatie van gevel of dak is hierop van grote invloed. Sommige zonreguleringsystemen zijn namelijk effectief voor een bepaalde oriëntatie. Daarnaast is het in veel gevallen mogelijk om een deel van de zonregulering in een vaste uitvoering te kiezen terwijl een ander deel regelbaar moet zijn, bijvoorbeeld ter hoogte van de doorzichtbeglazing. Combinaties van vaste horizontale roosters met regelbare lamellen zijn vanuit deze optiek al meerdere malen toegepast. Of er wordt gekozen voor een lichtreflecterende coating (direct op het glas of indirect op

een folie) in combinatie met beweegbare lamellen. Zo zijn er talloze combinaties mogelijk van zonregulerings-systemen, waarbij voor elk afzonderlijk project en voor elke afzonderlijke gevel de beste opties onderzocht moeten worden.

Zonregulering kan worden geïntegreerd met andere functies, zoals glazenwassersvoorzieningen, loop-roosters voor onderhoud, etc. Bij combinatiesystemen moet nog meer aandacht besteed worden aan de behoefte om gelijktijdig, maar onafhankelijk, zonlicht en warmte te reguleren. (fig. 6.40)

De eisen ten aanzien van het daglichtcomfort binnen maken, vooral bij computerruimtes, het gebruik van meerdere systemen naast elkaar vaak noodzakelijk. Mogelijk worden er in de toekomst systemen ontwikkeld die zon- en lichtregulering optimaal combineren.

Een voorbeeld van een gebouw waarin verschillende functies gecombineerd worden, is het kantoorgebouw van Gartner in Gundelfingen. (fig. 6.41 en 6.42) Het belangrijkste uitgangspunt bij het ontwerp was het realiseren van een energiezuinig kantoor. Het idee was, te besparen op energie voor verlichting en koeling. Daardoor kreeg het gebruiken en het weren van zonlicht (zonregulering) een centrale plaats in het concept. Een ander belangrijk uitgangspunt bij het project was het optimaliseren en afstemmen van verwarming, koeling en ventilatie om een constant en behaaglijk binnenklimaat te creëren. Op iedere werkplek kunnen binnen zekere grenzen de condities worden aangepast. In de gevel en op het dak zijn op plekken waar geen doorzichtglas is toegepast, dichte panelen gebruikt met een U-waarde van 0,3 – 0,4 W/m<sup>2</sup>K. De glas-units zijn gevat in thermisch onderbroken aluminium profielen en uitgevoerd als driedubbele beglazing met LE-coating. De spouw is gevuld met argongas (U-waarde = 0,9 W/m<sup>2</sup>K). Hierdoor is het warmteverlies door transmissie 70% minder dan bij conventioneel dubbelglas. Bij de berekeningen werd gewerkt met de Ueq., dat wil zeggen dat de warmte winnig uit zonstraling werd meegerekend. Bij de berekeningen kwam men voor het glas op het zuiden uit op een negatieve Ueq-waarde: transmissiewinst in plaats van verlies. Omdat als negatief aspect het broeikas effect kan ontstaan is voor deze geveloriëntatie zonwering significant. Er is onder andere gekozen voor een systeem met beweegbare glazen en aluminium lamellen.

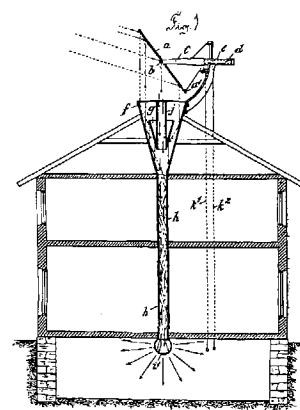
De glaslamellen voor de gevel zijn gemaakt van gelamineerd veiligheidsglas met een dikte van 10 mm, voorzien van een weersbestendige reflectielaag aan de bovenkant. De lamellen zijn 90 cm voor de gevel geplaatst. Bij een bewolkte dag worden de lamellen in een reflecterende stand gedraaid zodat het licht naar het diffuus reflecterende plafond en verder de kantoorruimte in gezonden wordt. In gesloten toestand dienen de lamellen als zonwering en functioneren zij als zon-

reflecterende beglazing met behoud van zicht naar buiten. De lamellen boven het daklicht zijn van geëxtrudeerd aluminium en zorgen in het middengebied voor diffuus licht.

De aluminium roosters hebben een dubbele functie: ze dienen als onderhoudsvoorziening en als vaste zonregulering. Op plaatsen waar met computers gewerkt wordt, kan de binnenzonregulering (geweven doek van fiberglas met PVC-coating) naar beneden gelaten worden. De LTA is dan 10%, men kan er nog wel door naar buiten kijken.

De verwarming/koeling werkt volgens het door Gartner vaak toegepaste principe van 'de verwarmde gevel'. De stalen binnenprofielen van de gevelconstructie fungeren als convectoren: 's winters voor verwarming en 's zomers voor de eerste koeling. De hoofdkoeling geschiedt door een koelplafond, waarbij de oppervlaktetemperatuur van het afgehangen plafond enkele graden lager is dan de gewenste temperatuur van het vertrek.

Gartners gebouw toont een synergie tussen architectuur, energiebesparing en zon- en lichtregulering. Figuur 6.42 geeft een beeld van de genoemde zonreguleringsvoorzieningen. De mogelijkheden van lichtregulering worden in het volgende hoofdstuk behandeld.

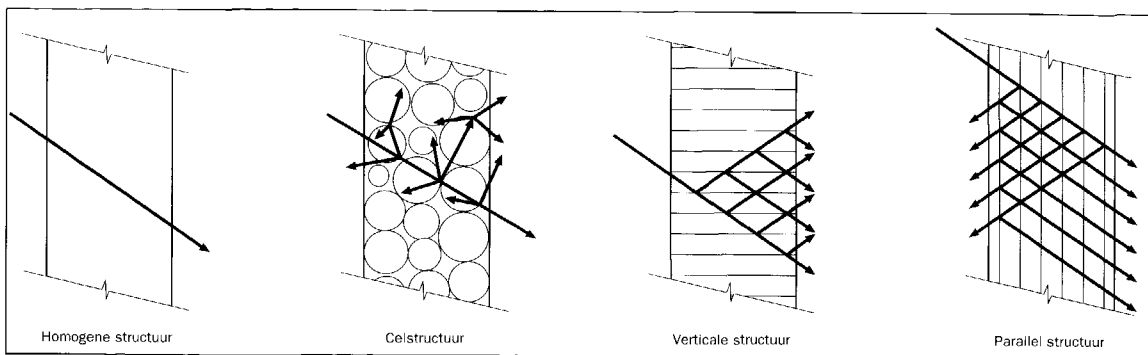


6.43 Lichtregulering door O.B. Hanneborg (ca. 1900).

## LICHTREGULERING

De eerste geschriften over daglichttoetreding in de bouw zijn van Vitruvius (ca. 25 v.C.). Hij beschreef hoe een gebouw zo goed mogelijk van daglicht kon worden voorzien alsmede de eerste wetmatigheden over daglichttoetreding in gebouwen. Architectuur is de kunst van het maken van ruimten en licht speelt daarin een belangrijke rol. Ruimten zonder licht kan men niet zien. De architectuur kent een lange traditie van ontwerpen met daglicht. Het daglichtontwerpen is met de komst van de kunstverlichting, en vooral met de uitvinding van de TL-buis verlaten. Er konden nu ruimten worden ontworpen die volledig daglichtonafhankelijk waren. De diepe kantoorruimten ontstonden speciaal in Amerika en de Aziatische landen; de mensen wendden aan de afwezigheid van daglicht en uitzicht. Het ontwerpen met daglicht is de laatste 10 jaar weer enigszins terug onder de aandacht van Europese architecten en opdrachtgevers. Het energiezuinig ontwerpen is hierop van grote invloed geweest.

Daglicht is de lichtstroom (= het gewogen vermogen in lumen dat door een bron in de vorm van zichtbare straling wordt uitgezonden) die door de directe en diffuse zonnestraling gezamenlijk wordt geleverd. Daglicht is het algemene begrip voor de beschikbare hoeveelheid natuurlijk licht. Dagverlichting in een ruimte is het resultaat van de wijze waarop het daglicht bin-



6.47 Vier typen translucente isolatie.

nen wordt gehaald. [6.9] De architect kan het daglicht niet beïnvloeden, hij kan wel door ontwerpbeslissingen de dagverlichting van een ruimte bepalen.

Bij een normale van de zijkant verlichte ruimte verloopt de daglichtfactor ongeveer als volgt: op een halve meter van de gevel is er nog 2000 lux (daglichtfactor 8%), op 1,5 meter is dit afgenomen tot 300 lux en een daglichtfactor van 1,2%. Om de gehele werkruimte van voldoende dagverlichting te voorzien zullen aanvullende maatregelen moeten worden genomen. De grote hoeveelheid daglicht vlakbij de gevel moet gelijkmatiger over de werkruimte worden verdeeld, het daglicht zal dus naar achteren moeten worden getransporteerd. Hiervoor zijn verschillende technieken beschikbaar. In veel gevallen zal geprobeerd worden het helderste gedeelte van de hemelkoepel (het hoge zenitlicht) te benutten omdat dat het meest effectief is.

De idee om daglicht te reguleren, of te sturen, bestaat al lang. Zo stelde O.B. Hanneborg rond de eeuwwisseling voor om met behulp van spiegels de zonnestraling in een trechter op te vangen waarna de straling via een pijp in een donkere ruimte terecht zou komen. (fig. 6.43) Dit principe werd door Mendelsohn verder uitgewerkt en toegepast in de door hem ontworpen Einstein Tower (Potsdam, 1924). (fig. 6.44) Norman Foster gebruikte dit principe 60 jaar later in zijn ontwerp voor de Hongkong en Shanghai Bank in Hongkong. Ook hier wordt het daglicht met behulp van computergestuurde spiegels gereflecteerd, in dit geval om het daglicht zo ver mogelijk het atrium in te zenden. De spiegels volgen de baan van de zon om zo een optimale zoninstraling te behouden.

Er zijn twee basistypen lichtregulerende systemen

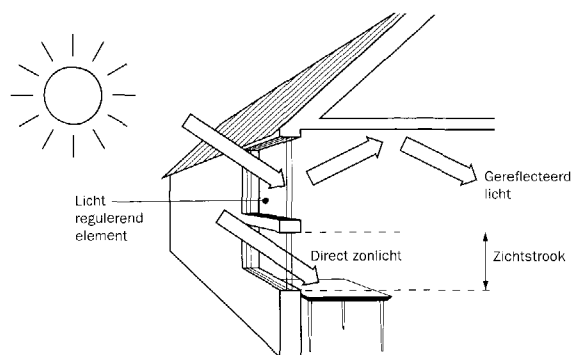
te onderscheiden: de systemen die het licht begeleiden of transporteren (heliostaat, light-pipe) en de systemen die het licht sturen (reflectoren, prisma's, hologrammen). Hieronder maken we een andere onderverdeling: vier groepen die elk een specifieke vorm van lichtregulering vertegenwoordigen.

### 1. Transparante elementen in de gevel 'side-lighting' (fig. 6.46 A+B)

De hoeveelheid en verspreiding van het daglicht in een van de zijkant verlichte ruimte wordt beïnvloed door de plaats en de vorm van het raam en de keuze van het lichtdoorlatende materiaal. Daarnaast beïnvloeden zonregulering, geometrie en afwerking van de ruimte de dagverlichting. Het lichtdoorlatende materiaal kan het daglicht gewoon doorlaten of de straling ombuigen en/of verstrooien. Er bestaan veel voorzieningen om het daglicht te reguleren:

- **Prismatisch geslepen glas**, om het daglicht te sturen of diffuus te verspreiden en directe zonnestraling te weren. In het begin van de twintigste eeuw werden de eerste prismatische systemen toegepast. De toen nog slechte elektrische verlichting maakte dat er allerlei innovaties op het gebied van daglichtpenetratie in ruimtes werden gedaan. Deze ontwikkelingen leidden tot twee groepen prisma's: zonlichtsturende prisma's en zonlichtuitsluitende prisma's. Het soort prisma en de stand van het prisma bepalen of directe straling wordt geweerd en/of het diffuse licht wordt doorgelaten of afgebogen. Prisma's zijn translucent zodat verblinding wordt voorkomen. Een nadeel is dat ze het doorzicht belemmeren. Het toepassen van prisma's in glazen daken biedt grote voordelen, het diffuse dag-





6.48 De gevelopening opgedeeld in een zichtstrook en een strook voor de daglichtvoorziening. De daglichtstrook is op diverse wijzen en met diverse componenten te vullen.

licht wordt voor het grootste gedeelte doorgelaten terwijl de directe zonnestraling wordt gereflecteerd. (fig. 6.69 A+B) Een goedkopere variant van de prisma's zijn de glazen bouwstenen of glasblokken met prisma's. Naast glazen prisma's bestaan er ook folies en polycarbonaatplaten met aanverwante eigenschappen. Het voordeel van folies is dat deze zeer dun zijn en eenvoudig aan te brengen.

- **Transluente isolatiematerialen** kunnen in de spouw van dubbelglas worden opgenomen. Het isolatiemateriaal laat het licht diffuus door, de LTA wordt enigszins verlaagd, de U-waarde gaat omhoog. Er zijn verschillende soorten transluente isolatiematerialen met elk hun eigen specifieke opbouw en eigenschappen. (fig. 6.47)

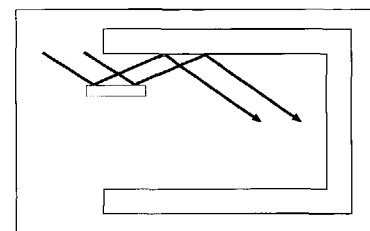
- **Glas met hologrammen** (ook wel aangeduid met **holo's** of in het Engels met HOE's = holografic optical elements) heeft invloed op de brekingsindex van het licht. Op deze manier kan het licht een bepaalde kant op worden gezonden. Holo's buigen de richting van het licht door diffractie. De eigenschappen van een hologram worden bepaald door het diffractiepatroon. Deze holografische patronen worden met behulp van laserlicht onzichtbaar in een coating gestraald. De diffractiepatronen kunnen ook op een polyesterfilm worden gedrukt. De hologrammen worden daarna als coating of als dunne film op het glas aangebracht. Er zijn holo's die het zonlicht kunnen verspreiden, ombuigen of juist bundelen. Holo's hebben het voordeel op andere lichtregulerende middelen dat de stralingsintensiteit er nauwelijks door vermindert (<10%) zodat maar weinig licht verloren gaat.

Op het moment zijn er alleen holo's beschikbaar die de directe straling kunnen ombuigen. Diffuse straling is met holo's nauwelijks te beïnvloeden. Holo's kunnen worden gebruikt om specifieke delen van het stralingsspectrum uit te doven (bijvoorbeeld het UV- en infraroodgedeelte). Zonwerende toepassingen behoren hierdoor tot de mogelijkheden. Een andere eigenschap is het scheiden van de diverse kleuren uit het spectrum, hiermee kunnen interessante verlichtingsstrategieën worden ontwikkeld. In de nabije toekomst zullen, door een verdere kostenreductie, de mogelijkheden van holo's sterk toenemen. In de gevel van de toekomst zal dan ook zeker van holo's gebruik worden gemaakt.

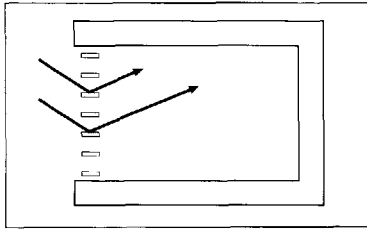
De meeste van de hiervoor beschreven materialen en technieken zijn bij uitstek geschikt om te worden toegepast in bovenlichten (boven de uitzichtzone). Het raam moet dan worden opgedeeld in een zichtgedeelte en een daglichtgedeelte (het bovenlicht). (fig. 6.48)

## 2. Lichtreflectoren 'light-shelves' (fig. 6.49)

Lichtreflectoren hebben vaak een dubbele functie: ze reflecteren het 'hoge' licht via een horizontaal reflectiescherm naar het plafond en voorzien de directe werkruimte van schaduw. Lichtreflectoren kunnen binnen en/of buiten het gebouw worden aangebracht. Het plafond wordt daartoe meestal gedeeltelijk reflecterend uitgevoerd. Door de sterke reflectie neemt de lichtopbrengst achter in de ruimte verder toe. Uit onderzoek is gebleken dat het buiten de gevel gelegen deel van de lichtreflector invloed heeft op de kwantiteit van het daglicht terwijl het binnen de gevel gemonteerde deel vooral van invloed is op de kwaliteit van de dagverlichting. Lichtreflectoren kunnen goed worden toegepast in bestaande ruimtes waar, ondanks grote



6.49 Lichtreflectoren.



6.50 Reflecterende lamellen.

ramen, onvoldoende daglicht binnenkomt. Deze situatie doet zich veel voor in ruimtes met een lage reflectiecoëfficiënt (wanden, vloer en meubilair). Verblinding door te hoge lichtcontrasten of door een slechte lichtverdeling (glare) kan met behulp van lichtreflectoren worden opgelost. De optimale hoek van de buiten de gevel gemonteerde lichtreflector is ca.  $30^\circ$  ten opzicht van de gevel. Lichtreflectoren kunnen daarnaast ook nog een zonwerende functie vervullen, vooral voor hoge zonnstanden (zuidgevel).

**3. Reflecterende lamellen** (fig. 6.50) Behalve als zonwering kunnen de zonreguleringslamellen ook goed gebruikt worden voor de lichtsturing. De lamellen reflecteren, al naar gelang de stand, het opvallende licht dieper de ruimte in. Dit is afhankelijk van het materiaal, de plaatsing en het oppervlak van de lamellen. Het zijn in feite in serie gekoppelde lichtreflectoren. De convectieve warmteoverdracht van de lamellen naar de omgeving moet zoveel mogelijk worden beperkt. Hier moet rekening mee worden gehouden in verband met ongewenste warmtetoetreding. Er bestaan talloze varianten van lichtregulering door middel van lamellen:

- Spiegellamellen voor de gevel zijn vast of beweegbaar; ze zijn gemaakt van verschillend materiaal (aluminium, glas, staal).
- Spiegellamellen in de luchtkamer van een isolatieglaspaneel zijn op een vooraf ideale stand gefixeerd. Ze hebben een zonwerende en lichtregulerende functie. Afhankelijk van de stand reflecteren zij meer straling naar binnen of naar buiten.
- Prismatische lamellen voor de gevel dienen meestal als zon- en lichtregulering. Het licht dat door de lamel-

len straalt wordt van richting veranderd.

- Door combinaties van lamellen achter elkaar te hangen nemen de mogelijkheden van een goede lichtregulering toe. Een voorbeeld is het door Hüppe ontwikkelde systeem waarbij prismatische zonreguleringslamellen alleen het diffuse zonlicht doorlaten en de directe straling reflecteren. Het doorgelaten licht kan dan door de spiegellamellen verder worden afgebogen.

**4. Daklichten en lichtstraten** (fig. 6.51) Het gebruik van daklichten is vooral in het begin van de industriële revolutie, door het overmatige gebruik van beglaasde daken, opgekomen. Er zijn verschillende typen te onderscheiden:

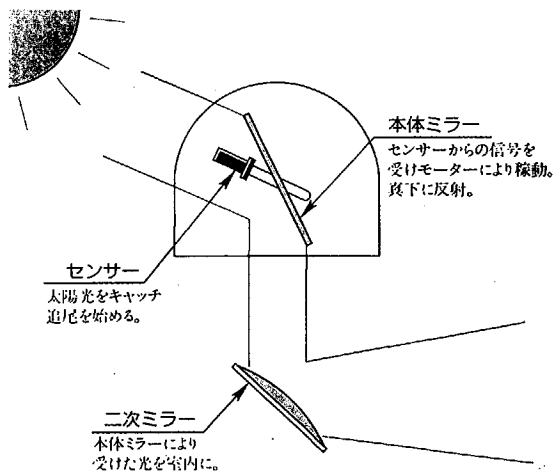
- sheddaken, zaagtanddaken met hellend of verticaal glas (schuin);
- solitaire lichtkoepels, lichtstraten en platte glazen dakvlakken (horizontaal);
- lantaarns met aan beide zijden glas (verticaal).

Bij daklichten met horizontale beglazing is een goede zonregulering belangrijk.

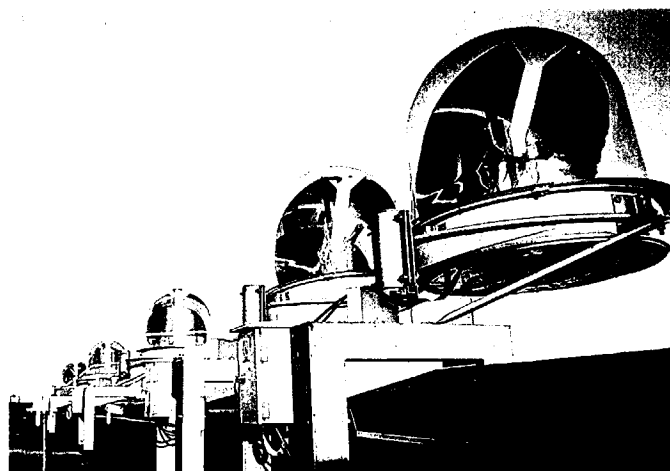
Het atrium kan als een bijzondere lichtkoepel aan deze groep worden toegevoegd. Het kan een goede bijdrage leveren aan de dagverlichting van de omliggende en onderliggende ruimten. Voor meer informatie zie de paragraaf over passieve zonbenutting.

Wanneer het dak zich opent voor het licht, vervalt het onderscheid tussen dak en gevel. Het dak wordt tot een volwaardige vijfde gevel waarvoor dezelfde materialen gebruikt worden en ook dezelfde bouwphysiologische principes gelden.

Het hierboven gegeven overzicht is slechts een opsomming van enkele veel voorkomende lichtregulerende systemen, er zijn nog talloze andere varianten



6.53 A Principe Heliostaat.



6.53 B Lichtsturing door middel van Heliostaten.

en combinaties mogelijk. Vooral nu daglichtregulering zo in de belangstelling staat worden er regelmatig nieuwe concepten ontwikkeld. Enkele opmerkelijke constructies van lichtregulering tot slot:

- Reflecterende constructies om het zonlicht ook op de noordgevel te krijgen. (fig. 6.52) Via reflecterende panelen wordt het zonlicht uit het zuiden de vertrekken op het noorden binnengezonden.
- Kleine heliostaten, een Japans systeem, waarmee zonnestrallen via dubbele spiegels in ruimten worden gestuurd die niet direct door zonlicht bereikt kunnen worden. (fig. 6.53 A+B)
- Tenslotte kan men ook met eenvoudige middelen zorgen voor een betere lichtverdeling, bijvoorbeeld door lichtreflectie; denk hierbij aan witte kiezels op de grond voor de gevel of aan een vijver grenzend aan de gevel.

## PASSIEVE EN ACTIEVE ZONBENUTTING

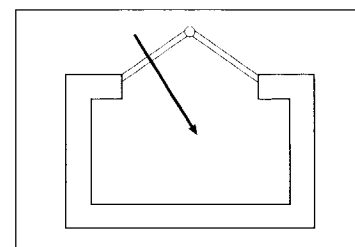
**Algemeen** Het in figuur 6.54 aangegeven schema over het benutten van zonnestraling maakt duidelijk dat er naast de 'passieve' benuttingsvormen die eerder aan bod zijn gekomen nog andere mogelijkheden zijn. Een belangrijk onderscheid is dat tussen de passieve en actieve zonbenutting.

Passief gebruik van zonne-energie, meestal aangeduid met de afkorting PZE, is een vorm van thermische omzetting van zonnestraling zonder dat er hulpenergie aan te pas komt. Het wordt gekarakteriseerd door het opvangen, opslaan en transporteren van zonnewarmte door gevels, daken en vloeren om zo te voorzien in ruimte- en/of tapwaterverwarming of verlichting. Het warmtetransport vindt op een natuurlijke

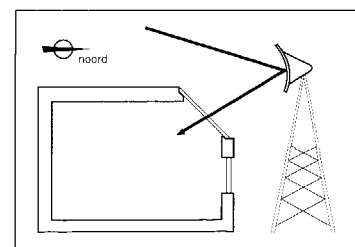
manier plaats door geleiding, convectie en/of straling. Een raam op het zuiden is hiervan het meest elementaire voorbeeld: de zonne-energie kan door het raam naar binnen stralen en draagt op die manier bij aan het opwarmen van de ruimte en de daglichtvoorziening.

Het passief benutten van zonne-energie is één van de ontwerpmiddelen om het gebruik van fossiele energiebronnen te verminderen. Passieve zonbenutting is evenals actieve zonbenutting (AZE) in eerste instantie een stedenbouwkundige en architectonische aangelegenheid. Stedenbouwkundig moeten de juiste randvoorwaarden voor PZE en AZE worden vastgelegd. Bij de verkaveling dient rekening te worden gehouden met de oriëntatie van de gebouwen en een onbelemmerde zontoetreding (de belemmeringshoek dient zo klein mogelijk te zijn). Daarna zal de architect bij de zonering en compartimentering van de ruimten rekening moeten houden met de oriëntatie van de voornaamste verblijfsruimten. Ruimten met de hoogste warmtevraag moeten zoveel mogelijk van de zon kunnen profiteren (thermische zonering).

Met het opnemen van de energieprestatienorm in het bouwbesluit worden eisen gesteld aan het theoretisch energiegebruik van de totale woning [6.5] en (te zijner tijd) de utiliteitsbouw. Bij PZE gaat het erom in de winter tot een optimum te komen tussen warmte-winst door zoninstraling en warmteverlies door transmissie. In de volgende paragrafen worden enkele vormen van PZE kort toegelicht.



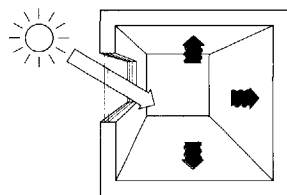
6.51 Daklichten en Lichtstraten.



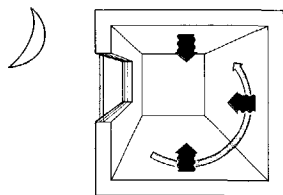
6.52 Reflectiepaneel.



6.57



6.55 A Overdag warmteaccumulatie.



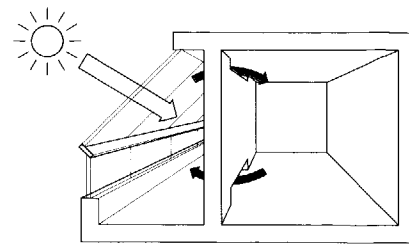
6.55 B 's Nachts warmteafgifte.

### Percentage glas en oriëntatie (fig. 6.55 A+B)

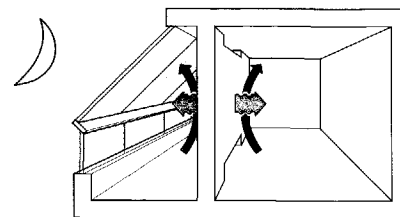
Het percentage glas is van grote invloed op de hoeveelheid zon die de ruimte kan binnenkomen. De meest directe en goedkoopste manier van PZE is grote ramen op het zuiden en kleine op het noorden (om zo de transmissieverliezen te beperken). Een glasvlak op het zuiden levert de hoogste energieopbrengst. Een afwijking van 30° naar oost of west voldoet ook nog, daarna vermindert de opbrengst sterk. De glaskeuze is bepalend voor het gewenste effect, het bepaalt de warmteopbrengst maar tevens ook de verliezen.

**De serre** (fig. 6.56 en 6.57) Een serre vergroot de mogelijkheden om zonnewarmte passief en actief te gebruiken. Een serre kan worden opgevat als een grote klimaatgevel of als dubbele gevel. De serre kan een interessante aanvulling zijn op de gebruiksmogelijkheden van een gebouw. Zo kan een serre het comfort verhogen en het energiegebruik verlagen. Dit is echter sterk afhankelijk van de uitvoering en het gebruik. De investeringskosten zijn vrij hoog en niet alleen door de extra energiewinst terug te verdienen. De bijkomende comfortverbeteringen en extra gebruiksmogelijkheden moeten doorslaggevend zijn, bijvoorbeeld als de serre als geluidsbuifunctioneert en het vloeroppervlak vergroot.

Het PZE-concept voor een serre met natuurlijke ventilatie heeft de meeste kans van slagen bij een goede zuidoriëntatie en een geringe belemmeringshoek in het stookseizoen. De vertrekken met de grootste warmtevraag moeten direct aan de serre grenzen. De in de serre opgewarmde lucht kan zo passief gebruikt worden als (voor)verwarmde ventilatielucht voor de aan de serre grenzende ruimtes. Bij een actief



Serre A. Dagsituatie.

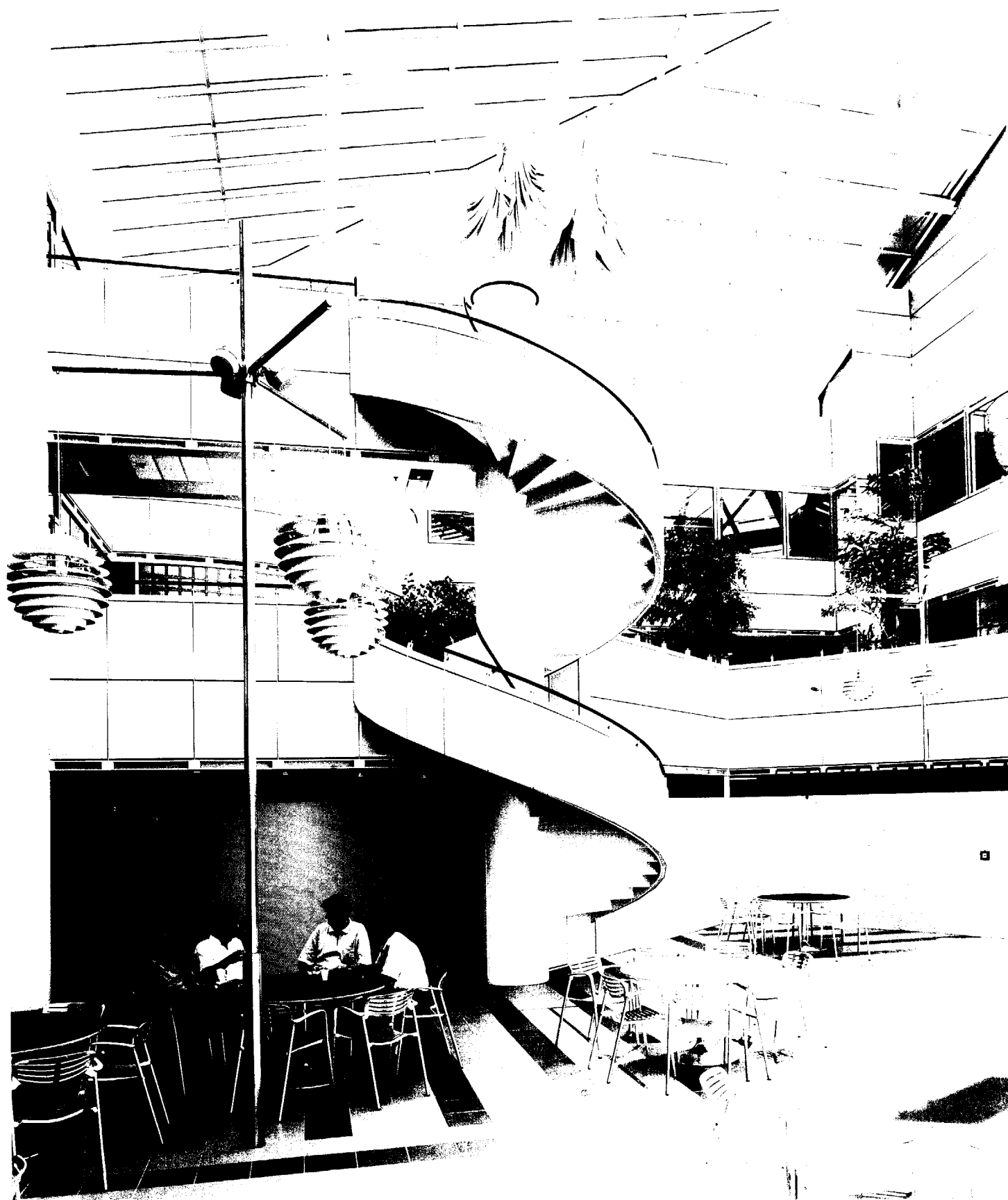


6.56 Serre B. Nachtsituatie.

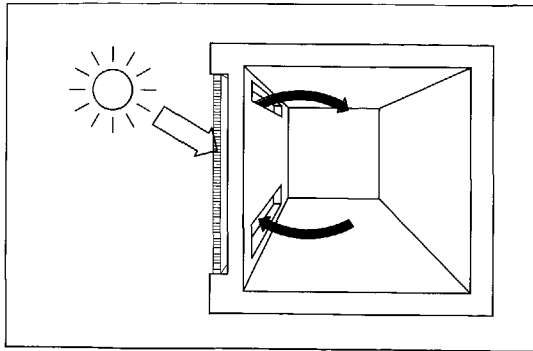
systeem wordt de serrelucht afgezogen en indien nodig verder verwarmd; vervolgens kan de lucht aan verschillende ruimtes worden afgestaan. De ventilatiehuishouding is van doorslaggevend belang voor het energetisch resultaat van een serre. Een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinning kan het warmteverlies verminderen. Uiteindelijk blijkt meestal het gebruikersgedrag bepalend voor het behaalde energetisch resultaat.

In de zomer is ventilatie (eventueel aangevuld met zonregulering) noodzakelijk om te hoge temperaturen in de serre tegen te gaan. In de winter is de kierdichtheid van de serregevel van belang om transmissieverliezen tegen te gaan. Voorkomen moet worden dat serres als een definitieve uitbreiding van de geklimatiseerde binnenruimte gebruikt gaan worden. In die gevallen zal de serre ook verwarmd moeten worden, wat leidt tot energieverlies in plaats van energiebesparing. Aandachtspunten bij het ontwerp van een serre zijn: oriëntatie en belemmeringshoek; goede ventilatiemogelijkheden; zonwering ter voorkoming van te hoge ruimtetemperaturen; zonwering als nachtsolatie; een gesloten dak zowel ter voorkoming van te hoge ruimtetemperaturen als voor nachtsolatie; condensafvoer.

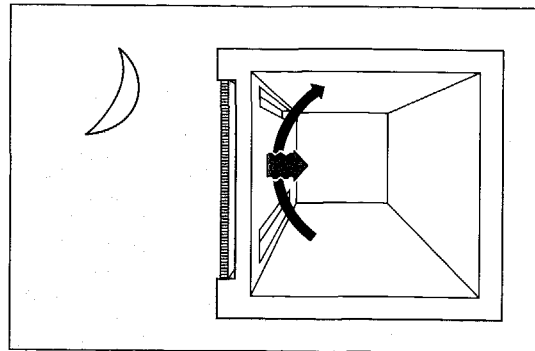
De serre kan op verschillende wijzen worden voorzien van zonregulering. Door het horizontale of licht hellende glasdak is niet elke zonregulering geschikt. Indien voor een buitenzonregulering wordt gekozen mag de bereikbaarheid van zowel de zonregulering als het glas voor het onderhoud niet worden vergeten. Verder is het aan te raden te zorgen voor een goede ventilatie tussen het glas en de zonreguleringinstallatie. Op die manier wordt de convectieve warmteoverdracht beperkt.



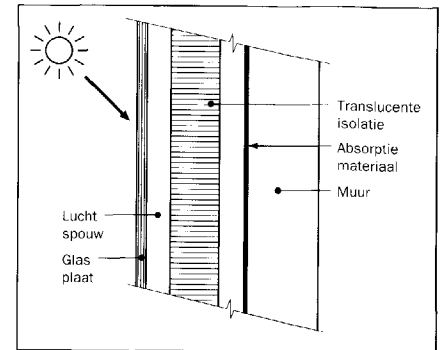
6.58 Atrium hoofgebouw IV Nederlandse Spoorwegen, Utrecht.  
architect: Articon, Ir. A. J. Fichtinger.



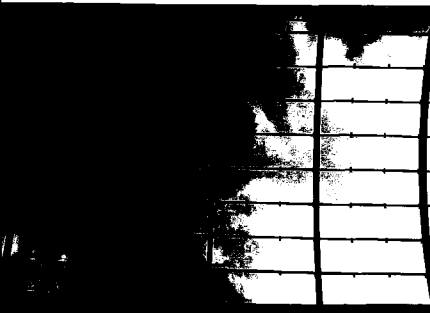
6.60 A Principe Trömbegavel. Dag.



6.60 B Principe Trömbegavel. Nacht.



6.61 A Opbouwprincipe Trömbegavel **zonder** zonregulering.



6.59 Dakbeglazing.

Een serre kan ook voor renovatieprojecten een aantrekkelijk alternatief zijn. Het afsluiten van galerijen en balkons om koudebruggen te verhelpen en te besparen op het toekomstig onderhoud zijn goede economische argumenten.

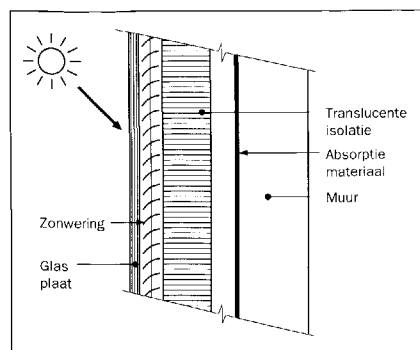
**Het atrium** (fig. 6.58) Voor het atrium geldt deels hetzelfde commentaar als voor de serre. Aanvullende eisen die het ontwerp van het atrium beïnvloeden (luchtkwaliteit, overmatige ruimtetemperaturen, brandveiligheid, uitzicht, warmteaccumulatie, etc.) vallen buiten het kader van dit boek. De laatste jaren is er een hernieuwde belangstelling onder architecten voor het toepassen van atria bij kantoren, winkels, ziekenhuizen en hotels. Maar het atrium komt ook steeds vaker voor als overdekte binnenstraat bij woningen, bijvoorbeeld ouderenwoningen. Energetische en commerciële belangen maken het gebruik van atria interessant. Functies als daglichttoetreding, natuurlijke ventilatie, geluidsbufter en het benutten van passieve zonne-energie zijn redenen om een atrium in het ontwerp toe te passen. Het atrium kan gebruikt worden als buffer-ruimte, een overgang tussen binnen en buiten waar een overgangsklimaat heerst (windarm en zonder neerslag), maar ook als lichtschacht en overdekte openbare ruimte.

Aandachtspunten bij het ontwerp van een atrium zijn: maatregelen ter voorkoming van te hoge ruimtetemperaturen; geometrie van de binnenplaats; akoestiek; dakconstructie en dakbeglazing; wanden en vloer; beglazing van de aan het atrium grenzende vertrekken i.v.m. daglichttoetreding; brandwerende voorzieningen; ventilatie en luchtkwaliteit; reiniging en onderhoud; veiligheid, vooral ten aanzien van de dakbeglazing.

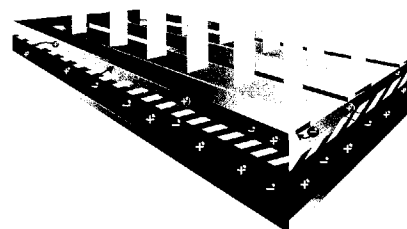
De ontwerpeisen genoemd bij de serre zijn ook voor een atrium van toepassing. Bij beide moet in het ontwerp rekening worden gehouden met de kans op te hoge temperaturen in de zomer. Het toepassen van een vorm van zonregulering is vaak noodzakelijk. Of het ontwerp uiteindelijk als geslaagd beschouwd mag worden hangt af van sociale aspecten (imago, privacy), binnenklimaat (temperatuur, vocht, lichtsnelheid, akoestiek) en energiegebruik. (fig. 6.59)

**Zonnewarmteopslag** Een probleem bij het benutten van zonne-energie is dat de periode van vraag meestal niet overeenkomt met de periode van aanbod. De mogelijkheid om zonne-energie op te slaan en op een later tijdstip te gebruiken zou een oplossing zijn. Zonne-energie zou tijdelijke kunnen worden opgeslagen, bijvoorbeeld rond het middaguur om het 's avonds weer te gebruiken (de Trömbegavel is een voorbeeld van dit principe). Het is ook mogelijk om de zonne-energie voor een langere periode te reserveren, bijvoorbeeld door in de zomer verwarmd water in de grond (of in grote geïsoleerde tanks) op te slaan en dit in de winter te gebruiken. De warmte kan ook via warmtewisselaars aan het grondwater worden overgedragen waarna de warmte in de winter weer gebruikt kan worden. Deze systemen verkeren nog in een ontwikkelingsstadium en zijn met de huidige relatief lage energieprijzen nog niet rendabel. Om vraag en aanbod beter op elkaar af te stemmen zal in de toekomst het opslaan van zonne-energie een steeds belangrijker item worden. Onderzoek en nieuwe ontwikkelingen wijzen in die richting.

**De Trömbegavel** (fig. 6.60 A+B) Deze gevel, ook wel Trömbemuur genoemd, is gebaseerd op het princi-



6.61 B Opbouwprincipe Tröbbegevel met zonwering.



6.62 Omzetten van zonnestraling in energie (fotovoltaïsche omzetting) in een zonnecel.

pe van korte-termijnopslag. Er wordt gebruik gemaakt van het accumulerend vermogen van de gevel. De zonne-energie wordt tijdelijk in de gevel opgeslagen en op een later tijdstip weer uitgezonden, zowel in de vorm van straling als via convectie. Het geleidelijk opwarmen van de massa van de gevel zorgt voor het vertraagde temperatuursverloop. Dit temperatuurnivellerende effect kan in de zomer nog versterkt worden door de muur 's avonds te koelen met koude lucht (een vorm van passieve koeling). Daarnaast is er bij de meeste Tröbbegevels ook een mogelijkheid om de warmte direct te gebruiken. De door langgolvige infraroodstraling opgewarmde spouwvlucht zal door natuurlijke luchtcirculatie de achtergelegen ruimte verwarmen. (fig. 6.61 A+B)

De opbouw van een Tröbbegevel bestaat uit de volgende elementen (er zijn nogal wat varianten afhankelijk van het klimaat en de technische uitwerking):

- glazen vliesgevel (meestal enkelglas);
- eventueel een zonwering om te hoge ruimtetemperaturen tegen te gaan en nachtelijke uitstraling te beperken;
- luchtspouw, deze kan voor een deel worden gevuld met transluente isolatie om zo de transmissieverliezen te beperken;
- binnenblad met veel massa: aan de onder- en bovenkant bevinden zich openingen om een natuurlijke trek door de spouw mogelijk te maken.

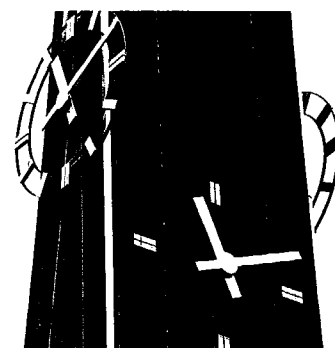
Een andere mogelijkheid is om de Tröbbegevel uit te breiden met een waterleidingnet in het binnenspouwblad: het principe van een passieve zonnecollector. Het water wordt op deze manier op temperatuur gebracht waarna het als warm tapwater of voor de ruimteverwarming gebruikt kan worden.

## ACTIEVE ZONBENUTTING (AZE)

Bij de actieve zonbenutting wordt in tegenstelling tot de passieve zonbenutting wel gebruik gemaakt van energetische hulpbronnen. Meestal om het verwarmde medium of de energie te transformeren, te transporteren of te bewaren (elektrische pompen, ventilatoren). Sommige systemen bestaan in beide vormen, bijvoorbeeld de actieve en passieve zonneboiler. In de volgende paragraaf wordt alleen het gebruik van fotovoltaïsche cellen kort toegelicht. Voor de andere vormen van AZE verwijzen we naar de literatuur die hierover verschenen is.

**Fotovoltaïsche systemen (PV-systemen)** Het omzetten van zonne-energie in elektriciteit door middel van fotovoltaïsche cellen staat volop in de belangstelling. Nadat deze technologie onder invloed van ruimtevaartonderzoek een enorme vooruitgang heeft gekend wordt er nu ook in niet-ruimtevaartkringen veel aandacht aan besteed. Doel van het meeste onderzoek is het rendement van de PV-cellen te verhogen en de produktietechniek te vereenvoudigen. Dit om de nog steeds hoge aanschafprijs te verlagen. Daarnaast wordt er veel onderzoek gedaan naar nieuwe materialen om het tot dusver gebruikte silicium te vervangen. Evenals bij andere AZE-systemen blijkt ook hier een groot tekort aan adequate opslagmogelijkheden met voldoende capaciteit, een hoog rendement en een lange levensduur.

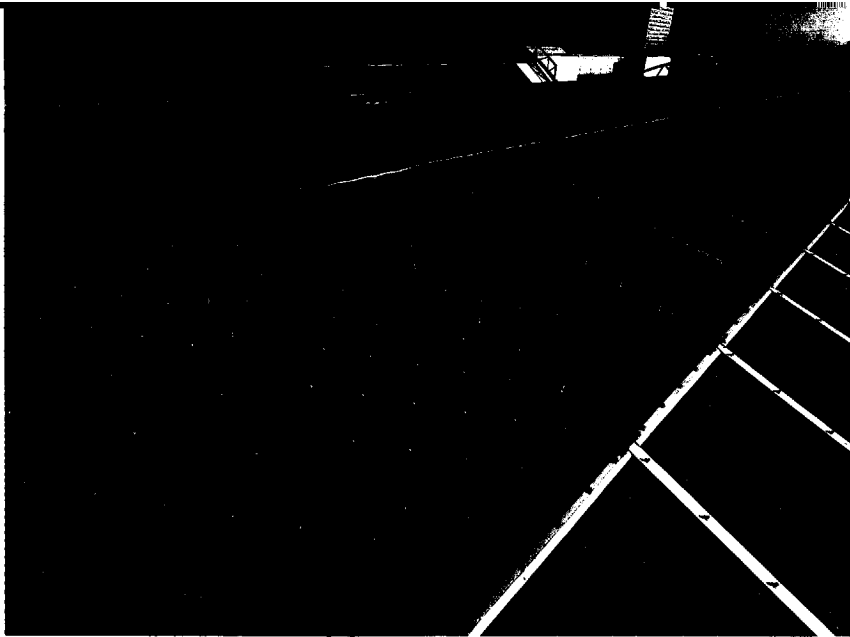
De omzetting van zonne-energie vindt plaats in de PV-cellen die in serie geschakeld een zonnepaneel vormen (of zonnecel PV-module). (fig. 6.62) Bij de fotovoltaïsche omzetting treedt energieverlies op. Hierdoor



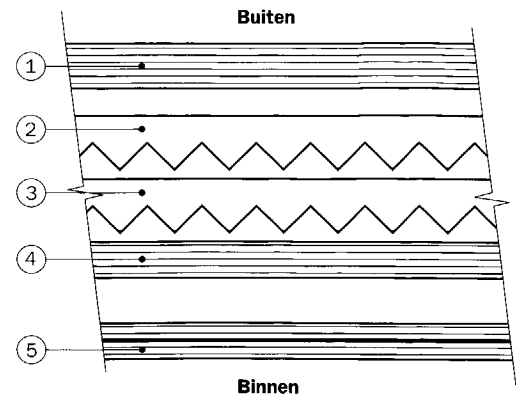
6.64 Bij de restauratie van deze kerk is de zuidgevel bekleed met PV-modules, Steckborn (CH).



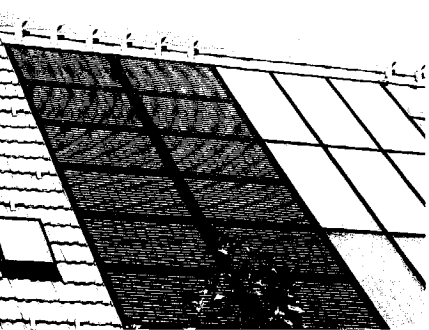
6.65 PV-modules geïntegreerd in een zonwering van een kantoorgebouw, Liestal (CH).



6.69 A Haus der Geschichte, Bonn (D).  
architect: Hartmut und Ingeborg Rüdiger



6.69 B 1 Voorgespannen glas (10mm)  
2 Retroreflecterend prisma als zonwering (12mm)  
3 Prismatisch paneel t.b.v. lichtsturing (12mm)  
4 Float glas met Low-Ecoating (8mm)  
5 Gelaagd veiligheidsglas met UV-folie en reflecterende coating (8mm)



6.66 PV-modules geïntegreerd in het dak.

blijft het theoretisch bereikbare rendement van een enkelvoudige zonnecel bij ongeconcentreerd zonlicht en kamertemperatuur beperkt tot 33%. [6.22] Door technische onvolkomenheden is het praktisch haalbare rendement van een cel ongeveer 15 à 25% (onder laboratorium-omstandigheden). Om het rendement verder te verhogen zijn er ontwikkelingen om cellen te stapelen (de zogenaamde tandemcellen).

Zonnecellen en -panelen leveren gelijkstroom. Om het systeem aan het net te koppelen zal de gelijkstroom moeten worden omgezet in wisselstroom. Dit is de taak van de inverter. Het omzetten gaat weer gepaard met energieverlies. Het voordeel van het netgekoppelde systeem is het hogere rendement. Er vinden namelijk geen verliezen plaats bij de opslag van energie. Energie-overschotten worden bij het netgekoppelde systeem tegen een vaste prijs aan het net geleverd. Een bijkomend voordeel is dat bij onvoldoende aanbod van zonne-energie, het tekort uit het reguliere elektriciteitsnet kan worden betrokken. De hoge aanschafkosten en het geringe rendement van de PV-installatie, in combinatie met de lage energieprijzen van het moment, houden een grootschalige toepassing tegen. De toepassingen blijven hierdoor beperkt tot proefprojecten. (fig. 6.64)

Anders ligt het voor plekken waar geen (of nog geen) elektriciteit aanwezig is, daar vinden we de meeste succesvolle toepassingen (autonome PV-systemen). Voorbeelden hiervan zijn: drinkwaterbakken, installaties op boten, lichtboeien e.d.

Het basismateriaal van de zonnepanelen zijn de silicium PV-cellen. In Amerika (Oregon State University) is een procédé ontwikkeld, waarbij silicium uit afgedankte chips (uit de computerindustrie) gebruikt kan

worden voor de productie van zonnepanelen. De op deze manier geproduceerde zonnecellen zijn stukker goedkoper dan cellen van nieuw silicium. Als al het siliciumafval zou worden verwerkt in zonnecellen zouden deze net zoveel elektriciteit produceren als acht nucleaire installaties.

Het integreren van de PV-modules in dak of gevel kan de kosten voor het totale pakket aanzienlijk verlagen. Op die manier wordt bespaard op kosten voor gevel- of dakbekleding en op kosten voor de secundaire mechanische ondersteuning die anders nodig was geweest. (fig. 6.65) Andere vormen van multifunctionele PV-toepassingen zijn: geluidwering; thermische isolatie; zonregulering.

Vooraf het combineren van PV-elementen met zonregulering biedt goede mogelijkheden. Zie hiervoor de paragraaf over zonreguleringssystemen. Bij een geïntegreerde plaatsing vormen de cellen of het paneel een onderdeel van de architectuur. In het concept zal er al rekening mee moeten worden gehouden. (fig. 6.66) Plaatsing van de PV-panelen in de gevel heeft alleen zin bij een juiste geveloriëntatie. Dit zal deels al in de stedenbouwkundige randvoorwaarden besloten moeten liggen.

## TRENDS EN ONTWIKKELINGEN

Het gebruik van zonregulerende voorzieningen in de alu-glasfaçade zal in de toekomst toenemen. Zowel uit het oogpunt van energiebesparing als vanuit de algemene appreciatie van het zon- en daglicht. Uitgangspunt daarbij is het streven naar een behaaglijk, comfortabel en zo natuurlijk mogelijk binnenklimaat met een maximaal gebruik van





6.70 Retroreflecterende prismalamellen van plexiglas als zon- en lichtregulering boven het glazen dak, Deutscher Bundestag, Bonn. architect: Behnisch und Partners

duurzame energiebronnen. Het gebruik van daglicht en het streven naar een gelijkmatig verlichtingsniveau spelen een belangrijke rol. Warmteregulering, daglichtbenutting en lichtregulering moeten door één enkele regeleenheid bestuurd en geregeld worden zodat ze optimaal met elkaar samenwerken. Starre systemen zullen in de toekomst verdwijnen. Dynamisch regelbare eenheden zullen ervoor in de plaats komen.

De toekomstige alu-glasfaçade zal bestaan uit een verregaande clustering van installaties en geveltechniek. De nu nog zo futuristische term 'de intelligente façade' zal dan werkelijkheid zijn geworden. Individuele aanpasbaarheid van de binnenklimaatcondities op de werkplek zullen daarbij een onderdeel zijn.

De laatste drie jaar is een keur aan nieuwe technieken en materialen op het gebied van lichtregulering ontwikkeld en toegepast. Wij verwachten dat deze stroming in de komende jaren versneld. In de alu-glasfaçade zullen naast verwarming, koeling, ventilatie, elektriciteitsopwekking en informatieverschaffing de zon- en lichtregulerende voorzieningen een belangrijke rol spelen.

Op het terrein van de zon- en lichtregulering zijn de volgende ontwikkelingen belangrijk: nieuwe lichtdoorlatende isolatiematerialen; regelbare prisma's; het gebruik van hologrammen; vormen van daglichtgeleiding bijv. door glasvezels of andere supergeleiders; nieuwe, sneller reagerende soorten schakelbare beglazing; hoog rendement amorfe PV-elementen tegen geringe kosten; combinaties van glas met hologrammen en PV-elementen. (fig. 6.68)

Het opnemen van componenten in de façade die de zonne-energie benutten is een ontwikkeling die snel zal doorzetten. Dit proces kan door verschillende fac-

toren versneld worden: verhogen van de energieprijzen; kostenverlaging van de hierboven bedoelde elementen door massaproductie en verbeterde produktiemethoden; rendementsverhogingen. Zonregulering is een belangrijk architectonisch ontwerpuitgangspunt, een uitdaging waarbij zon- en daglicht dynamisch in de architectuur van het bouwwerk worden ingebracht en doelmatig worden benut. (fig. 6.69 en 6.70) Dit sluit aan bij mondiale ontwikkelingen in het dynamische communicatietijdperk van de eenentwintigste eeuw.

## BEGRIPPEN EN DEFINITIES

### Zonneconstante

- Dit is de energie die iedere seconde aan de rand van de atmosfeer wordt opgevangen door een vlak van  $1 \text{ m}^2$  dat loodrecht op de richting van de zonnestralen is gericht. De zonneconstante is gemiddeld  $1367 \text{ W/m}^2$  (Fröhlich, 1988).

### Stralingsintensiteit

- De hoeveelheid zonne-energie die op het aardoppervlak valt gemeten per tijdseenheid en per eenheid oppervlak. [ $\text{W/m}^2$ ]

### Troebelheidsfactor - T (volgens Linke)

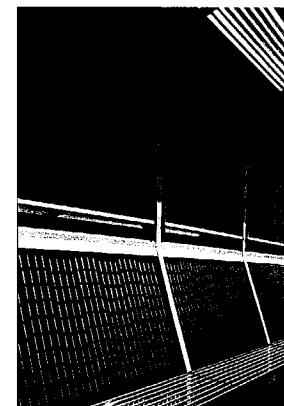
- De stralingsintensiteit is onder andere afhankelijk van de atmosferische vertroebeling. Deze wordt veelal aangeduid met de troebelheidsfactor.

Het benutten van het zichtbare deel van de zonnestraling, het daglicht, is een belangrijke vorm van gebruik. Er bestaat nogal wat onduidelijkheid over de begrippen daglicht en zonlicht.

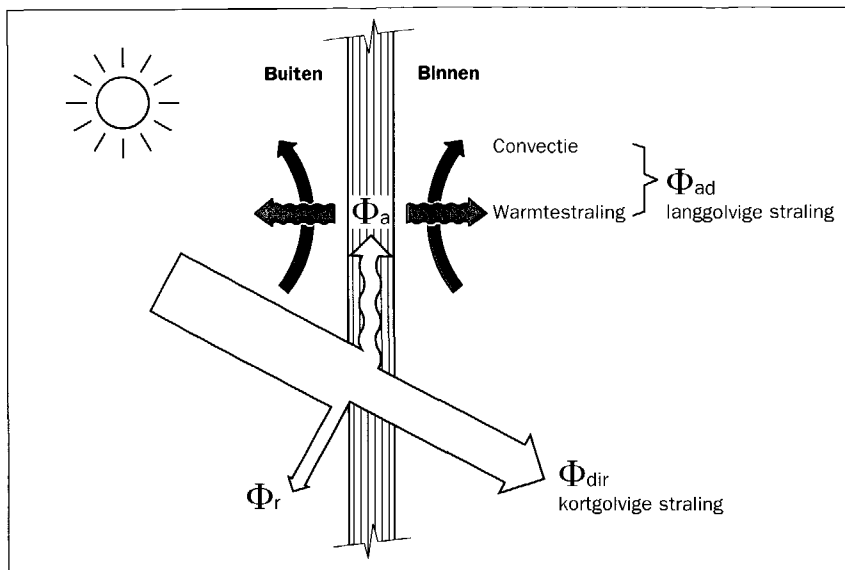
Hiervoor gelden de volgende definities:

### Lichtstroom - $\Phi$

- De lichtstroom is een maat voor het gewogen (met



6.68 Gevelcomponent met geïntegreerde PV-cellen.



6.71 Reflectie, absorptie en doorlating van op een glaspaneel vallende zonnestraling.

de relatieve spectrale ooggevoeligheid) vermogen dat door een lichtbron in de vorm van licht wordt uitstraald in lumen. [lm]

#### Licht

- Het zichtbare gedeelte van de straling met een golflengte tussen 380 en 780 nm.

#### Daglicht

- De lichtstroom die door de directe en diffuse zonnestraling tezamen wordt geleverd.

#### Zonlicht

- De lichtstroom die door de directe zonnestraling wordt geleverd.

Van de zonnestraling die de doorzichtigdelen van een gebouw bereikt (direct, diffuus en gereflecteerd) valt een deel het vertrek binnen (dit is afhankelijk van het type glas en de eventueel aanwezige zonwering). Bij enkel blank glas wordt ca. 80% van de opvallende zonnestraling doorgelaten, de overige zonnestraling wordt ten dele gereflecteerd en ten dele door het glas geabsorbeerd (waarna de geabsorbeerde straling weer naar buiten en naar binnen wordt uitgestraald als langgolvlige IR-straling oftewel warmte). De doorgelaten straling wordt door wanden, vloer en meubilair ten dele geabsorbeerd (en weer als warmte uitgestraald) en ten dele diffuus gereflecteerd. Dit is afhankelijk van de desbetreffende reflectiecoëfficiënten. Een klein deel van de diffuus gereflecteerde straling bereikt wederom het glas en verdwijnt gedeeltelijk naar buiten. Het overgrote deel van de diffuus gereflecteerde straling wordt alsnog geabsorbeerd door wanden, vloer en meubilair (en omgezet in warmte). Samenvattend blijkt dat het grootste deel van de invallende zonnestraling wordt omgezet in langgolvlige IR en als zodanig de ruimte opwarmt. De langgolvlige IR kan de ruimte moeilijk verlaten omdat het glas deze straling voornamelijk reflecteert en absorbeert. Dit fuik-effect wordt door het toepassen van low-E (HR) beglazing versterkt (zie hoofdstuk 5).

Met de zoninstraling komt behalve daglicht dus

ook veel warmte het vertrek binnen. Het is daarom belangrijk om maatregelen te treffen om de zoninstraling te kunnen reguleren. Figuur 6.71 geeft het hierboven beschreven principe van licht- en warmtetoetreding weer. Hierin worden de volgende natuurkundige grootheden gebruikt.

$\Phi_o$  de totale hoeveelheid opvallende zonnestraling [W]

Een deel van deze opvallende zonnestraling wordt gereflecteerd ( $\Phi_r$ ):

$\Phi_r$  de door beglazing en zonwering gereflecteerde hoeveelheid zonnestraling [W]

**ER** energetische reflectie, de hoeveelheid gereflecteerde zonne-energie ten opzichte van de hoeveelheid opvallende zonne-energie

Deze verhouding wordt ook wel aangeduid met:

**R** de reflectiefactor [%]

Een deel van de totaal opvallende zonnestraling wordt direct doorgelaten ( $\Phi_{dir}$ ):

$\Phi_{dir}$  direct doorgelaten hoeveelheid zonnestraling [W]

**ET** energetische transmissie, de hoeveelheid doorgelaten zonne-energie ten opzichte van de hoeveelheid opvallende zonne-energie

Deze verhouding wordt ook wel aangeduid met:

**D** de doorlatendheid [%]

Een deel van de totaal opvallende straling wordt geabsorbeerd door de beglazing (en eventueel door de zonwering):

$\Phi_a$  door de beglazing geabsorbeerde hoeveelheid zonnestraling [W]

**EA** energetische absorptie, de hoeveelheid geabsorbeerde zonne-energie ten opzichte van de hoeveelheid opvallende zonne-energie

Deze verhouding wordt ook wel aangeduid met:

**A** de absorptie-factor [%]

Algemeen moet gelden: **R + D + A = 100%**

Door de absorptie van zonnestraling warmt de beglazing op. Hierdoor ontstaat warmteafgifte naar de omgeving in de vorm van warmtestraling en convectie, zowel naar binnen als naar buiten. Deze secundaire warmteafgifte is afhankelijk van de binnen- en buitentemperatuur, de overgangswaarden, de temperatuur-, de dikte- en de warmtegeleidingscoëfficiënt ( $\lambda$ ) van het glas.

$\Phi_{ad}$  additioneel (of indirect) binnenkomende warmtestroom, door straling en convectie [W]

Het gedeelte van de  $\Phi_{ad}$  dat door convectie naar binnen komt en aan de vertrekklucht wordt overgedragen, beïnvloedt de vertrektemperatuur (en daarmee de koellast) naar verhouding sterker dan het gedeelte dat

door straling toetreedt. Het convectieve deel heeft een direct voelbare temperatuurverhoging tot gevolg.

#### **Convectiefactor - CF**

- De verhouding tussen de door convectie binnenkomende hoeveelheid zonnewarmte en de totaal binnenkomende hoeveelheid zonnewarmte.

Het totaal aan binnenkomende zonnewarmte (zonne-energie) kan nu als volgt worden omschreven:

$$\Phi_{\text{tot}} = \Phi_{\text{dir}} + \Phi_{\text{ad}} \text{ [W]}$$

De verhouding tussen zonnewarmte die naar binnenkomt ( $\Phi_{\text{tot}}$ ) en de totale opvallende zonnestraling ( $\Phi_0$ ) wordt aangeduid met ZTA, de absolute zontoetredingsfactor.

$$\text{ZTA} = \Phi_{\text{tot}} : \Phi_0 \text{ [-]} \text{ of } \text{ZTA} = \Phi_{\text{tot}} : \Phi_0 \cdot 100\% \text{ [%]}$$

#### **Absolute zontoetredingsfactor - ZTA**

- Dit is de faktor waarmee de totale hoeveelheid op de doorzichtbeglazing vallende zonnestraling moet worden vermenigvuldigd om de binnenkomende hoeveelheid zonnestraling te berekenen.

#### **Relatieve zontoetredingsfactor - ZTR**

- Dit is de faktor die aangeeft hoeveel zonnewarmte bij een bepaald type glas en/of zonwering naar binnen komt ten opzichte van de zonnewarmte die bij onafgeschermd enkel blank glas van 6 mm naar binnen komt. De ZTR komt nagenoeg overeen met de total shading coefficient. Dit is de ZTA (= total solar heat transmittance) gedeeld door 0,87 (= de ZTA van 3 mm en 4 mm blank floatglas).

#### **Warmteaccumulatie - W**

- De mogelijkheid van een constructie om warmte af koude (= negatieve warmte) op te nemen en weer af te geven, waardoor een stabiliserende invloed op het temperatuurverloop verkregen wordt. Het warmteaccumulerend vermogen van een gebouwdeel (gevel, wanden en vloeren) is voor de keuze van de zonwering van belang.

#### **Spectrale ooggevoeligheid**

- Het menselijk oog is gevoelig voor de golflengten tussen 380 en 780 nm (1 nanometer =  $10^{-9}$ m). Dit golflengtegebied van de zichtbare straling kan worden gerangschikt naar kleurindruk. Al deze kleuren (golflengtegebiedjes) samen worden als wit ervaren, zoals bijvoorbeeld het zonlicht. Het blijkt dat het menselijk oog verschillend reageert op de afzonderlijke kleuren (golflengtegebiedjes). De golflengtegebiedjes blijken bij eenzelfde vermogen onderling qua helderheidsindruk sterk van elkaar af te wijken. Zo is het oog maximaal gevoelig voor het geelgroene gebied ( $\lambda = 555$  nm). Deze eigenschap wordt aangeduid met de relatieve spectrale ooggevoeligheid  $V(\lambda)$ .

#### **Absolute lichttoetredingsfactor - LTA**

- Dit is de verhouding van de door beglazing doorgelaten hoeveelheid licht, en de op deze beglazing vallende hoeveelheid licht. [%]

Voor de bepaling van de LTA wordt alleen gekeken naar het deel tussen 380 en 780 nm van het spectrum, het zichtbare deel. De LTA is absoluut omdat de spectrale ooggevoeligheid verdisconteerd is.

#### **Selectiviteitsindex - SI**

- De verhouding tussen de absolute lichttoetredingsfactor LTA en de absolute zontoetredingsfactor ZTA.

Hoe hoger de SI des te gunstiger is de verhouding tussen het gewenste daglicht en de 'ongewenste' zonnewarmte.

#### **Daglichtfactor - DF**

- De verhouding tussen de verlichtingssterkte op een willekeurig vlak (bijvoorbeeld het werkvlak) en de verlichtingssterkte in het vrije veld op een horizontaal vlak bij een bedekte hemelkoepel (zichtbare CIE-hemel). Richtlijnen voor de daglichtfactor voor kantoorvertrekken zijn: een daglichtfactor van minimaal 3 - 5% voor werkplekken op ca. 1,5 meter uit de gevel en van minimaal 1% in het midden van het vertrek (ca. 2,5 meter uit de gevel).

#### **Luminantie (of helderheid) - L**

- De gemeten helderheid van een lichtbron of oppervlak; de lichtstroom die per oppervlak en ruimtehoek in een gegeven richting wordt uitgezonden. [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

#### **Verlichtingssterkte - E**

- De ontvangen lichtstroom per eenheid oppervlak. [ $\text{Lux}$  of  $\text{lum}/\text{m}^2$ ]

#### **Reflectiefactor of lichtreflectiecoëfficiënt - r**

- De verhouding tussen de gereflecteerde hoeveelheid licht en de opvallende hoeveelheid licht ( $r = \Phi_{\text{gereflecteerd}} / \Phi_{\text{opvallend}}$ ). De reflectiefactor is een functie van de golflengte  $\lambda$ . Sommige oppervlakken reflecteren voornamelijk één bepaalde golflengte en absorberen de overige, het oppervlak krijgt dan de kleur die correspondeert met de golflengte van het gereflecteerde licht.

#### **Kleurweergave-index - Ra**

- Het getal waarmee uitgedrukt wordt in hoeverre een lichtbron kleuren juist weergeeft, gerelateerd aan het daglicht ( $Ra=100$ ), schaal van 1 tot 100.

Voor normale kantoorwerkzaamheden wordt een Ra van 80 als minimaal beschouwd (Ra is onder ander afhankelijk van glassoort en de interieurafwerkingen).

#### **Verblindingshinder**

- Het optreden van onbehaaglijke of storende verblindingshinder ten gevolge van te grote luminantie (helderheids) verschillen in het blikveld.

De Glare-index geeft een methode om de verblindingshinder te meten en eventuele lichtwerende voorzieningen vast te stellen.

#### **Spiegelingshinder**

- Het optreden van hinderlijke spiegeling in bijvoorbeeld een beeldscherm, van heldere objecten zoals ramen of verlichtingsarmaturen, waardoor de waarneming wordt gehinderd.



*Woonhuis Delft.  
architect: Cepezed*

# Façades: bouwfysica en statica



## ALGEMEEN

In het verleden werd hoofdzakelijk aandacht besteed aan de sterkte, stijfheid en brandveiligheid van façades en aan de water- en luchtdichtheid van de gevel. Vanaf 1973 wordt er in toenemende mate rekening gehouden met de thermische kwaliteit van de gevel. Dit gebeurt voornamelijk vanwege de noodzaak minder energie te gebruiken. De stookkosten zijn hierbij bepalend.

Vanaf de jaren negentig wordt er meer aandacht besteed aan de ecologische aspecten van het bouwdeel gevel: verlaging van de milieulast en van het energiegebruik. Daarvoor zijn de energielasten van verwarming en koeling bepalend en de mate waarin natuurlijke energiebronnen benut kunnen worden, voornamelijk zonne-energie. Van moderne façades wordt een bijdrage aan de energielevering verwacht. Hierdoor wordt de façade van een passief buitenklimaatwerend bouwdeel een reactieve en indien intelligent aangestuurd zelfs een pro-actieve buitenklimaatanticiperende interface. Door deze ontwikkeling zijn de bouwfysische kwaliteiten van de façade van groot belang.

In deze uitgave worden zonne-energie, warmte en licht behandeld in hoofdstuk 6. De bouwfysische eigenschappen van glas worden in hoofdstuk 5 behandeld. Wind- en waterdichtheid komen in hoofdstuk 3 ter sprake. In dit hoofdstuk komen de bouwfysische aspecten warmte, geluid en brand- en bliksembeveiliging aan de orde evenals het begrip statica. Voor rekenvoorbeelden en aanvullende gegevens wordt verwezen naar de VMRG uitgaven 'Gevels en Constructie' [7.1] en 'Gevels en Statica'. [7.5] Binnenkort komt de uitgave 'Gevels en Bouwfysica' uit.

## FAÇADES EN BOUWFYSICA / WARMTE

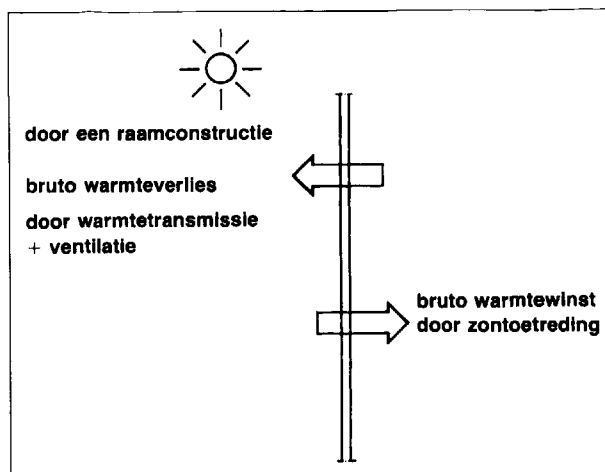
**Algemeen** Bij gebouwen en woningen wordt warmte winst geboekt door interne warmteproductie (personen, verlichting en apparaten) en door zontoetreding via de ramen; warmteverlies wordt geleden door ventilatie en transmissie via de gevel. Het gevelsysteem, waaronder verstaan wordt de combinatie van de beglazing, de omkadering daarvan, de zonwering en de eventuele isolatieschermen, neemt een gedeelte van de winstposten (zontoetreding) en een gedeelte van de verliesposten voor zijn rekening. Bij warmteverlies via het gevelsysteem gaat het om transmissie en luchttransport. (fig. 7.1.1)

De U-waarde is een maat voor het warmteverlies (uitgedrukt in W) van een gevelcomponent of -element per  $m^2$  en per graad temperatuurverschil (K) tussen binnen en buiten.

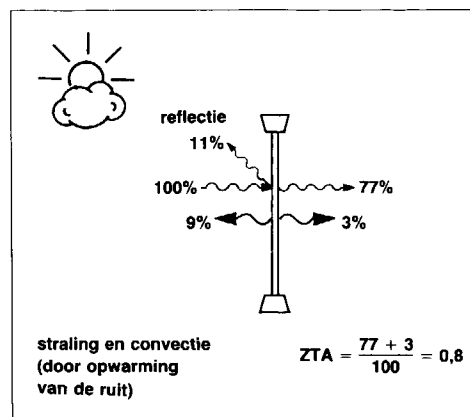
De zontoetreding wordt beschreven door de zogenaamde absolute zontoetredingsfactor ZTA; dit is de verhouding tussen de totaal per  $m^2$  raamsysteem in het vertrek binnenkomende zonnearmte en de op de gevel vallende zonnestraling per  $m^2$ . (fig. 7.1.2 en 7.1.3)

De warmtetransmissie door een raamsysteem kan dus worden bepaald met behulp van de buitentemperatuur, de vertrektemperatuur en de eigenschappen van het betreffende raamsysteem (U-waarde). De zontoetreding wordt beschreven met behulp van de hoeveelheid opvallende zonnestraling en de eigenschappen van het raamsysteem (ZTA-waarde). Zie ook hoofdstuk 5 en 6.

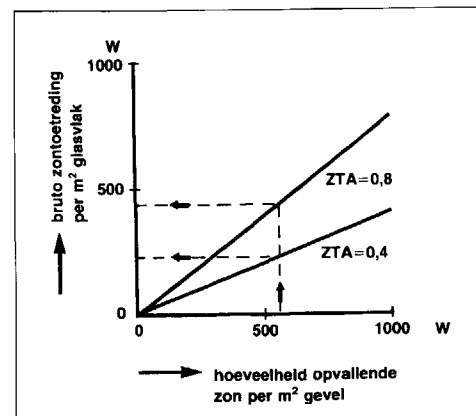
Deze paragraaf is gebaseerd op de VMRG-uitgave 'Gevels en Constructie', 1995, paragrafen warmte, geluid en brand. [7.1]



7.1.1



7.1.2



7.1.3

**Warmteverlies door luchttransport** Gevels en ramen zijn nooit volkomen luchtdicht. Door naden en indien aanwezig door kieren (sluitnaden), vindt luchtverplaatsing plaats en wel hoofdzakelijk ten gevolge van winddruk of -zuiging op de gevel. De ontwijpende (warme) lucht wordt vervangen door binnenstromende (koude) lucht. Het verschil in warmte-inhoud vormt een warmteverlies. Bovendien veroorzaakt de binnengestroomde lucht soms comfortvermindering (tocht, koude voeten).

Door een luchtdoorlatendheidstest in een proefkast uit te voeren, kan men de hoeveelheid lucht bepalen die bij een in te stellen drukverschil wordt doorgelaten (voor proefopstelling en eisen zie NEN 3660 en 3661). Kierdichtingen worden doorgaans met behulp van dichtingsrubbers, borstels en dergelijke bereikt. Een belangrijk punt in dit verband is, dat metalen ramen niet krimpen of trekken, ze zijn vormvast.

**Warmteverlies door transmissie** Bij een temperatuurverschil tussen binnen en buiten vindt warmtetransport plaats door de raam- of gevelconstructie, doordat het materiaal warmte geleidt.

Door holtes in de constructie kan ook warmte stromen in de vorm van straling, geleiding en convectie. Ten aanzien van de transmissie worden aan de constructie eisen gesteld, en wel:

- beperkingen ten aanzien van de hoeveelheid (thermische) energie die wordt doorgelaten;
- eisen ten aanzien van het temperatuurbeeld van de constructie in verband met het verhinderen van condensvorming.

Het transmissiegedrag van de gevel is medebepalend voor de totale energiebehoefte van een gebouw.

De grootte van de warmtestroom door de gevel is recht evenredig met het temperatuurverschil en met het oppervlak van de constructie, en afhankelijk van de warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde) van de gevelcomponent.

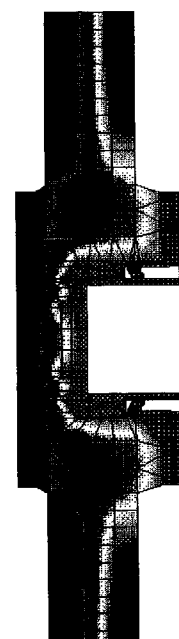
De maximale warmtedoorgangscoefficiënt van façades, ramen en deuren bedraagt volgens het Bouwbesluit 4,2 W/m<sup>2</sup>K, met dien verstande dat afhankelijk van het gebouwtype een grenswaarde van de energieprestatiecoëfficiënt niet overschreden mag worden. In NEN 5128 tabel 2 wordt voor een beperkt aantal situaties de U-waarde van het volledige raam of deur weergegeven; de invloed van de randverbinding van het isolerende glas is tevens meegenomen. (fig. 7.1.17) In deze tabel is voor wat betreft de thermisch onderbroken aluminium profielen uitgegaan van een type profiel met zeer matig isolerende eigenschappen, namelijk Uprofiel = 3,8 W/m<sup>2</sup> K.

Een vollediger overzicht van de U-waarden van ramen of deuren is weergegeven in een Europese voor-norm, te weten prEN 30077-1, zie tabel figuur 7.1.4. Voorwaarde voor het gebruik is wel dat de U-waarde van het profiel of profielsysteem bekend is.

**Warmtedoorgangscoefficiënt van geïsoleerde profielen** Gelet op de complexe vormgeving van geïsoleerde profielen is het niet eenvoudig hun warmtedoorgangscoefficiënt te berekenen. In de VMRG-brochure 'Gevels en Constructie' [7.1] wordt voor een bepaald profielsysteem een U-waardeberekening weergegeven; aan de hand van metingen is vastgesteld dat de uitkomst goed overeenstemt met de praktijk. Er zijn ook computerprogramma's op de markt waarmee de U-waarde van een profiel bepaald kan worden.



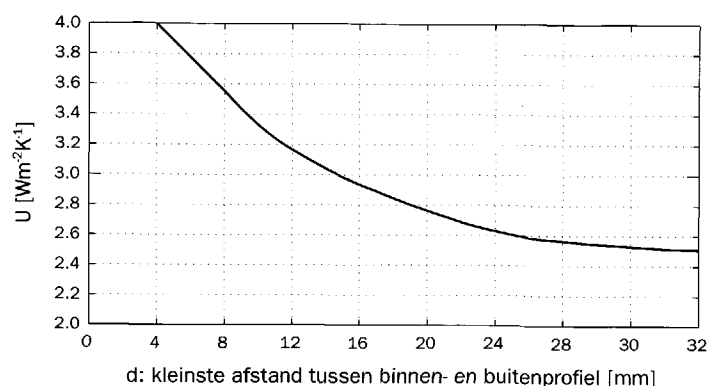
Aardbevingssschade Kobe, Japan, 1995.



7.1.17 Invloed afstandhouder iso-beglazing gevat in thermisch geïsoleerd profiel: isothermen.

Type beglazing	U <sub>glas</sub> [Wm <sup>2</sup> K <sup>-1</sup> ]	U <sub>profiel</sub> [Wm <sup>2</sup> K <sup>-1</sup> ]						
		1.8	2.2	2.6	3.0	3.4	3.8	7.0
enkel	<b>5.7</b>	4.9	5.0	5.1	5.2	5.2	5.3	6.0
dubbel	<b>3.3</b>	3.1	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	4.0
	<b>3.1</b>	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.9
	<b>2.9</b>	2.8	2.8	3.0	3.0	3.1	3.2	3.7
	<b>2.7</b>	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.0	3.6
	<b>2.5</b>	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.4
	<b>2.3</b>	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	3.3
	<b>2.1</b>	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	3.1
	<b>1.9</b>	2.0	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	3.0
	<b>1.7</b>	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.8
	<b>1.5</b>	1.7	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.6
<b>1.3</b>	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.5	
<b>1.1</b>	1.4	1.4	1.6	1.6	1.7	1.8	2.3	

7.1.4 Berekenende U-waarden voor ramen en deuren (glas incl. profiel).  
Uitgangspunt: Profiel oppervlak is gelijk aan 20% van het gehele raamoppervlak.



7.1.5 Bepaling U-waarde van thermisch onderbroken metalen profielen.

Een geheel andere methode is gebruik te maken van figuur 7.1.5. Deze grafiek, waarin afhankelijk van het type isolator en de isolatorhoogte de warmtedoorgangscoefficiënt van het profiel is weergegeven, komt uit de Europese voornorm prEN 30077-1. [7.4] De randvoorwaarden voor het gebruik van deze grafiek staan in figuur 7.1.6 en 7.1.7.

Profieltype 1 komt overeen met de veelvuldig toegepaste isolatoren vervaardigd uit PVC of glasvezelversterkte polyamide; type 2 komt onder andere overeen met profielen met gietharsisolator.

**Condensvorming** Om condensvorming te vermijden, moeten de temperaturen van de verschillende constructiedelen boven het dauwpunt blijven van de lucht waarmee ze in aanraking komen. Het dauwpunt bepaalt men met behulp van een tabel van de verzadigde waterdampspanning bij verschillende temperaturen. De oppervlaktetemperaturen volgen uit een berekening van het transmissieverlies.

In het Bouwbesluit worden overigens aan profielen ten behoeve van ramen en deuren geen thermische eisen gesteld. De thermische eisen die aan ramen en deuren worden gesteld (U-waarde  $\leq 4,2$  W/m<sup>2</sup> K) hebben namelijk betrekking op het volledige raam of deur; deze waarde is al te bereiken met ongeïsoleerde profielen in combinatie met blank isolerend dubbelglas. Indien men het risico van condensvorming wil verkleinen dient men te kiezen voor thermisch geïsoleerde profielen.

In het Bouwbesluit worden aan panelen wel thermische eisen gesteld, zulks ter voorkoming van ongewenste condensatie, die aanleiding kan geven tot de vorming van allergenen. Deze thermisch eisen komen

voort uit de zogenaamde temperatuurfactor  $f_{ri}$  (zie NEN 2778). Deze factor is bepalend voor de binnenoppervlaktetemperatuur van gevelconstructies:

$$f_{ri} = \frac{t_i - t_o}{t_i - t_e}$$

of anders geschreven:

$$f_{ri} = \frac{R_e + R_c}{R_e + R_c + R_i}$$

Hierin zijn:

- $t_i$  = binnentemperatuur (°C)
- $t_o$  = oppervlaktetemperatuur binnen (°C)
- $t_e$  = buitentemperatuur (°C)
- $R_e$  = overgangsweerstand buiten (m<sup>2</sup> K/W)
- $R_c$  = warmteweerstand constructie (m<sup>2</sup> K/W)
- $R_i$  = overgangsweerstand binnen (m<sup>2</sup> K/W)

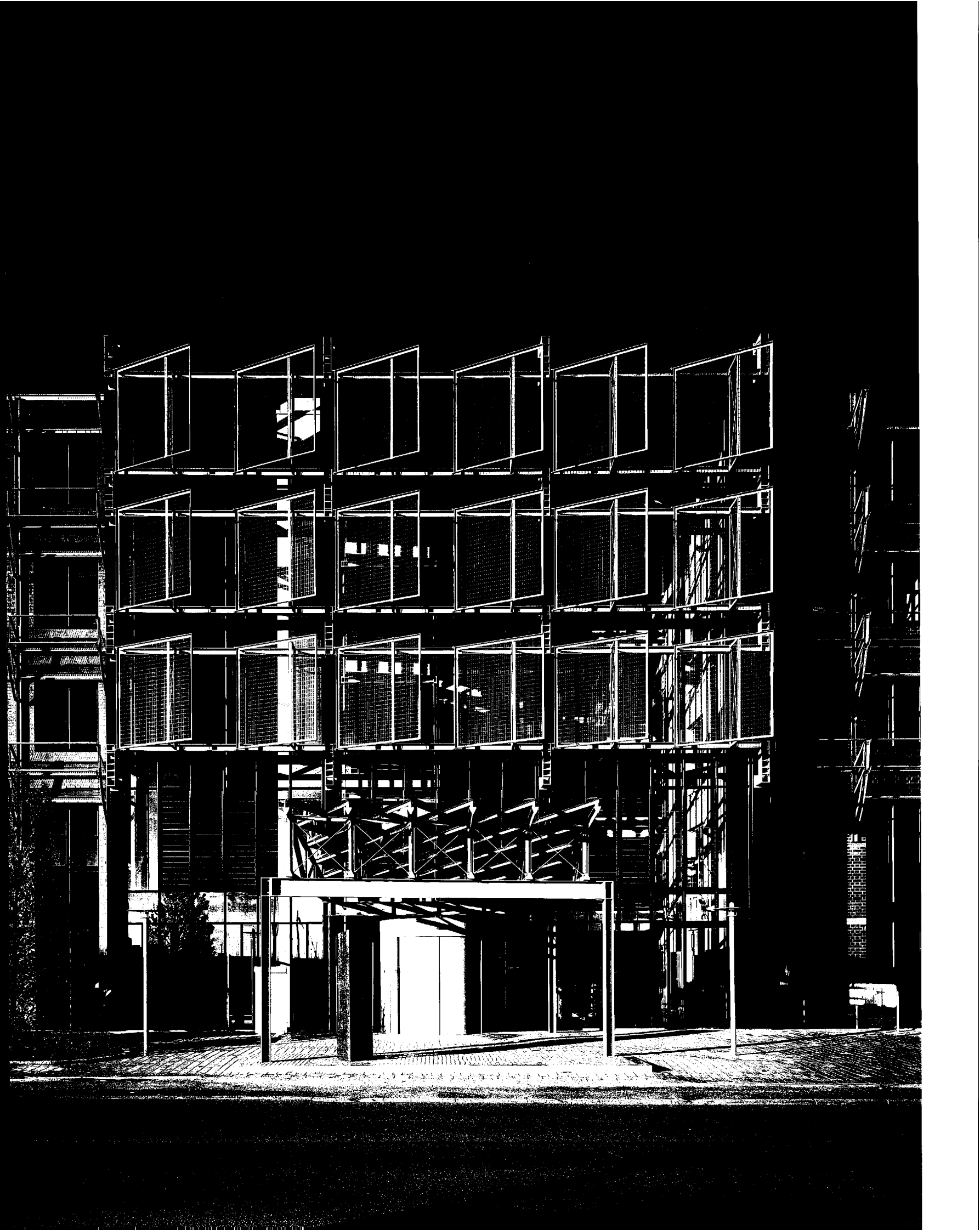
In NEN 2778 worden waarden opgegeven voor  $R_e$  en  $R_i$ :

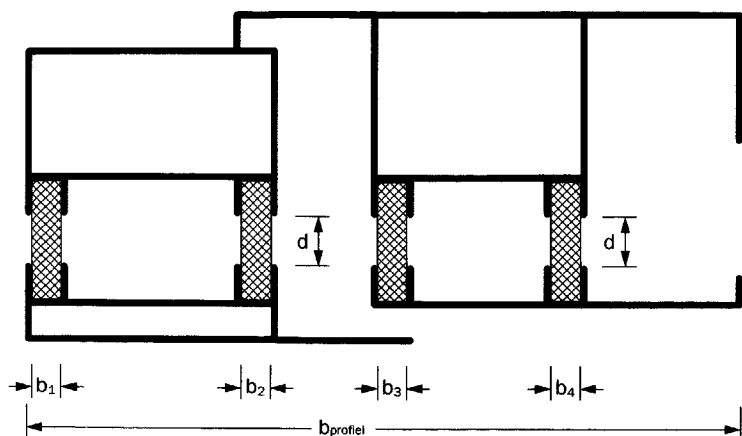
$R_e = 0,04$  m<sup>2</sup>K/W en  $R_i = 0,25$  m<sup>2</sup> K/W. De waarde van  $R_i$  wijkt af van de gangbare waarde van 0,13 m<sup>2</sup>K/W die van toepassing is op beglazingen.

Voor woningen en voor bewoning bestemde gebouwen geldt volgens het Bouwbesluit  $f_{ri} \geq 0,65$ ; voor overige gebouwen geldt  $f_{ri} \geq 0,50$ .

Voor panelen in woningen en voor bewoning bestemde gebouwen betekent dit, dat de  $R_e$ -waarde van het paneel minimaal 0,42 m<sup>2</sup>K/W dient te zijn. Voor panelen in overige gebouwen bedraagt de minimale  $R_e$ -waarde 0,21 m<sup>2</sup> K/W.



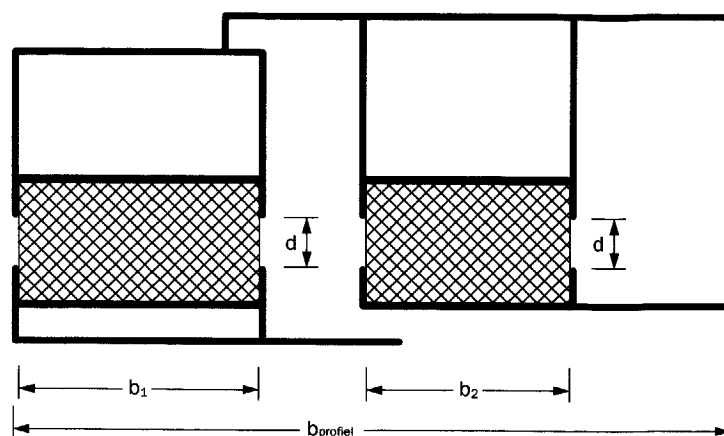




Voorwaarden:

- Warmtegeleidingscoëfficiënt isolator  $0,2 < \lambda \leq 0,3 \text{ W/mK}$
- $b_1 + b_2 + b_3 + b_4 \leq 0,2 \cdot b_{\text{profiel}}$  ( $\sum_n b_n \leq 0,2 \cdot b_{\text{profiel}}$ )

7.1.6 Type 1.



Voorwaarden:

- Warmtegeleidingscoëfficiënt isolator  $0,1 < \lambda \leq 0,2 \text{ W/mK}$
- $b_1 + b_2 \leq 0,3 \cdot b_{\text{profiel}}$  ( $\sum_n b_n \leq 0,3 \cdot b_{\text{profiel}}$ )

7.1.7 Type 2.

## FAÇADES EN BOUWFYSICA / GELUID

**Algemeen** Door een toenemende geluidsbelasting, samenhangend met economische en technologische ontwikkelingen, en door een toenemend besef van de hinderlijkheid van te hoge geluidsniveaus, worden steeds strengere geluidseisen gesteld. Ook bij de constructie van gevels kan men met deze geluidseisen te maken krijgen. Hierbij gaat de aandacht uit naar:

- geluidswering van de gevel tegen buitenlawaai (weg-, rail- en vliegverkeer);
- flankerende geluidsoverdracht via de gevel als onderdeel van de geluidsisolatie tussen twee aangrenzende ruimtes binnen het gebouw;
- geluidsproductie van onderdelen van de gevel als gevolg van windinvloeden.

Geluid is een relatief ingewikkeld vakgebied; veelal wordt een deskundige (akoestisch/bouwfysisch adviseur) ingeschakeld om de vereiste kwaliteit in het ontwerp te realiseren en om de informatieverstrekking aan de vergunningverlenende instantie te verzorgen. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van enkele belangrijke geluidseisen, met name ten aanzien van buitenlawaai.

**Eisen aan de geluidswering** De eisen die aan een gevel gesteld worden, zijn omschreven in het Bouwbesluit. De geluidswering wordt uitgedrukt in de 'karakteristieke geluidswering van de uitwendige scheidingsconstructie'  $G_{AK}$ , volgens NEN 5077. Deze geluidswering dient minimaal de volgende waarden te hebben:

- woningen en overige gebouwen (art. 22, 194):  
 $G_{AK} \geq \text{geluidsbelasting} - 35 \text{ dB(A)}$ ;

- kantoren (art. 241):

$$G_{AK} \geq \text{geluidsbelasting} - 40 \text{ dB(A)}.$$

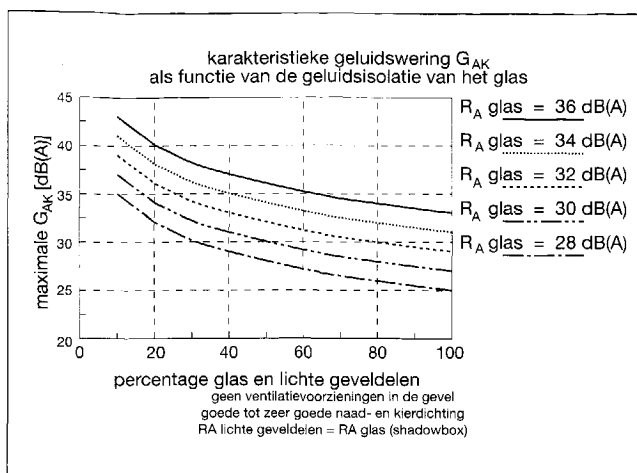
In alle gevallen geldt een minimum van  $G_{AK} \geq 30 \text{ dB(A)}$ .

De geluidswering wordt evenals de geluidsbelasting uitgedrukt in dB(A). Bij de A-weging worden die frequentiecomponenten waarvoor het oor minder gevoelig is, ook minder zwaar meegewogen. De A-weging kan toegepast worden op de geluidsniveaus buiten en binnen. De geluidswering in dB(A) is het verschil van deze niveaus (in dB(A)) buiten en binnen. Een complicatie hierbij is dat dit verschil mede afhankelijk is van de relatieve aandelen van verschillende frequentiecomponenten, ook wel geluidsspectrum genoemd. Daardoor is de dB(A)-waarde van de geluidswering van een constructie afhankelijk van het spectrum. Verschillende zogenaamde referentiespectra worden gehanteerd voor weg-, vlieg- en railverkeer. Indien niet gespecificeerd, wordt over het algemeen uitgegaan van de geluidswering in dB(A) voor wegverkeer.\*

De geluidsbelasting wordt over het algemeen opgegeven door de gemeente. Bij bestemmingsplanwijzigingen is de gemeente verplicht deze geluidsbelasting uit te rekenen. In het kader van deze bestemmingsplanprocedure wordt soms een geluidsbelasting toegepast waarin een aftrek is opgenomen voor een toekomstige reductie van het verkeersgeluid. Bij de berekening van de geluidswering van de gevel mag deze aftrek niet worden toegepast. Ook moet de geluidsbelasting van verschillende wegen bij elkaar worden opgeteld.

Indien de geluidsbelasting bekend is kan met bovenstaande regels de vereiste geluidswering bepaald worden voor woningen respectievelijk kantoren.

\* In de ons omringende landen worden andere eengetalsaanduidingen gehanteerd, zoals de  $R_w$  in Duitsland en de  $R_{\text{route}}$  in Frankrijk. Indien het spectrum van de geluidsisolatie of geluidswering bekend is, kunnen deze waarden omgerekend worden naar de in Nederland gehanteerde eengetalswaarden in dB(A).



7.1.8

**Bepaling van de geluidswering** De geluidswering wordt bepaald door:

- geluidsisolatie en oppervlak van beglazing (inclusief kozijn);
- geluidsisolatie en oppervlak van niet-doorzichtpanelen;
- kwaliteit en lengte van kier- en naaddichtingen;
- geluidsdemping en ventilatiecapaciteit van ventilatievoorzieningen.

Met name de invloed van ventilatievoorzieningen en kierdichting maakt dat hier specialistische berekeningen nodig zijn. Indien we echter de situatie vereenvoudigen door uit te gaan van goede kierdichting (dubbele dichting, rondlopende profielen) en geen ventilatievoorzieningen in de gevel (gebalanceerd ventilatiesysteem), dan is de geluidswering alleen nog een functie van geluidsisolatie en oppervlak van beglazing en lichte gevelvullingen. Indien een lichte gevelconstructie bestaat uit glas plus een toegevoegd pakket kan, ter indicatie, van het totaal oppervlak van glas en lichte panelen worden uitgegaan. Figuur 7.1.8 geeft een indruk van de karakteristieke geluidswering van de gevel als functie van het totaal percentage glas en lichte geveldelen, bij variërende geluidsisolatie van het glas.

Naarmate het oppervlak kleiner is, is de geluidswering hoger. Zoals gezegd worden hierbij overige invloeden zoals kieren en ventilatievoorzieningen verwaarloosd. Weergegeven is derhalve een maximale  $G_{AK}$ . Voor geluidswering van meer dan 35 à 40 dB(A) begint de overdracht via de kieren en via de profielen een belangrijke rol te spelen.

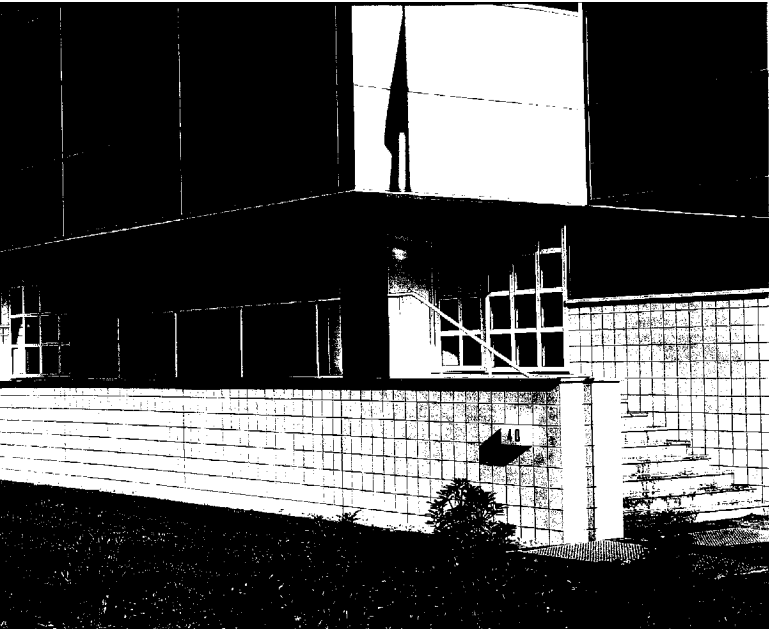
	Samenstelling	Geluidsisolatie wegverkeer (dB(A))
enkele ruit dubbele ruit met spouw	4	27
	4-12-6	28
	4-12-10	30
	4-16-8	30
	4-24-6	32
dubbele ruit met spouw, één ruit gelamineerd	8-24-10	33
	8-20-12.1 pvb 8-20-12.2 hars	34 36
dubbele ruit met spouw, beide ruiten gelamineerd	8.1 pvb-24-8.1 pvb 10.2 hars-16-10.2 hars	34 37
	dubbele ruit met grote spouw	4-80-6
6-160-10		42

7.1.9 Geluidsisolatiewaarden van glas.

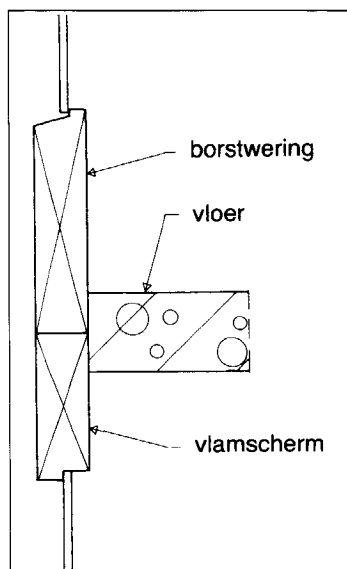
**Ventilatievoorschriften** Indien ventilatieopeningen in de gevel worden opgenomen, zal dit ook een (maatgevende) invloed hebben op de geluidswering. Ongedempte ventilatievoorzieningen zijn toepasbaar bij een geluidswering van circa 20 dB(A) (mits bij een beperkte vertrekdiepte). Daarboven zijn echter, afhankelijk van de situatie, veelal geluidsgedempte ventilatievoorzieningen nodig. Hiervoor worden zogenaamde suskasten toegepast, die in de sponning van het raam kunnen worden geplaatst, of bijvoorbeeld muurdempers of slangdempers. Ook is het mogelijk om bouwkundige suskasten aan te brengen. De (geluidsgedempte) ventilatievoorzieningen dienen zowel op ventilatiecapaciteit als geluidswerende eigenschappen geselecteerd te worden. Conform het Bouwbesluit dient de ventilatiecapaciteit bepaald te worden volgens NEN 1087. Het gaat hierbij om het ventilatiedebiet bij een drukverschil van 1 Pa.

**Beglazingen** De geluidsisolatie van beglazing wordt over het algemeen geselecteerd op basis van de publicatie 'Herziening rekenmethode geluidswering gevels' van het ministerie van VROM (1989). In deze waarden is ook in beperkte mate de invloed van kozijnen verdisconteerd, waardoor ze lager uitvallen dan laboratoriummetingen voor beglazingen. Over het algemeen dient men uit te gaan van de geluidsisolatiewaarden in de genoemde publicatie. Een samenvatting staat in figuur 7.1.9.

De geluidsisolatie hangt af van spouwbreedte, ruitdikte en eventuele gelaagde opbouw. Het vergroten van de spouwbreedte is een effectieve methode om de geluidsisolatie van de ruit te vergroten. Met een spouwvulling van gas kunnen iets hogere geluidsisola-



7.1.19 Beglazing en panelen in rubber gaskets.  
project: Burgers Verwarming te Eindhoven  
architect: de Bever architecten



7.1.10

ties gerealiseerd worden dan met luchtvulling. Het blijkt echter niet vast te liggen in welk tijdsbestek het speciale gas grotendeels is vervangen door lucht!

**Flankerende geluidsoverdracht** Onder flankerende geluidsoverdracht wordt verstaan de overdracht van geluid tussen twee aangrenzende ruimten via de gevelconstructie. Door het geringe gewicht is de flankerende geluidsisolatie van metalen en kunststof gevelsystemen beperkt. Kritisch qua geluidsisolatie zijn verticale kokerprofielen van vliesgevels, horizontaal doorlopende kokerprofielen van gevels en alle gevelaansluitingen (passtukken van scheidingswanden, aansluitingen op convectorkasten, wandgoten, c.v.-doorvoeren). In de utiliteitsbouw worden over het algemeen doorlopende lichte gevelconstructies toegepast. Indien hoge geluidsisolaties nodig zijn, zoals in de woningbouw, liggen dergelijke constructies minder voor de hand, hoewel dit bij zeer zorgvuldige detaillering zeker niet onmogelijk is.

Voor verdere informatie wordt verwezen naar 'Akoestische kwaliteitsbeheersing van gevels', SBR-publicatienummer 278 (1994).

**Geluidsproductie van de gevel** Als gevolg van windinvloeden kunnen onderdelen van de gevel geluid afgeven. Hierbij kan gedacht worden aan zonweringen of open kokers. Het verdient daarom de voorkeur voldoende zware constructies toe te passen, die niet kunnen gaan 'klapperen', uiteinden van kokerprofielen af te dichten en metaal-op-metaal contact van beweegbare delen te voorkomen.

## FAÇADES EN BOUWFYSICA / BRAND- EN BLIKSEMBEVEILIGING

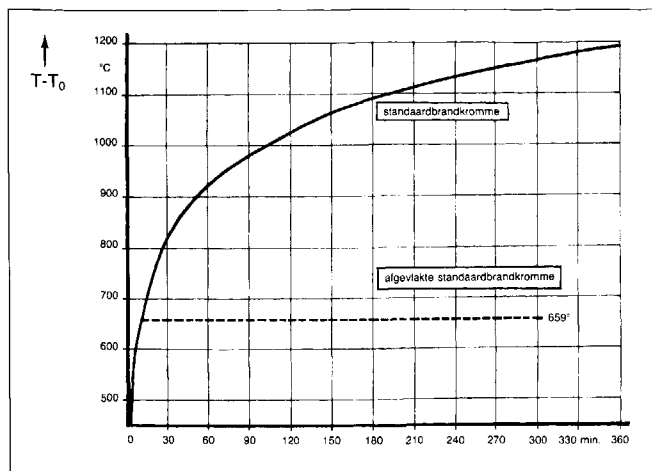
**Algemeen** De eisen op het gebied van brandveiligheid staan vermeld in het Bouwbesluit. Vanuit het Bouwbesluit wordt verwezen naar normbladen; meestal voor het bepalen van een eigenschap van een constructieonderdeel. Via ministeriële regelingen wordt vastgelegd welke norm gehanteerd moet worden en op welke wijze deze moet worden gebruikt. Tevens kunnen in ministeriële regelingen aanvullende voorschriften zijn opgenomen. In het Bouwbesluit zijn nog niet voor alle gebouwtypen specifieke eisen opgesteld (vooral nog alleen voor woon-, kantoor- en logiesgebouwen).

**Brandeisen voor het gesloten gedeelte ter plaatse van de vloeren** Er wordt een onderscheid gemaakt tussen het gedeelte dat boven de vloer uitsteekt, de borstwering, en het paneelgedeelte onder de vloer, het vlamscherm. (fig. 7.1.10)

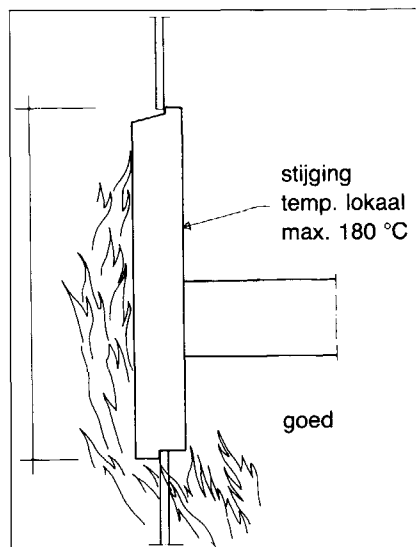
### Brandwerendheid borstwering/vlamscherm

Van de gehele borstwering/vlamschermconstructie, inclusief haar aansluitingen aan de vloer en ankerconstructies, wordt een brandwerendheid geëist die doorgaans op 30 minuten gesteld wordt, maar in bepaalde situaties kan variëren. Dit is afhankelijk van de in het Bouwbesluit gestelde eisen. Voor de niet in het Bouwbesluit geregelde gebouwtypen is een en ander afhankelijk van de interpretatie door de desbetreffende brandautoriteiten.

De brandwerendheid is de tijd waarin zich geen vuurverschijnselen voordoen aan de van het vuur afgekeerde zijde van de constructie.



7.1.11



7.1.12



7.1.20 Componentenbouw.

Om bij een over enige verdiepingen doorlopende gevel te voorkomen dat een brand zich in verticale richting uitbreidt, moet het borstweringsgedeelte aan een aantal brandcondities en -criteria voldoen, die zijn vastgelegd in NEN 6069. Voor de brandwerendheid van het geveldeel onder de vloer geldt de standaard brandkromme volgens NEN 6069. Voor het geveldeel boven de vloer mag echter de gereduceerde standaard brandkromme worden toegepast.

**Brandwerendheid borstweringsgedeelte** Het borstweringsgedeelte (onderdeel van de uitwendige scheidingsconstructie) wordt beoordeeld met een temperatuurbelasting aan de buitenzijde, dus van buiten naar binnen. De temperatuurontwikkeling aan de buitenzijde is minder zwaar dan bij een brand aan de binnenzijde van het gebouw. Daarom wordt voor het borstweringsgedeelte gebruik gemaakt van de gereduceerde standaard brandkromme volgens NEN 6069. (fig. 7.1.11) Bij deze gereduceerde standaard brandkromme stijgt de temperatuur met niet meer dan 659°C. Er wordt verlangd dat gedurende de geëiste brandwerendheid:

- aan de niet verhitte zijde van het paneel geen vlammen uit de constructie komen, noch ten gevolge van doorlekken, noch ten gevolge van ontbranding door doorgeleide hitte;
- de niet verhitte zijde van het paneel gemiddeld niet meer dan 140°C in temperatuur mag stijgen, met een plaatselijke maximale stijging van 180°C;
- er niet te grote openingen (spleet: 6 x 150 mm; opening: Ø25 mm) ontstaan in het paneel. (fig. 7.1.12)

**Conditie en criteria brandwerendheid vlamscherm** Het vlamscherm (onderdeel van de uitwendige scheidingsconstructie) wordt beoordeeld met een temperatuurbelasting aan de binnenzijde, dus van binnen naar buiten. De brand aan de binnenzijde van het gebouw wordt gesimuleerd door een temperatuurontwikkeling volgens de standaard brandkromme, zoals beschreven in NEN 6069. (fig. 7.1.11)

Er wordt verlangd dat gedurende de geëiste brandwerendheid:

- aan de niet verhitte zijde van het paneel geen vlammen uit de constructie mogen komen, noch ten gevolge van doorlekken, noch ten gevolge van ontbranding door doorgeleide hitte;
- er niet te grote openingen (spleet: 6 x 150 mm; opening: Ø25 mm) in het paneel mogen ontstaan;
- de stralingsintensiteit vanaf het paneel, gemeten op 1 m afstand, niet meer dan 15 kW/m<sup>2</sup> mag bedragen.

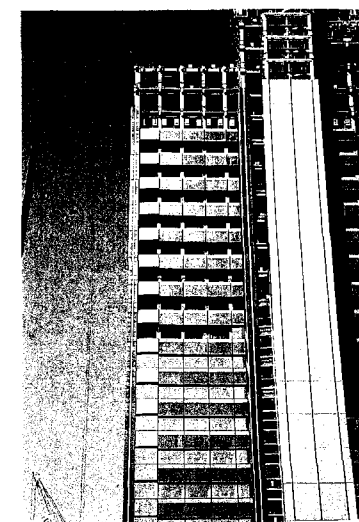
**Constructieve opzet** Om aan de brandveiligheidseisen te kunnen voldoen moet de ontwerper naar een geëigende combinatie van materialen zoeken, die tevens aan de warmte- en akoestische eisen voldoet. Een combinatie van materialen die in de praktijk goede resultaten heeft opgeleverd, bestaat uit:

- hittebestendige binnenplaat, bijvoorbeeld staal;
- steenwol (bevestiging aan binnenplaat moet 80°C temperatuurverhoging kunnen verdragen);
- spouw;
- buitenplaat (vaak aluminium of glas).

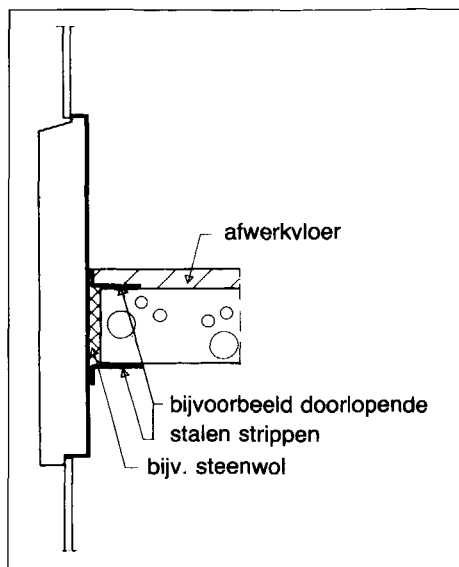
**Constructieve eisen** Er moet worden voorkomen dat het vlamscherm aan de binnenzijde zijn temperatuur middels geleiding aan het borstweringsge-



7.1.21 Uitwendige versterkingsconstructie.



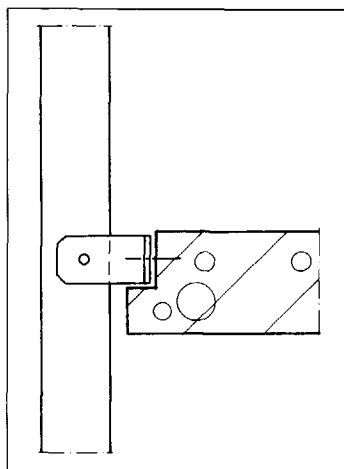
7.1.22 Staalskelet- en gevelcomponentenbouw te Japan.



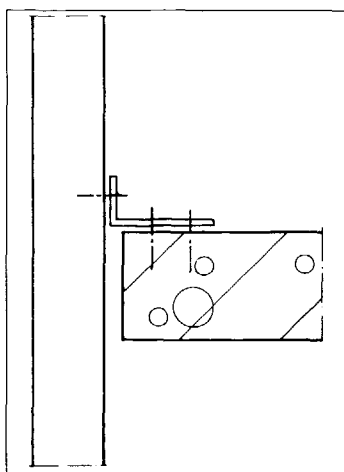
7.1.13

Hoogte van het object		Gemiddelde afstand tussen de afgaande leidingen, max. bij een daknet een basiswijdte van		
groter dan	tot en met	20m x 20m max.	10m x 20m max.	10m x 10m max.
-	25m	20m	15 m	10m
25m	50m	30m -0,4H	22,5m -0,3H	15m -0,2H
50m	-	10m	7,5m	5m

7.1.16 Gemiddelde afstand afgaande leidingen.



7.1.14



7.1.15

deelte doorgeeft, zodat daar niet meer aan de temperatuureis wordt voldaan.

Bij de constructie met de ononderbroken binnenplaat dienen voorzieningen te worden getroffen om ontoelaatbare temperatuurstijgingen boven de vloer te voorkomen. De afmetingen van het gedeelte onder en boven de vloer tezamen zijn afhankelijk van plaats en omstandigheden, zoals de geometrie van de brandruimte. Oplossingen voor een groot aantal mogelijke situaties zijn weergegeven in NPR 6091: 'Brandoverslag door straling'.

Uiteraard is het essentieel de aansluiting tussen de vloer en de gevel rook- en vlamdicht en warmte-isolerend uit te voeren. Dit kan bijvoorbeeld op de wijze zoals in figuur 7.1.13 is aangegeven.

Tijdens brand dreigt het gevaar dat diverse onderdelen van een gevelconstructie ten gevolge van verhitting kromtrekken, zodat kieren en aansluitingen open gaan staan. Hierdoor loopt de brandwerendheidsduur terug. Dit dient door goede klemlijstconstructies, borgingen en dergelijke te worden voorkomen. Verder moet ervoor worden gezorgd dat de ankers niet zo warm worden, dat zij dreigen te bezwijken. Een eenvoudige manier om dit te voorkomen is de verankering zo te construeren, dat deze in of boven de vloerconstructie gelokaliseerd is. (fig. 7.1.14 en 15)

Speciale aandacht verdienen verder de verticaal lopende naden, omdat dit plaatsen zijn waar de warmte vaak beter wordt geleid dan in de verdere paneelopbouw. Eén mogelijkheid is om, indien dichtingsbanden nodig zijn, deze in onbrandbaar materiaal uit te voeren. Indien de gevelstijlen zo zijn uitgevoerd dat er verticaal doorgaande ruimten ontstaan, dienen deze per verdieping afgestopt te worden om ongewenste schoorsteeneffecten te voorkomen.

## BLIKSEMBEVEILIGING EN AARDING

**Algemeen** Eén van de vele brandoorzaken is blikseminslag. Vrijstaande bouwwerken lopen meer risico om door de bliksem te worden getroffen. Het gevaar voor blikseminslag neemt ongeveer met het kwadraat van de gebouwhoogte toe. Gevoelige inslagpunten zijn torens, gevelspitsen en schoorstenen. Bij gebouwen boven de 30 meter hoogte moet men ook rekening houden met de mogelijkheid van zijdelingse inslag. In bijzondere gevallen moet men reeds bij gebouwhoogten van 20 meter rekening houden met een bliksembeveiliging van de gevelvlakken als deze uit metaal zijn opgebouwd.

**Onderlinge verbindingen** Aluminium vliesgevels kunnen voor een groot gedeelte benut worden als afleiding en vanginrichting. Hierbij kunnen doorgaande, elektrisch geleidende bouwdelen zoals geprofileerde platen, profiellijsten en onderconstructies als afleiding gebruikt worden, indien de verticale en horizontale doorverbindingen zijn verzekerd.

Aan de bovenzijde kan een doorverbinding naar het daknet of bijvoorbeeld de glazenwassersrail worden gemaakt. De onderzijde wordt bijvoorbeeld aangesloten op de gebouwfundering door middel van cadweldplaten.

Volgens NEN 1014 wordt de afstand tussen bliksemafleiders bepaald door de hoogte van het gebouw en de basismaaswijdte van het daknet, zie figuur 7.1.16. Er zijn echter altijd tenminste 2 afgaande leidingen noodzakelijk.

Aluminium vliesgevelonderdelen met een elektrisch isolerende oppervlaktebehandeling, zoals een



7.1.23 Glasdakconstructie met luchtverwarming.

anodiseerlaag, moffellaag, email- of kunststof laag, behoeven niet elektrisch geleidend verbonden te worden en de isolerende oppervlaktebehandeling behoeft niet te worden verwijderd. Bij voldoende overlapping gelden deze met betrekking tot blikseminslag namelijk als elektrisch geleidend verbonden.

Elektrisch geleidende verbindingen kunnen tot stand worden gebracht door middel van schroeven 2 x M6 of 1 x M10 R.V.S., popklinknagels 6 x Ø3,5 of 4 x Ø5, aluminium klemmen, lussen, overlappingsen of een geïsoleerde kabel.

Isolerende ringen of folies behoeven niet metallisch overbrugd te worden.

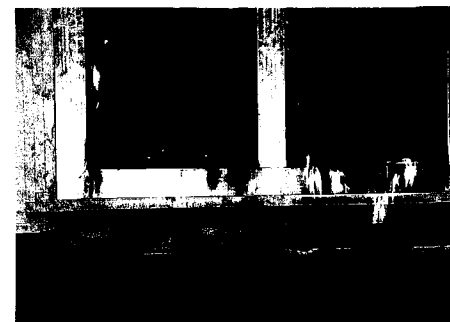
**Aarding** Een aarding van gevelcomponenten kan noodzakelijk zijn als een oplading door statische elektriciteit moet worden voorkomen. Dit staat dus los van het benutten van de gevel als deel van het bliksembeveiligingssysteem. De aarding kan geschieden zoals is aangegeven voor bliksembeveiliging met dien verstande dat elektrisch isolerende oppervlakten niet toegestaan zijn: de onderdelen dienen onderling met elkaar verbonden te worden zonder tussenkomst van oppervlaktafwerking, folies en dergelijke.

## FAÇADES EN STATICA

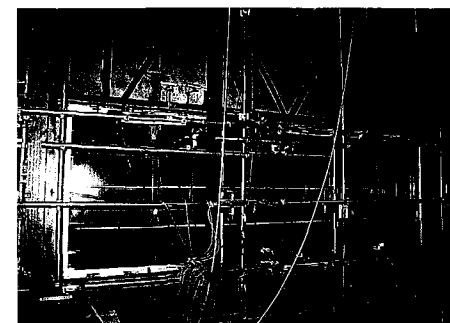
**Algemeen** Gevels en gevelonderdelen worden aan diverse belastingen onderworpen. Deze belastingen kunnen van zeer uiteenlopende aard zijn: belasting door wind, het eigen gewicht van de gevelvulling, glazenwasinstallatie, zonwering, maar ook leunende of vallende personen.

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de eisen en bepalingsmethoden ten aanzien van de sterkte en stijfheid van gevelcomponenten. Deze eisen en bepalingsmethoden zijn gebaseerd op het Bouwbesluit 1991 met de daarin aangewezen normen respectievelijk onderdelen van normen die betrekking hebben op metalen gevelcomponenten en gevels. Daarnaast zijn van toepassing: VMRG kwaliteitseisen en adviezen 1993, BRL 2701: 1994 metalen gevelelementen en VMRG gevels en statica 1995. Dit hoofdstuk is gebaseerd op de VMRG uitgave 1995 'Gevels en Statica'. [7.5]

**Belastingen en toetsingscriteria** Voor de dimensionering van gevelcomponenten is het noodzakelijk te bepalen welke belastingen er verwacht kunnen worden. In NEN 6702 zijn deze belastingen voor constructies in het algemeen vastgelegd. Hierin wordt een verschil gemaakt tussen belastingen van permanente aard en van veranderlijke aard. Tot de eerste categorie behoren het eigen gewicht van de component met eventuele zonwering enzovoorts. Deze belastingen zijn zeer nauwkeurig te bepalen omdat de constructie bekend is. Tot de tweede categorie behoren de belasting door wind en door leunende of vallende personen. De grootte van deze belastingen is in het



7.1.24 Brandtest aluminiumpui.



7.1.25 Installatie voor de beproeving van de water- en winddichtheid van gevels.



7.2.6 Glazenwasinstallatie met gondel.  
project: 10 Flet Place, Londen  
architect: Adrian Smith, SOM

algemeen moeilijker te bepalen. De grotere onzekerheid bij de vaststelling hiervan komt dan ook tot uitdrukking in hogere belastingfactoren (veiligheidsfactoren). Om de hoogte van de belastingfactoren te kunnen berekenen, moet vastgesteld worden welke veiligheidsklasse aangehouden moet worden.

**Windbelasting** In artikel 8.6 van NEN 6702 wordt uitgebreid ingegaan op de te berekenen windbelasting op gebouwen en onderdelen van gebouwen. In onderstaand overzicht zijn de bepalingen verwerkt die betrekking hebben op gevels.

Onderdelen van gebouwen moeten berekend worden op de ongunstige combinatie van gelijktijdig optredende windbelastingen  $p_{rep}$ , die als volgt bepaald moet worden:

$$p_{rep} = C_{dim} \cdot C_{index} \cdot C_{eq} \cdot \Phi_1 \cdot p_w$$

waarin:

$p_{rep}$  = de windbelasting door winddruk, windzuiging, windwrijving en over- of onderdruk in  $kN/m^2$

$C_{dim}$  = de factor die de afmeting van een bouwwerk in rekening brengt

$C_{index}$  = de windvormfactoren; deze kunnen zijn:

$C_{pe}$  voor externe druk of zuiging op vlakken

$C_{pe,loc}$  voor lokale situaties in vlakken

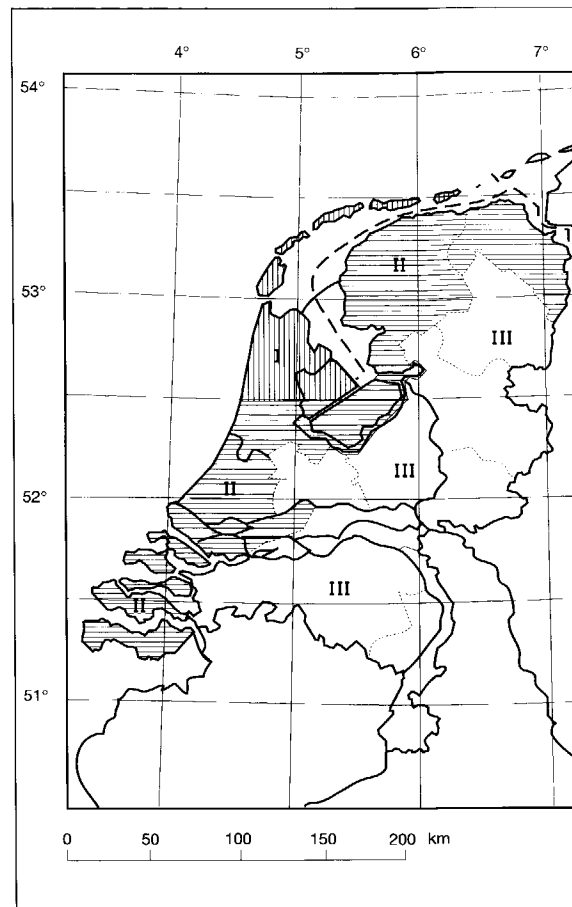
$C_{pi}$  voor interne over- of onderdruk

$C_t$  voor een combinatie van voornoemde factoren op een zodanige wijze, dat de totale windbelasting als een geheel wordt beschouwd

$C_{eq}$  = de drukvereffeningsfactor

$\Phi_1$  = de vergrotingsfactor waarmee de dynamische invloed van wind in de windrichting op het bouwwerk in rekening gebracht wordt

$p_w$  = de extreme waarde van de stuwdruk



7.2.1

Voor de berekening van gevelcomponenten kan voor enkele factoren de waarde 1 gerekend worden. Dit zijn de factoren  $C_{dim}$ ,  $C_{eq}$  en  $\Phi_1$  (zie NEN 6702). De drukvereffeningsfactor  $C_{eq}$  vereist enige toelichting. Wanneer een gevelconstructie uit meerdere lagen bestaat waartussen bijvoorbeeld een spouw is ingesloten, is het mogelijk dat de windbelasting zich verdeelt over de verschillende lagen. Denk hierbij onder andere aan een constructie waarbij de buitenste laag sterk luchtdoorlatend is (bijvoorbeeld enkelvoudige panelen en geventileerde spouw: de koudespouwfaçade). Hierbij hoeft niet met de volledige lokale windbelasting op de buitenste laag van de gevelconstructie gerekend te worden. In de normen is voor  $C_{eq}$  nog geen bepalingmethode vastgelegd. In voorkomende gevallen kan  $C_{eq}$  door middel van een onderzoek vastgesteld worden. In het algemeen dient de waarde 1 aangehouden te worden.

Rekening houdende met het bovenstaande en uitgaande van de berekening op basis van gecombineerde windvormfactoren volgt:

$$p_{rep} = C_t \cdot p_w$$

**Bepaling extreme waarde stuwdruk** De door de wind veroorzaakte stuwdruk op een gevelconstructie is afhankelijk van:

- de lokatie van het gebouw in Nederland;



h m	$p_w$ kN/m <sup>2</sup>					
	gebied I		gebied II		gebied III	
	onbebouwd	bebouwd	onbebouwd	bebouwd	onbebouwd	bebouwd
≤2	0.64	0.64	0.54	0.54	0.46	0.46
3	0.70	0.64	0.54	0.54	0.46	0.46
4	0.78	0.64	0.62	0.54	0.49	0.46
5	0.84	0.64	0.68	0.54	0.55	0.46
6	0.90	0.64	0.73	0.54	0.59	0.46
7	0.95	0.64	0.78	0.54	0.63	0.46
8	0.99	0.64	0.81	0.54	0.67	0.46
9	1.02	0.64	0.85	0.54	0.70	0.46
10	1.06	0.70	0.88	0.59	0.73	0.50
11	1.09	0.76	0.91	0.64	0.76	0.54
12	1.12	0.81	0.94	0.68	0.78	0.58
13	1.14	0.86	0.96	0.72	0.80	0.61
14	1.17	0.90	0.99	0.76	0.82	0.64
15	1.19	0.94	1.01	0.79	0.84	0.67
16	1.21	0.98	1.03	0.82	0.86	0.70
17	1.23	1.02	1.05	0.85	0.88	0.72
18	1.25	1.05	1.07	0.88	0.90	0.75
19	1.27	1.08	1.09	0.90	0.91	0.77
20	1.29	1.11	1.10	0.93	0.93	0.79
25	1.37	1.23	1.18	1.03	1.00	0.88
30	1.43	1.34	1.24	1.12	1.06	0.95
35	1.49	1.43	1.30	1.20	1.11	1.02
40	1.54	1.50	1.35	1.26	1.15	1.07
45	1.58	1.57	1.39	1.32	1.19	1.12
50	1.62	1.62	1.43	1.37	1.23	1.16
55	1.66	1.66	1.46	1.42	1.26	1.20
60	1.69	1.69	1.50	1.46	1.29	1.24
65	1.73	1.73	1.53	1.50	1.32	1.27
70	1.76	1.76	1.56	1.54	1.34	1.31
75	1.78	1.78	1.58	1.57	1.37	1.33
80	1.81	1.81	1.61	1.60	1.39	1.36
85	1.83	1.83	1.63	1.63	1.41	1.39
90	1.86	1.86	1.65	1.65	1.43	1.41
95	1.88	1.88	1.68	1.68	1.45	1.44
100	1.90	1.90	1.70	1.70	1.47	1.46
110	1.94	1.94	1.74	1.74	1.51	1.50
120	1.98	1.98	1.77	1.77	1.54	1.54
130	2.01	2.01	1.80	1.80	1.57	1.57
140	2.04	2.04	1.83	1.83	1.60	1.60
150	2.07	2.07	1.86	1.86	1.62	1.62

Bij tussengelegen waarden van h mag voor de bepaling van  $p_w$  lineair zijn geïnterpoleerd.



7.2.7 Piramide te Gulpen. Inwendige versterkingsconstructie.

## 7.2.2

- de ligging van het gebouw: in een bebouwde of onbebouwde omgeving;

- de relatie hoogte-breedte van het gebouw.

In NEN 6702 is Nederland in 3 gebieden verdeeld met betrekking tot de te hanteren stuwdruk. (fig. 7.2.1)

- gebied I: Markermeer, Waddeneilanden en de provincie Noord-Holland ten noorden van de gemeenten Heemskerk, Uitgeest, Wormerland, Purmerend en Edam-Volendam.

- gebied II: het resterende deel van de provincie Noord-Holland, de provincies Groningen, Friesland, Flevoland, Zuid-Holland en Zeeland.

- gebied III: het resterende deel van Nederland.

De stuwdrukverdeling over de hoogte van het gebouw is als volgt te bepalen: is de hoogte van het gebouw kleiner dan de breedte, dan moet de stuwdruk behorende bij de hoogte van het gebouw over de gehele hoogte constant worden aangenomen; is de hoogte van het gebouw groter dan de breedte, dan moet de stuwdruk behorende bij een hoogte overeenkomstig met de breedte van het gebouw over het lager gelegen deel constant zijn aangenomen. Voor het bovenliggende deel moet de stuwdruk op de betreffende gebouwhoogte worden aangehouden.

Voor de meeste gebouwen met beperkte hoogte betekent dit, dat de stuwdruk behorende bij de gebouwhoogte over de gehele hoogte constant moet

worden aangehouden. Als gebied en ligging in bebouwde of onbebouwde omgeving vastgesteld zijn, kan aan de hand van tabel figuur 7.2.2 de extreme waarde voor de stuwdruk  $p_w$  bepaald worden.

**Gecombineerde windvormfactor** Voor gevels in gesloten toestand kunnen volgens NEN 6702 de volgende windvormfactoren afgeleid worden:

- bij winddruk  $C_t = 1,1$

- bij windzuiging  $C_t = -1,1$

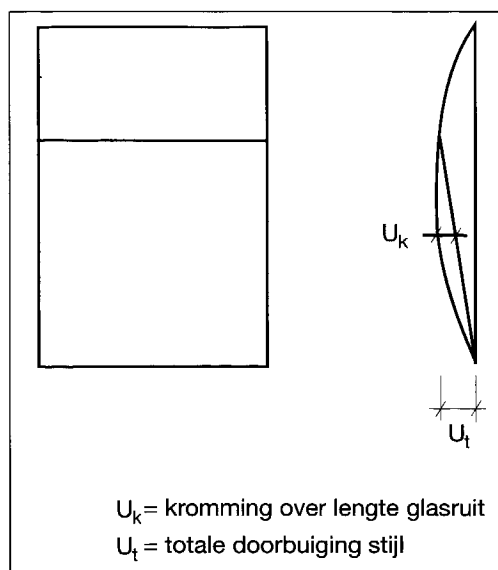
bij kleine oppervlakken of langs de randen van een gebouw kan dit oplopen tot:  $C_t = -11,5$

**Belasting door personen, meubilair en aankleding** Naast de horizontale windbelasting moet volgens NEN 6702 ook rekening gehouden worden met horizontale belastingen door onder andere personen.

Deze belastingen zijn van toepassing op gevels die grenzen aan een vloer die meer dan 0,6 meter in hoogte verschilt met het aangrenzende terrein. Voor gevelcomponenten is dit dus nagenoeg altijd van toepassing. In NEN 6702 is dit vastgelegd in de volgende artikelen:

- NEN 6702, 8.2.6.1

Dit betreft onder andere de belasting ten gevolge van personen die tegen de gevelconstructie aanleunen. De krachten grijpen aan op 0,85 m boven vloerniveau.



7.2.3

Indien de vloer hoger is gelegen dan 1,3 m boven een aangrenzende vloer of boven het aansluitende terrein, grijpt de belasting aan op 1,2 m boven vloerniveau.

- NEN 6702, 9.6

Dit betreft een stootbelasting ten gevolge van bijvoorbeeld vallende personen. De gevelconstructie moet in staat zijn deze stootbelasting te incasseren zonder te bezwijken. De volgende uitgangspunten moeten zijn gehanteerd:

- de stootbelasting moet worden beschouwd als een vrije belasting werkend in horizontale richting, doch niet hoger aangrijpend dan de lijnlast volgens 8.2.6.1;
- de stootbelasting grijpt aan op een cirkelvormig oppervlak met een middellijn van 0,2 m;
- de kinetische energie in de stootbelasting is 0,5 kNm.

In VMRG 'Kwaliteitseisen en adviezen' en 6.1.1.2 van BRL 2701 is voor bovenstaande eisen een gelijkwaardige bepalingsmethode vastgesteld: voor de sterkte van raamwerken in gevelcomponenten en binnenpuien, die de begrenzing vormen tussen een niveauverschil groter dan 0,6 m, moet een gelijkmatig verdeelde belasting worden aangehouden met een rekenwaarde groot  $P_d = 1 \text{ kN/m}^2$ . Wordt hiermee bij de dimensionering van de stijlen en regels in gevelcomponenten rekening gehouden, dan is een sterktecontrole bij ruimten als bedoeld in 8.2.2.1 a), b), c) en f) volgens 8.2.6.1 en 9.6 van NEN 6702 niet noodzakelijk.

#### Belastingen door andere constructies

Behalve door het eigen gewicht en door wind kunnen gevelcomponenten ook worden belast door andere constructies, onder andere zonweringen en bemande

glazenwasinstallaties. De grootte van deze belastingen is afhankelijk van het type constructie. De belastingen uit deze constructies zijn meestal te beschouwen als permanent.

### TOETSINGSCRITERIA

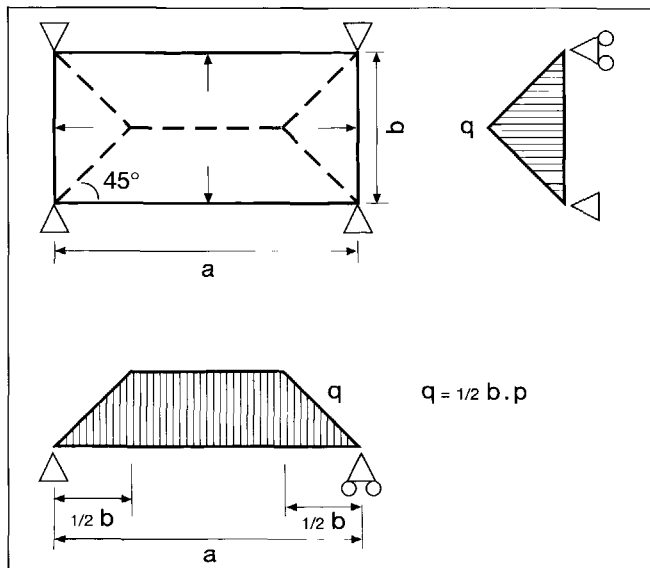
**Sterkte** Volgens NEN 6702 mogen de gevelconstructie en onderdelen daarvan bij een rekenwaarde van de belastingen de uiterste grenstoestand niet overschrijden, dus de rekenwaarde van de sterkte  $R_d$  moet groter of gelijk zijn aan de rekenwaarde van het effect respectievelijk de krachten  $F_d$  ten gevolge van de belastingen. De rekenwaarde van de sterkte moet worden bepaald volgens de materiaalgebonden normen. Voor metalen gevelcomponenten zijn dit NEN 6710 (aluminium constructies) en NEN 6770 (staalconstructies).

**Doorbuiging** In NEN 6702 zijn geen voorwaarden gesteld ten aanzien van de doorbuiging van gevelcomponenten. In de 'VMRG Kwaliteitseisen en adviezen 1993' en in de BRL 2701 zijn daarom nadere eisen gesteld. Tevens zijn hierin voorwaarden opgenomen met betrekking tot de verticale doorbuiging van regels ten gevolge van het eigen gewicht en het glasgewicht. Verder worden in 4.3.3 van NEN 2608 voorwaarden gesteld aan de maximale doorbuiging over de lengte waarover een glasruit ondersteund wordt. Stijlen en regels in gevelcomponenten dienen in het algemeen aan deze voorwaarden te voldoen.

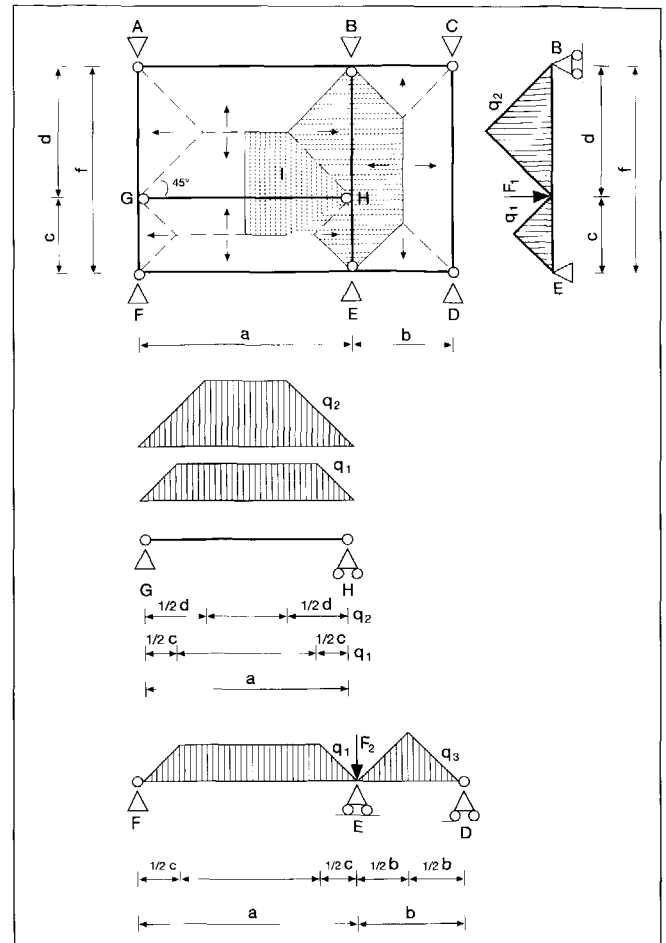
In figuur 7.2.3 is het verschil tussen beide criteria met betrekking tot de horizontale doorbuiging weergegeven.



7.2.8 Gasunie Groningen.  
architecten: Alberts en Van Huut



7.2.4



7.2.5

### Horizontale doorbuiging van de stijlen en regels

De dimensionering van gevelcomponenten op sterkte is gebaseerd op de extreme windbelastingen (zie hiervoor), waarbij tevens de verschillende belastingfactoren verdisconteerd worden. Het is met betrekking tot de stijfheid van totale gevelcomponenten echter economisch niet verantwoord te dimensioneren op extreme, zelden voorkomende windbelastingen. In de 'VMRG Kwaliteitseisen en adviezen' en in de BRL 2701 wordt daarom de volgende voorwaarde gesteld:

de doorbuiging ( $U_t$ ) van stijlen en regels moet getoetst worden bij een windbelasting groot  $p = 0,75 \cdot p_w$ , waarin  $p_w$  de extreme waarde voor de stuwdruk is volgens figuur 7.2.2.

De horizontale doorbuiging van de stijlen en regels mag bij deze belasting niet meer bedragen dan 0,005 (=1/200) maal hun lengte.

### Horizontale doorbuiging over de lengte van een glasruit

De berekening van de glasruit volgens NEN 2608 is slechts mogelijk indien aan de randvoorwaarden met betrekking tot de doorbuiging van

stijlen en regels voldaan wordt. In 6.1.1.5 van BRL 2701 is onder de prestatie-eisen een gelijkwaardige bepalingmethode gegeven. Hierin is vastgelegd dat bij beproeving volgens NEN 3660:1988 met een drukter grootte van  $0,75 \cdot p_w$  aan de gestelde doorbuigingscriteria voor de beglazing voldaan moet worden.

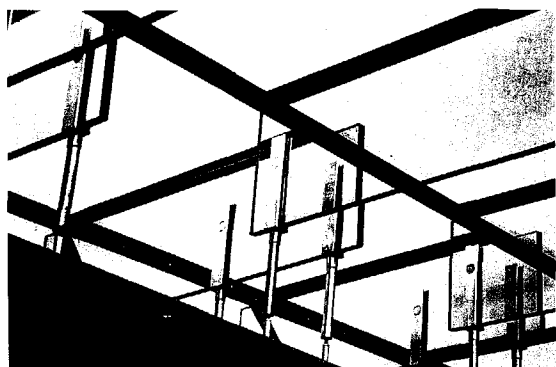
In plaats van deze beproeving kan ook een toetsing door middel van berekening plaatsvinden, waarbij voor de windbelasting moet worden aangehouden:

$p = 0,75 \cdot p_w$ , waarin  $p_w$  extreme waarde voor stuwdruk volgens is volgens figuur 7.2.2.

De doorbuiging of kromming ( $u_k$ ) over de lengte waarover een glasruit afgesteund wordt, mag bij bovengenoemde rekenwaarde voor de windbelasting niet meer bedragen dan:

- bij enkelglas 0,005 (=1/200) maal de lengte van de ruit met een maximum van 10 mm;
- bij dubbelglas 0,0028 (=1/360) maal de lengte van de ruit met een maximum van 8 mm.

**Verticale doorbuiging van regels** Regels mogen ten gevolge van de verticale belastingen uit eigen gewicht, het gewicht van de beglazing of andere vlakvul-



7.2.9 Constructieve toepassing van glas.  
 project: kantoor Nationale Nederlanden te Budapest  
 architect: Mecanoo

lingen in het verticale vlak niet meer doorbuigen dan 2 mm.

De optredende doorbuiging is sterk afhankelijk van de plaats van de glasondersteuningsblokjes. Hoe verder deze in de hoeken geplaatst worden, hoe minder het profiel zal doorbuigen. De glasondersteuningsblokjes mogen echter niet dichter dan op 1/10 van de regellengte in de hoek geplaatst worden.

**Berekening** Voor de dimensionering van de gevelcomponenten bij eerder genoemde belastingen en toetsingscriteria is kennis van de statische mechanica vereist.

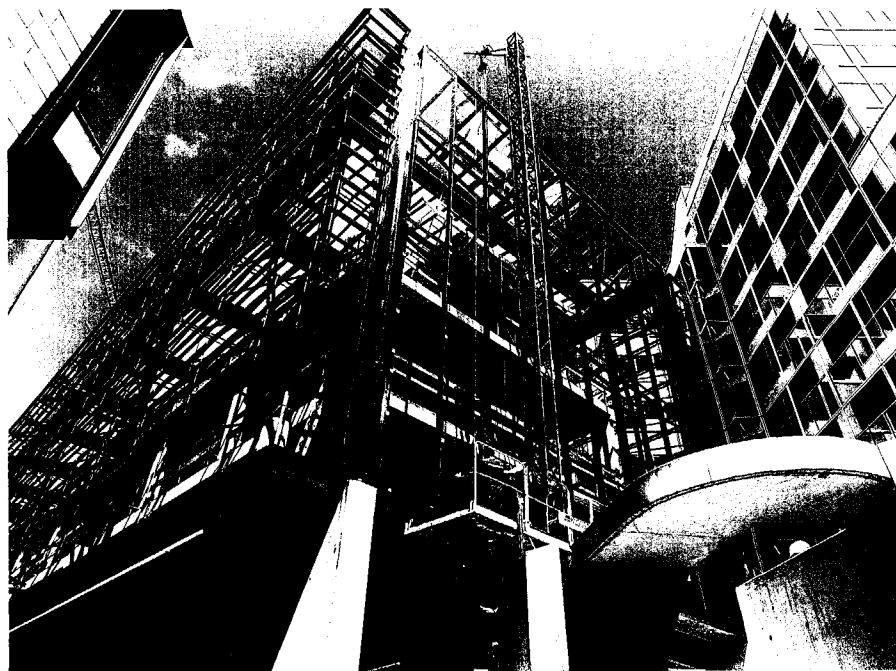
De verdeling van de windbelasting  $p$  over de dragende stijlen en regels is in het algemeen als in figuur 7.2.4, waarin  $q = \frac{1}{2} \cdot b \cdot p$

Bij complexere gevelcomponenten is de verdeling over de afzonderlijke stijlen en regels bijvoorbeeld als in figuur 7.2.5, waarin:

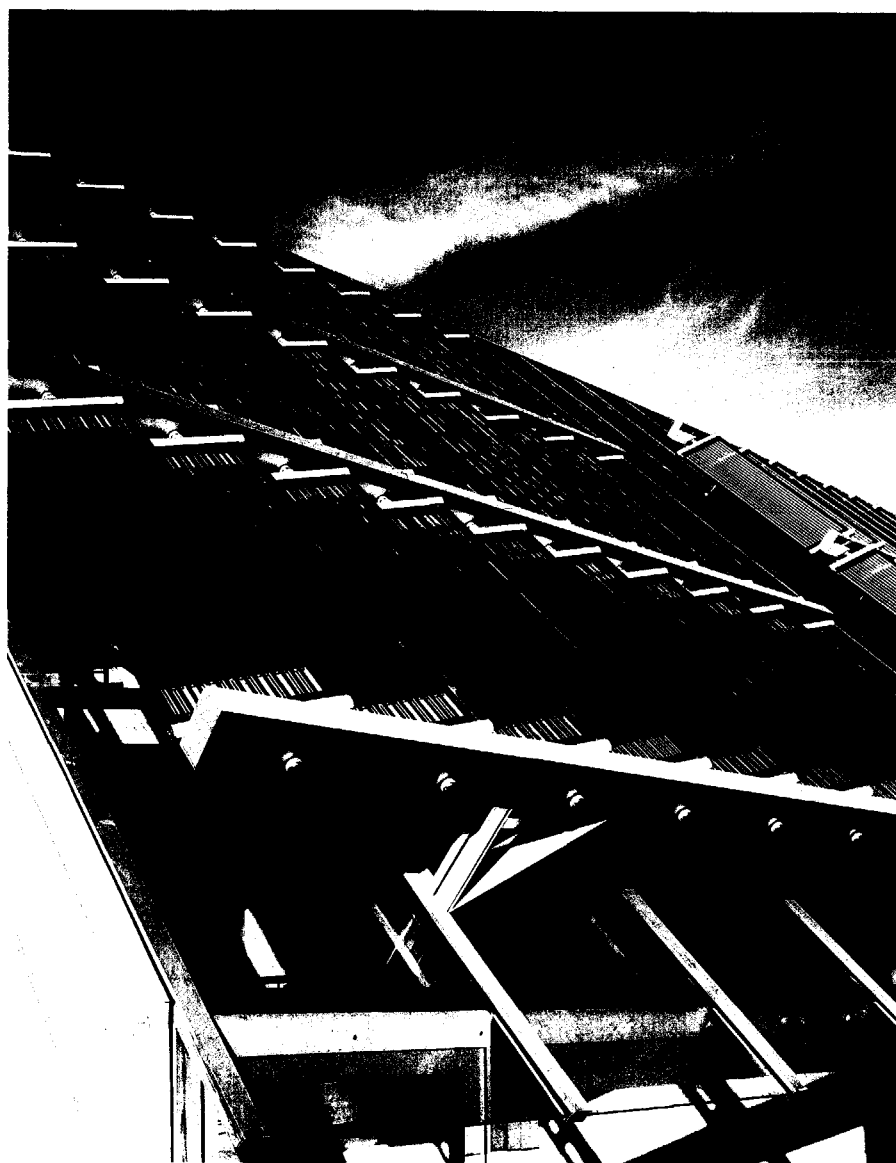
$$q_1 = \frac{1}{2} \cdot c \cdot p, \quad q_2 = \frac{1}{2} \cdot d \cdot p, \quad q_3 = \frac{1}{2} \cdot b \cdot p$$

$F_1$  = reactiekracht uit GH, het gearceerde vlak I maal  $p$

$F_2$  = reactiekracht uit BE



7.2.10 Hoofdkantoor Centraal Beheer te Apeldoorn.  
 architect: Herman Herzberger



*Demonstratie gebouw IGA Stuttgart 1993: 90 m<sup>2</sup> hologrammen tussen gelamineerd glas.*

# Façades en bouworganisaties





# Façades en bouworganisaties

8.1 Bij hoogbouw is logistiek een bepalende factor voor een korte bouwtijd.  
project: Messeturm Frankfurt (D)  
architect: Murphy/Jahn, Chicago

## HET BOUWPROCES IN FASEN

**Algemeen** Het bouwen van een utiliteitsbouw-werk is een complexe en meestal eenmalige activiteit. Voor het realiseren van het bouwwerk werken vele partijen samen. (fig. 8.1)

De uit te voeren werkzaamheden worden tijdens de programma- en ontwerpfase van het bouwproces vastgelegd; de afstemming van de werkzaamheden vindt plaats tijdens de uitwerkings- en realisatiefase.

Voor de beheersing van dit proces is een vorm van bouwmanagement noodzakelijk. Afhankelijk van het soort bouwinitiatief en het type opdrachtgever wordt de organisatievorm van het bouwmanagement vastgesteld.

Het verlangde resultaat van een bouwinitiatief kan in twee hoofdzaken aangegeven worden:

- het realiseren van een functioneel, duurzaam gebouw, met een veilig en aangenaam binnenmilieu, dat voldoet aan de gestelde gebruiksdoelen en -eisen (bouwkunde);
- het realiseren van een architectuur die past bij het imago van de gebruiker(s) en die een toegevoegde waarde oplevert voor de gebouwde omgeving (bouwkunst).

Bij de uitvoering van bouwwerken is het budget een taakstellend uitgangspunt. Voor een bouw voor eigen gebruik volgt het bouwbudget uit de raming van de produktiemiddelen voor de uit te voeren architectonische- en bouwkundige werkzaamheden; bij projectontwikkeling volgt het bouwbudget uit de rendementsberekeningen uitgaande van de te verwachten huuropbrengst en de rendementseisen.

Voor een aantal overheidsbouwwerken, zoals

ziekenhuizen, bejaardentehuizen, scholen etc. zijn curveprijzen vastgesteld. Deze curveprijzen zijn bepalend voor het bouwbudget.

**Het bouwproces** Het bouwproces wordt in een aantal fasen verdeeld. De fasenindeling zoals opgenomen in de SBR-publicatie 'Bouworganisatievormen in Nederland' is aangehouden. [8.1]

PROGRAMMA: fase 1, 2 en 3

fase 1

Fase 1: **het initiatief**

In deze fase wordt de huisvestingsbehoefte geformuleerd. Dit gebeurt naar aanleiding van de vraag van de te huisvesten organisatie, of van de gesignaleerde vraag naar huisvesting in de markt.

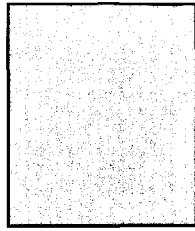
fase 2

Fase 2: **de haalbaarheidsstudie**

In deze fase wordt bepaald of voldaan kan worden aan de huisvestingsbehoefte door analyse van de financiële, juridische, technische, stedenbouwkundige en planologische haalbaarheid; lokatiekeuze.



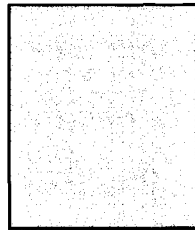
### Fase 3: **de projectdefinitie**



De eisen, wensen, mogelijkheden en beperkingen van de huisvesting worden vastgelegd in een programma van eisen (gebruikseisen, functies en prestaties, beeldverwachting en voorwaarden).

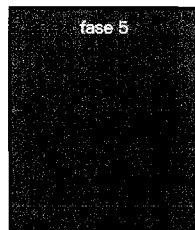
ONTWERP: fase 4, 5 en 6

### Fase 4: **het structuurontwerp**



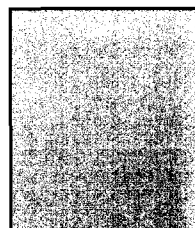
De interne en externe structuur van het project wordt op een zodanige wijze vastgelegd dat een integrale weergave ontstaat van de functionele en structurele opbouw, de vorm en omvang van de bouwmassa, de ontsluiting en de stedenbouwkundige inpassing. Verder worden ramingen gegeven van de bouwkosten (op basis van elementengroepen), de investeringskosten, de doorlooptijd en het mijlpalenplan.

### Fase 5: **het voorlopig ontwerp**



Er wordt een voorstelling ontwikkeld van het te realiseren project voor wat betreft de situering, de hoofdindeling, de structurele en constructieve opzet en de architectonische verschijningsvorm in plastische en ruimtelijke opbouw. Er wordt een schatting gemaakt van de bouwkosten (op basis van elementen), de investeringskosten en de exploitatiekosten en -opbrengsten. De raming van de doorlooptijd en het mijlpalenplan worden bijgesteld.

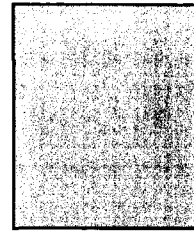
### Fase 6: **het definitief ontwerp**



Het project wordt vastgelegd voor wat betreft de interne en externe structuur, de vorm, plaats en afmetingen van constructies en W&E-installaties. Verder worden de plaats en afmetingen van de bouwdelen vastgelegd. Er wordt een schatting gemaakt van de bouwkosten op basis van variantelementen en van de investeringskosten en exploitatiekosten en -opbrengsten op basis van bouwdelen. De raming van de doorlooptijd en het mijlpalenplan worden bijgesteld.

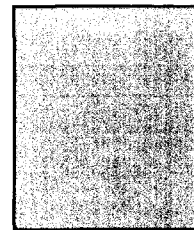
DE UITWERKING: fase 7 en 8

### Fase 7: **het bestek**



De ruimtedelen en bouwdelen, materiaalgebruik, afwerking en detaillering worden zodanig gespecificeerd dat de definitieve prijsvorming op basis van produktiemiddelen (materiaal, arbeid en materieel) mogelijk is. De bouwkosten worden begroot op basis van produktiemiddelen. De investeringskosten en exploitatiekosten en -opbrengsten worden begroot. De bouw-tijd en het mijlpalenplan worden geraamd.

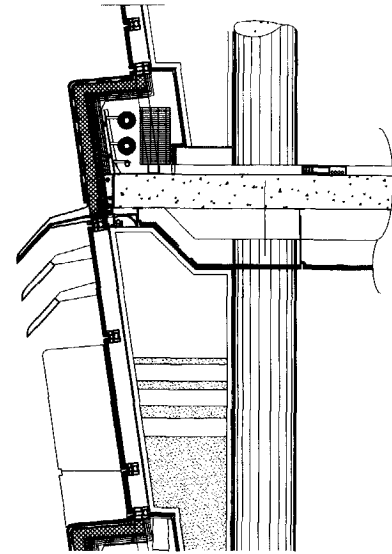
### Fase 8: **de prijsvorming**



In deze fase komt men tot bindende afspraken over de uitvoeringsvoorwaarden: de aanneemsom, de aanvangs- en opleveringsdatum en de diverse administratieve en technische bepalingen. Deze afspraken, voorwaarden en bepalingen worden vastgelegd in uitvoeringscontracten.



8.2 *Gecompliceerde gevelconstructie.*  
*project: Spandauer Tor Gewerbepark Berlin*  
*architect: Claude Vasconi*



*Geveldoorsnede Spandauer Tor Gewerbepark Berlin.*

DE REALISATIE: fase 9,10 en 11

fase 9

Fase 9: **de werkvoorbereiding**

Het plan wordt technisch uitgewerkt in de vorm van productie- en uitvoeringstekeningen. Tijd, geld, materialen, materieel, arbeid en bouwplaatsvoorzieningen worden gepland, zodanig dat de werkzaamheden tijdens de uitvoering kunnen worden gestuurd en bewaakt.

fase 10

Fase 10: **de uitvoering**

Het project wordt feitelijk gerealiseerd zodanig dat aan de contractstukken en daarmee aan de eisen, verwachtingen en voorwaarden van de opdrachtgever en/of gebruikers wordt voldaan.

fase 11

Fase 11: **de oplevering**

Het gerealiseerde bouwwerk wordt formeel overgedragen aan de opdrachtgever. De garantiebepalingen worden vastgelegd. Resterende werkzaamheden worden uitgevoerd en geconstateerde gebreken worden verholpen tijdens de onderhoudstermijn.

De indeling van het bouwproces in de fasen 1 tot en met 11 wordt in werkelijkheid niet strikt aangehouden. De fasen lopen soms parallel of vallen samen.

Voor het gevelbouwproces kunnen dezelfde fasen worden aangenomen als voor het algehele bouwproces.

## DE GEVELBOUWER ALS BOUWPARTNER

**Het gevelbouwproces** Teneinde inzicht te krijgen in de rol en de plaats van de gevelbouwer als bouwpartner is onderzoek uitgevoerd.

**Algemeen** Er is een relatie tussen de aard van de bouworganisatie en de methode van selectie van de gevelbouwer. Indien de bouwdirectie of haar vertegenwoordiger niet in staat is de aanbodsificatie van een gevelbouwer te beoordelen – prijs/prestatie – dan is een logisch gevolg dat het gevelwerk als inkooppost van de bouwkundig aannemer gespecificeerd wordt. Anders kan overwogen worden de gevelbouwer



8.4 Dubbele gevelconstructie van La Grande Bibliothèque te Parijs  
architect: Dominique Perrault

als nevenaannemer of als genomineerde onderaannemer te contracteren.

Het moment waarop de gevelbouwer als bouwpartner in het bouwproces betrokken wordt, kan verder afhankelijk zijn van de volgende factoren:

- de uniciteit van het bouwwerk;
- de architectuur van de gevel;
- de engineering-intensiviteit van de gevel;
- de wijze waarop het bestek gespecificeerd is;
- de grootte van het bouwwerk;
- de bouwtijd en de bouwplaatsomstandigheden.

**De uniciteit van het bouwwerk** De geselecteerde gevelbouwer zal op een eerder tijdstip (fase 6 of 7) in het bouwproces ingeschakeld worden als het bijvoorbeeld de gevel van een zwaar beveiligde vestiging van De Nederlandsche Bank betreft dan wanneer het een eenvoudige standaardgevel voor een middelgroot verhuurkantoor betreft (fase 8).

**De architectuur van de gevel** Een innovatieve geveluitvoering, een gecompliceerde gevelvormgeving en/of -detaillering (fig. 8.2) zijn aanleiding om de gevelbouwer al in de fase van het voorlopig ontwerp (fase 5) of van het definitief ontwerp (fase 6) in te schakelen.

**De engineering-intensiviteit van de gevel** Gevels die engineering-intensief zijn, – bijvoorbeeld bij bouwwerken met verschillende geveluitvoeringen (fig. 8.3) en bij gevels met een actieve functie in de binnenklimaatregulering (fig. 8.4) – zullen vroegtijdig opgedragen dienen te worden. Dit is nodig om het overleg over de afstemming van de geveltechniek op

de klimaatinstallatietechniek en de uitvoering van de engineering-werkzaamheden tijdig mogelijk te maken en zodoende stagnatie bij de uitvoering van de bouwwerkzaamheden te voorkomen.

#### **De wijze waarop het bestek gespecificeerd is**

Het bestek kan ingericht zijn als prestatiebestek of als beschrijvend bestek.

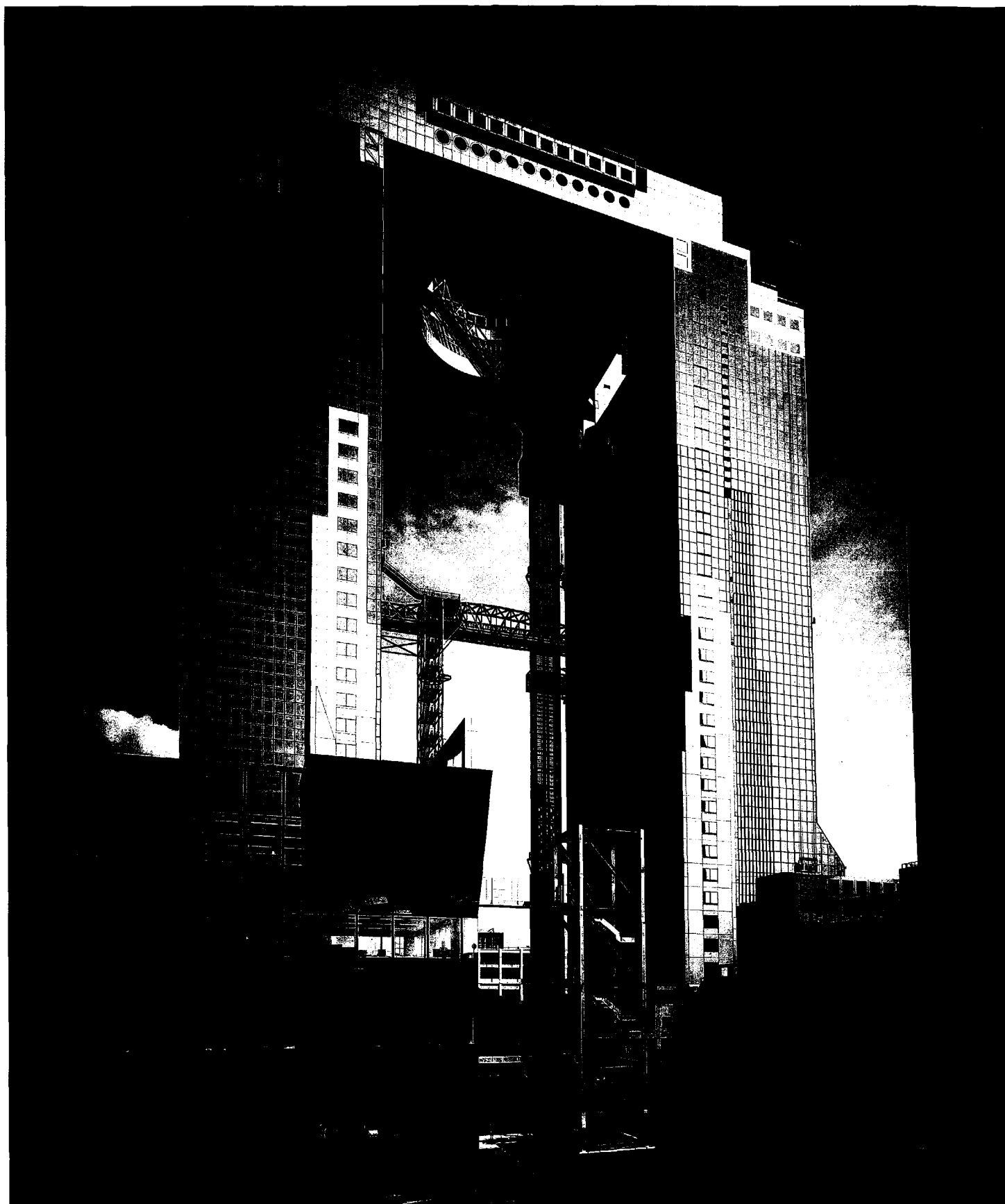
- Bij het prestatiebestek wordt de vraag in de vorm van prestatie-eisen gespecificeerd. Prestatie-eisen zijn objectief meetbare en controleerbare eisen die geen oplossingen inhouden. Ten aanzien van de esthetische eisen kan de architect in een toelichting bij het ruimtelijke ontwerp zijn bedoelingen aangeven.

Bij deze bestekvorm wordt innovatie gestimuleerd en kan de aanbieder het aanbod afstemmen op zijn deskundigheid en mogelijkheden.

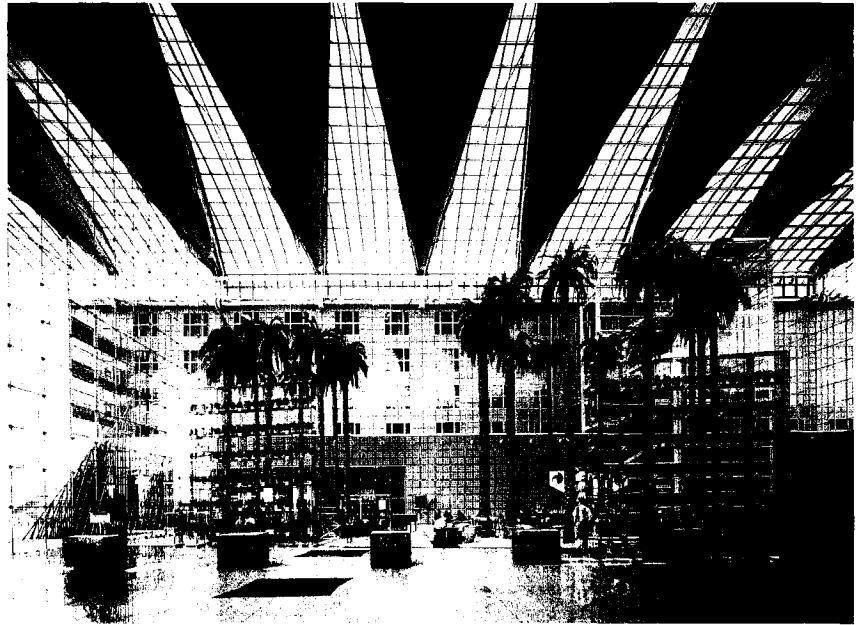
- Bij het beschrijvend bestek worden de prestaties grotendeels in oplossingen vastgelegd. Er bestaat de mogelijkheid tot het aanbieden van gelijkwaardige alternatieven. Dit is de traditionele vorm van bestek.

Bij bouwprojecten, waarvan de bestekken in bouwteamverband ontwikkeld worden, kan de gevelbouwer vanaf fase 6 als één van de (gevel)bouwteamleden optreden. De gevelbouwer wordt dan in het realisatieproces (fase 8 of 9) als (neven)aannemer of als genomineerde onderaannemer van de bouwkundig aannemer gecontracteerd.

Bij een bestek in de vorm van een vraagspecificatie (prestatiebestek), waarbij aan geselecteerde gevelbouwbedrijven gevraagd wordt een offerte in de vorm van een aanbodsificatie uit te brengen, vindt deze actie plaats in fase 7. De geselecteerde gevelbouwer werkt dan mee aan het afronden van het definitieve



8.3 *Engineering-intensieve gevelconstructies*  
project: Umeda Sky Building, Osaka (J)  
architect: Osaka Architect / Hiroshi Hara + Atelir & Takenaka Corporation



Luchthaven München.  
Murphy/Jahn, Chicago

ontwerp en aan het vaststellen van het contractbestek en speelt een rol bij de prijsvorming.

Bij eenvoudige gebouwconcepten is de gevel in het bestek meestal gespecificeerd in een standaard handelssysteem. In fase 8 begroten de geselecteerde bouwkundige aannemers de inschrijfsom van de bouwkundige werkzaamheden. De gevel als bouwdeel is daar bijna altijd onderdeel van. De bouwkundige aannemers vragen in verband met de prijsbepaling van het gevelwerk in fase 8 de gevelbouwers een offerte uit te brengen. Door middel van een inkoopprocedure selecteert de bouwkundig aannemer de uitvoerende gevelbouwer. Met een 'inkoopprocedure' wordt bedoeld het proces van offerteaanvraag, -beoordeling en het commercieel uitspelen van de concurrerende aanbieders, om te komen tot een optimaal prijs-prestatieaanbod passend in het bouwbudget van de bouwkundig aannemer. Merk op dat de gevel veelal de grootste inkooppost van de bouwkundig aannemer is (10-25% en soms meer van de bouwkundige aanneemsom).

**De grootte van het bouwwerk** Indien de gevel van een bouwwerk omvangrijk is (aanneemsom vanaf 5 miljoen gulden), is specifieke deskundigheid van de gevelbouwer in een eerder stadium vereist in verband met bijvoorbeeld de logistieke aspecten en de standaardisatie van de detailprincipes.

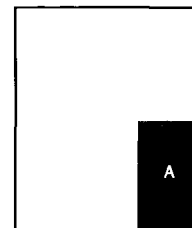
**De bouwtijd en bouwplaatsomstandigheden** Naarmate de bouwtijd korter is en de bouwplaatsomstandigheden gecompliceerder, zal de gevelbouwer in een vroeger stadium (fase 6 of 7) ingeschakeld worden. Bij relatief korte bouw tijden zal tijdig overleg met de uitvoerende bouwpartners nodig zijn. Verregaande

industrialisatie van bouwcomponenten en daarop afgestemde bouwplaatsmiddelen zijn aspecten die in een vroeg stadium (fase 6 of 7) aandacht vragen. De gespecialiseerde bouwpartners worden hierbij betrokken.

Ook indien de bouwplaatsomstandigheden gecompliceerd zijn is tijdige afstemming van werkzaamheden met de uitvoerende partijen noodzakelijk. Dit betekent dat de bouwpartners in een vroeger stadium (fase 6 of 7) bekend dienen te zijn.

## HET GEVELBOUWPROCES

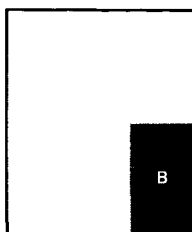
**Algemeen** Het gevelbouwproces kan net als het bouwproces in fasen ingedeeld worden. Voor de fasen van het integrale bouwproces worden de nummers 1 t/m 11 aangehouden, voor de fasen van het gevelbouwproces worden de letters A t/m J gebruikt.



Fase A: **structuurontwerp**

In deze fase wordt het concept van de gevel vastgelegd. Hierdoor ontstaat een overzicht van de inpassing van de gevel in het bouwconcept, van de functionele en structurele opbouw, de vorm en de stramienmaat van de gevel en van de beeldbepalende materialen. De gevelbouwkosten worden geraamd op basis van componentgroepen.

Fase B: **voorlopig ontwerp**



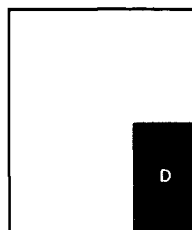
In deze fase worden vastgelegd: de architectuur van de gevel, de beeldbepalende materialen, de transparantie, de methode van zonbeheersing en zonbenutting, en de constructieve opzet met principedetails. Verder wordt in deze fase het gevelconcept afgestemd op het bouwlichaam en op het W-installatieconcept. Tenslotte worden de gevelbouwkosten geraamd per componenttype.

Fase C: **definitief ontwerp**



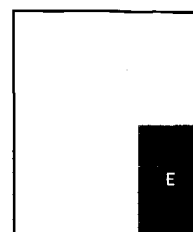
In deze fase worden aspecten van de gevelarchitectuur vastgelegd: vorm, indeling, afmeting, detaillering, kleur, textuur, afwerking. Verder worden vastgelegd: de ventilatievoorzieningen, de onderhoudsvoorzieningen, de bouwfysische aspecten en de veiligheids- en comfortbepalingen. Tenslotte worden de gevelbouwkosten en de doorlooptijden precies geraamd.

Fase D: **gevelbestek**



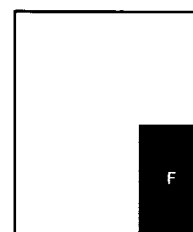
In deze fase worden de prestatie-eisen aangaande architectonische, bouwtechnische, bouwfysische en functionele aspecten gespecificeerd. Verder worden vastgelegd: het materiaalgebruik, de leveringsomvang, de administratieve voorwaarden, de doorlooptijden, de montagevoorwaarden en de bouwplaatsmiddelen. Dit gebeurt zodanig dat prijsvorming van de gevel op basis van de raming van de benodigde produktiemiddelen mogelijk is. Een gedetailleerde kostenraming per geveltype wordt opgesteld.

Fase E: **prijsvorming**



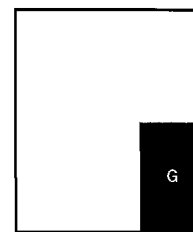
In deze fase komt men tot bindende afspraken over leveringsomvang, technische en esthetische uitvoering, gevelbouwlogistiek, materiaalgebruik, levertijden, montage-tijden, opleverdatum, prijs, betalingscondities, te stellen zekerheden, uitvoeringsvoorwaarden, opleveringsprocedure, garantiecondities en administratieve bepalingen. De afspraken worden vastgelegd in een uitvoeringscontract.

Fase F: **werkvoorbereiding**



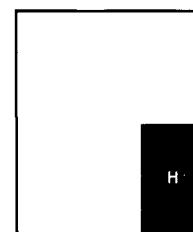
Dit is de fase van het uitwerken van de overzichts- en indelingstekeningen en productie- en uitvoeringstekeningen. Verder worden tijd, geld, materialen, materieel en arbeid gepland. Materialen en toeleveranties worden besteld.

Fase G: **de uitvoering: fabricage**



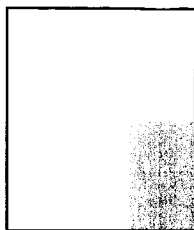
Dit is de fase van het prefabriceren van gevelelementen, -subcomponenten en -componenten, het verzendgereed verpakken in partijen, het transport naar de bouwplaats.

Fase H: **de uitvoering: montage**



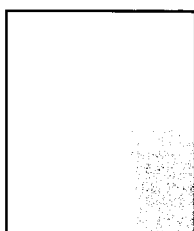
In deze fase worden de gevelcomponenten gemon-teerd. De componenten worden verankerd aan de hoofd-draagstructuur. De componenten worden water- en winddicht afgewerkt en de gevelaansluitingen worden afgewerkt.

#### Fase I: oplevering



Dit is de fase van de formele overdracht van (delen van) de gemonteerde en afgewerkte gevels aan de contractpartner. De ingangsdatum(data) van de garantietermijn(en) worden vastgelegd.

#### Fase J: garantie

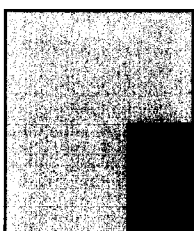


Gedurende de garantieperiode worden garantiewerkzaamheden en servicewerkzaamheden uitgevoerd. Verder is er sprake van eventuele onderhoudswerkzaamheden, van reinigingsonderhoud en van inspectie daarvan.

### HET VERBAND TUSSEN HET INTEGRALE BOUWPROCES EN HET GEVELBOUWPROCES

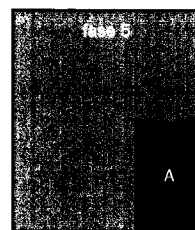
**Het ontwerp** De principaal geeft door de lokatiekeuze, het type bouwwerk en de keuze van de architect in beginsel al richting aan de signatuur van de architectuur. De architect heeft in fase 4 al een idee van de beeldvorming van de gevel als onderdeel van de gebouwarhitectuur.

#### Structuurontwerp



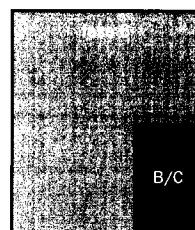
In deze fase geeft de architect in zijn hoofdontwerp in grote lijnen de plaats en vorm van de gevels aan. De hoofdstructuur van de gevel is herkenbaar.

#### Voorlopig ontwerp



De in fase 4 aangegeven hoofdlijnen van de gevel worden verder uitgewerkt. De inpassing van de gevel in het gebouwconcept wordt vastgesteld. De functionele en structurele opbouw, de vorm en de stramienmaat van de gevel zijn vastgelegd, evenals de beeldbepalende materialen. De kosten van het bouwdeel gevel worden op basis van componentgroepen geraamd.

#### Het definitieve ontwerp



De architectonische beeldvorming van de gevel wordt vastgelegd, de constructieve opzet wordt aangegeven, de aansluiting op het bouwlichaam geïndiceerd. De belangrijkste beeldbepalende materialen worden gekozen. De voorzieningen voor zonbeheersing en zonbenutting worden vastgelegd, het gevelconcept wordt afgestemd op het concept van de W-installatie. De kosten voor het bouwdeel gevel worden op basis van de gevelcomponenten begroot.

De uitgangspunten worden nader gedefinieerd voor het opstellen van het gevelbestek. Hiervoor worden de architectonische eisen ten aanzien van vorm, indeling, afmeting, detaillering, materiaalgebruik, kleur, textuur en afwerking bepaald. Technische en functionele prestaties en bouwtechnische voorwaarden worden uitgewerkt. De opbouw, constructie en technische uitvoering van de gevel worden gedefinieerd, alsmede de regelgeving en de administratieve voorwaarden. Er wordt een gedetailleerde raming gegeven van de kosten van de gevels. Lever- en doorlooptijden worden vastgesteld.

In deze fase is het voor de grote en/of bijzondere gevelprojecten nodig dat vaktechnische inbreng geleverd wordt.

Hiervoor kunnen ingeschakeld worden:

- gespecialiseerde afdelingen van het architectenbureau;
- gespecialiseerde adviesbureaus;
- de engineering-afdeling van handelssysteemhuizen;
- de engineering-afdeling van gevelbouwbedrijven.

Ook kan het wenselijk zijn gespecialiseerde (toe)leveranciers van materialen en gevel(sub)componenten in te schakelen.



*Hotel du Departement du Bas-Rhin-Strasbourg.  
architect: Claude Vasconi*

Met de gevelbouwer, die op grond van zijn aanbodspecificatie geselecteerd is als nevenaannemer of als genomineerde onderaannemer van de bouwkundig aannemer, kan in (gevel)bouwteamverband verder gewerkt worden. Dit houdt in dat het geselecteerde gevelbouwbedrijf de taak heeft in overleg de aanbodspecificatie uit te werken voor opname in het bestek.

Indien de gevelbouwer als nevenaannemer werkt, dan wordt er tussen principaal en gevelbouwer een contract gesloten, waarin onder andere worden vastgelegd: de leveringsomvang, de technische en esthetische uitvoering, de gevelbouwlogistiek, het materiaalgebruik, de lever- en montagetijden, de opleverdatum, de prijs, de betalingscondities, de te stellen zekerheden, de uitvoeringsvoorwaarden, de opleveringsprocedure, de garantiecondities en de administratieve bepalingen.

#### Het bestek

De gevel wordt in een besteksdeel met bijgevoegde tekeningen gespecificeerd. In het bestek zijn de leveringsomvang, de prestatie-eisen aangaande architectonische, bouwtechnische en functionele aspecten, het materiaalgebruik, de kwaliteit en de administratieve voorwaarden zodanig opgenomen, dat definitieve prijsvorming mogelijk is. Het budget, de levertijden, de

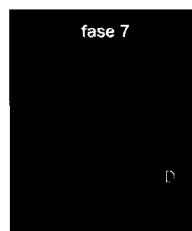
montagetijden en de opleverdatum van de gevel worden vastgesteld.

Indien standaardoplossingen voor de uitvoering van de gevel beschreven zijn, dan kan het besteksdeel voor de gevel, inclusief de tekeningen waarop de principe-uitvoeringen staan aangegeven, eventueel na overleg met systeemleveranciers, uitgewerkt worden. Ook wordt wel aan een systeemleverancier gevraagd (een deel van) het besteksdeel voor de gevel te produceren. Bij nieuwe of bijzondere geveluitvoeringen is voor het vastleggen van het (prestatie-)bestek vaktechnische inbreng nodig.

In bouwteamverband kan aan de gevelspecialist (het toekomstige uitvoerende bedrijf) gevraagd worden het besteksdeel te schrijven. Dit produkt kan vervolgens getoetst worden aan de aanbod-specificatie die als uitgangspunt gekozen is.

#### Prijsvorming

Indien de gevelbouwer al in een voorgaande fase geselecteerd is, dan ligt de aanneemsom van de gevel vast. Anders wordt in fase 8 de uitvoering en de prijs van de gevel definitief vastgelegd. In deze fase is bij nevenaanneming van de gevel de principaal of diens vertegenwoordiger en bij onderaanneming de bouwkundig aannemer belast met de prijsvorming van de





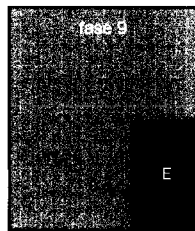


Atriumglaskapbeglazing.  
 project: Stadhuis te Den Haag  
 architect: Richard Meier

gevel. Voor de gevelaannemer is de prijsopgave in deze fase bindend. Voor de gevelonderaannemer is in de fase 8 de offerte indicatief, omdat de besteding van de gevel nu nog niet geschiedt.

De offerte van de gevelbouwer is in geval van onderaanneming onderdeel van de prijsvorming voor de begroting van de bouwkundig aannemer. Alleen indien er co-makership-afspraken gemaakt zijn, is de prijsstelling van de gevelbouwer in deze fase al bindend.

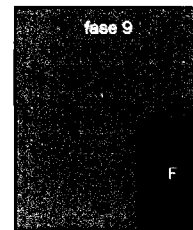
**Werkvoorbereiding:**  
**bouwkundig aannemer**  
**Prijsvorming:**  
**gevelbouwer**



Indien de gevel een inkooppost van de bouwkundig aannemer is, dan worden in dit stadium gevelbouwbedrijven betrokken bij de inkoopprocedure van de gevelwerken.

De aanvraagspecificatie en het aanbodvoorstel worden in detail gewaardeerd en getoetst aan de eisen waartoe de bouwkundig aannemer zich verplicht heeft. Tussen de bouwkundig aannemer en de gekozen gevelbouwer wordt een contract opgesteld waarin worden vastgelegd: de leveringsomvang, de technische en esthetische uitvoering, de gevelbouwlogistiek, het materiaalgebruik, de lever- en montagetijden, de opleverdatum, de prijs, de betalingscondities, de te stellen zekerheden, de uitvoeringsvoorwaarden, de opleveringsprocedure, de garantiecondities en de administratieve bepalingen.

**Werkvoorbereiding:**  
**bouwkundig aannemer**  
**Werkvoorbereiding:**  
**gevel(onder)aannemer**

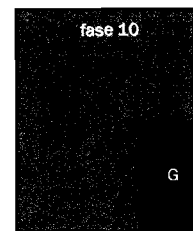


Van de gevel worden productie- en uitvoeringstekeningen vervaardigd. Materialen en toeleveranties worden gespecificeerd en besteld.

In deze fase wordt de aanvoerprocedure van de te monteren geveldelen, de montage-logistiek en -methodiek, het beslag op de bouwplaatsvoorzieningen en de planning van de uitvoering in volgorde en tijd vastgesteld. Tevens worden nadere afspraken gemaakt over tekenwerk, inbouwtoeranties van bouwcomponenten, keurings-, afname- en opleveringsprocedures en tijdstippen.

Ten behoeve van de betalingstermijnen, die meestal gekoppeld worden aan meetbare prestaties zoals goedkeuring testgevel en voortgang van de montage van produkt in het bouwwerk, worden termijnschema's opgesteld.

**Uitvoering bouwwerk:**  
**bouwkundig aannemer**  
**Fabricage:**  
**gevelbouwbedrijf**



De gevelementen, -subcomponenten en -componenten



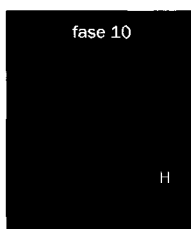
Kantoorgebouw Wibautstraat Amsterdam.  
architect: Hoogeveen B.V.



Stalen hoofdconstructie: montage van glasmafacede-componenten.

worden seriematig geproduceerd. De verzendprocedure en de bundeling/verpakking van de gevelcomponenten worden afgestemd op het montageplan en de voortgang van de werkzaamheden op de bouwplaats.

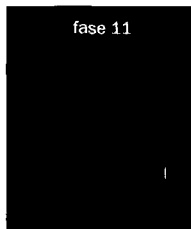
**Uitvoering van het bouwwerk:**  
***bouwkundig aannemer***  
**Montage op de bouwplaats:**  
***gevelbouwbedrijf***



In deze fase worden de gevelcomponenten in het werk gemonteerd, aan de hoofdconstructie verankerd, samengebouwd en wind- en waterdicht afgewerkt. De aansluiting aan het bouwkundige werk wordt afgewerkt.

#### **De oplevering**

De oplevering van de gevel wordt volgens de contractbepalingen per bouwdeel of in zijn geheel uitgevoerd. Hierbij wordt de gevel geheel of gedeeltelijk formeel overgedragen aan de opdrachtgever. Meestal is in het contract geregeld dat de oplevering tevens dient te geschieden ten genoegen van de bouwdirectie.



#### **Garantietermijn**

Vanaf de (gedeeltelijke) oplevering van de gevel gaat de garantietermijn in. Van een aantal gevelonderdelen kan vastgelegd zijn, dat de garantietermijn eerder ingaat, of dat de garantie aan andere termijnen gebonden is of niet van toepassing is. Isolerende beglazing heeft bijvoorbeeld in het algemeen een garantietermijn van 10 jaar vanaf de fabricagedatum van de glaseenheid (de fabricagedatum staat vermeld op de aluminium afstandhouder in de glaseenheid); de garantie gaat dus niet in bij oplevering van de gevel.

De onderhoudstermijn is voor de gevel meestal niet van toepassing. Opleveringspunten, die na oplevering verholpen mogen worden, dienen spoedig daarna uitgevoerd te worden.

Indien de gevelbouwer opdracht heeft tot het uitvoeren van reinigingsonderhoud of inspecties daarvan, dan is de leverancier na de oplevering van het gevelwerk nog periodiek werkzaam aan de gevel.

De ingang van het reinigingsonderhoud van de gevel valt niet samen met de oplevering van de gevel. De gemonteerde gevelcomponenten dienen al tijdens de bouwfase door de bouwkundig aannemer of door de gevelbouwer periodiek gereinigd te worden. Vanaf oplevering is het reinigingsonderhoud van de gevel een verantwoordelijkheid van de gebouweigenaar. Zie ook hoofdstuk 4.



Fotovoltaïsche toepassing: de energiefaçade.  
 project: Umweltzentrum, Cottbus (D)  
 architect: Büro Wanta & Sommer, Cottbus

## DE HOOFDTAKEN VAN DE GEVELBOUWER

**Algemeen** De gevelbouw is in de volgende gebieden onder te verdelen:

- het ontwerp;
- de constructie;
- de prijsvorming;
- de fabricage;
- de bouwplaatsmontage;
- nazorg.

Het werk van de gevelbouwer kunnen we dan ook in een aantal hoofdtaken onderverdelen.

### De gevelbouwer als constructeur-adviseur

Aluminium als constructiemateriaal voor vliesgevels en ramen is een relatief recente ontwikkeling (vanaf medio jaren vijftig). De kennis van aluminiumtoepassingen in de constructiebouw en de gevelbouw is niet wijd verbreid. Opleidingen voor het gebruik van metalen als constructiemateriaal zijn nog steeds hoofdzakelijk afgestemd op het gebruik van staal.

Voor de aluminium-gevelbouw is gespecialiseerde kennis hard nodig: de gevel moet niet alleen zo worden uitgevoerd dat hij past bij de gevraagde vorm en functie; ook is het noodzakelijk inzicht te hebben in de regelgeving, de prijs-kwaliteitsverhouding en fabricage- en bouwplaatsmontage-aspecten.

De geveluitwerking in de definitieve ontwerp- (6) en besteksfase (7) kan geschieden door:

- architectenbureaus die op dit gebied gespecialiseerde kennis hebben verworven;
- geveltechnische adviesbureaus;
- systeemhuizen;

- gevelbouwers.

De laatste groep, de gevelbouwers, kunnen tevens contractpartij worden. De genomineerde gevelbouwer werkt vanaf opname in het (gevel)bouwteam als constructeur-adviseur met budgetverantwoordelijkheid. De gevelbouwer hoeft zich niet te beperken tot de technische en esthetische uitvoering van de gevel, hij kan ook advies uitbrengen over het gebouwskelet waarop de gevel moet aansluiten, de bouwplaatsinrichting, de bouwplaatslogistiek en de montagemethode. Tevens kan overleg plaatsvinden met de contractpartij van de klimaatinstallatie.

Indien er innovatieve constructies uitgevoerd dienen te worden – vernieuwend qua functie, detaillering, materiaalgebruik, afmetingen of in constructieve opbouw – is het gespecialiseerde gevelbouwbedrijf met een eigen ontwikkelingsafdeling de meest geschikte partner. Bij standaard systeemtoepassingen, eventueel met systeemgebonden variaties, zijn de systeemhuizen en de handelssysteemverwerkers geschikte partijen voor de constructieve uitwerking van de opgave.

In de realisatiefase is de engineering-afdeling van het gevelbouwbedrijf verantwoordelijk voor de uitwerking van de gevelconstructie en de uitvoeringstekeningen. De gegevens van de engineering-afdeling worden gebruikt door de architect, de adviseurs en de bouwkundig aannemer.

**De gevelbouwer als begroter** Budgetteren is een belangrijk onderdeel van een bouwinitiatief. Budgettaire uitgangspunten zijn bepalend voor de haalbaarheid van een bouwinitiatief. Dit betekent, dat in de opvolgende stappen van het bouwproces de kostenramingen steeds gedetailleerder opgesteld dienen te wor-



8.9 Kraan en hefsteiger voor verticaal transport en montage.  
 project: Avéro kantoor te Leeuwarden  
 architectenburo Bonnema te Hardegarijp

zijnde besteksdelen;

- prijs (vaste prijs of peildatumprijs met verrekenstelsysteem);
- kwaliteit;
- levertijden;
- betalingscondities;
- beoordeling (testen, afnames, bevoegde partijen);
- opleveringsprocedure;
- garantiecondities;
- administratieve en algemene voorwaarden;
- juridische voorwaarden.

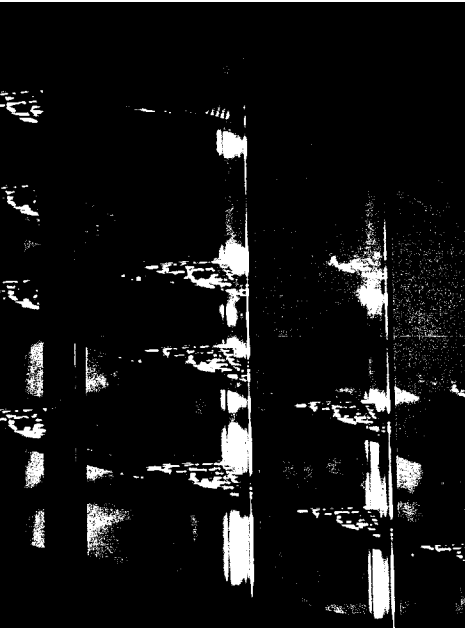
Dit is ook van toepassing indien de gevelbouwer als nevenaannemer de opdracht ontvangt. In dat geval is meestal de principaal de contractpartner voor de gevelbouwer. De behartiging van de belangen van de opdrachtgever en het toezicht worden door de principaal meestal overgedragen aan adviseurs. In het geval de gevelbouwer nevenaannemer is, dient hij ook aan het coördinatie-overleg met de overige aannemers en

de bouwdirectie deel te nemen. Vaak wordt daarvoor een coördinatie-overeenkomst getekend, waarin de spelregels van de samenwerking en het overleg opgenomen zijn.

De procedure van de oplevering van de gevel is afhankelijk van de contractbepalingen. Door de contractpartner van de gevelbouwer wordt meestal gesteld: oplevering ten genoegen van de bouwdirectie. Daardoor is buiten de contractpartij het oordeel van de bouwdirectie, meestal principaal met adviseurs en architect, ook bepalend voor de oplevering. De oplevering van de gevel valt meestal samen met de bouwkundige oplevering. Indien na het monteren en afwerken van de gevel de verdere bouwkundige afwerking en inrichting van het bouwwerk nog veel extra tijd beslaat, dan kan een oplevering van de gevel voorafgaan aan de bouwkundige oplevering. Ook indien bouwdelen eerder in gebruik genomen worden, zal de oplevering van de desbetreffende gevel eerder geregeld worden. Bijna altijd is de opdracht tot levering en montage van de gevels beëindigd op het moment van contractuele oplevering van de gevel. Dat moment is meestal ook de aanvang van de garantietermijn. Indien de gevelbouwer ook betrokken wordt bij de instandhoudingsactiviteiten van de gevel – meestal de inspectie of de uitvoering van het reinigingsonderhoud – dan wordt dit bijna altijd in een separate overeenkomst geregeld.

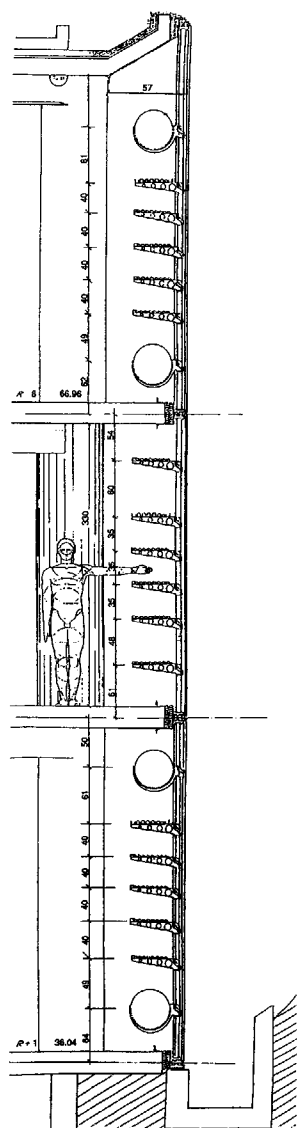
Van passieve naar reactieve façades





## Van passieve naar reactieve façades

9.3 4-zijdig verkittte alu-dubbelglasfaçade met vaste binnenzonwering, project: 'Hotel Industriel Berlier', Parijs (F) architect: Dominique Perrault



### ALGEMEEN

Vanaf de introductie van het klimaatraam ontwikkelde de vliesgevel zich via de klimaatgevel tot het huidige concept van de dubbele alu-glasfaçade. In dit hoofdstuk wordt deze ontwikkeling beschreven. Enkele belangrijke principes worden weergegeven in een pictogram.

Er is een breed scala van innoverende gevelconcepten in uitvoering en ontwikkeling. (fig. 9.2 en 9.5) Een groeiend milieubesef is de drijvende kracht achter belangstelling voor bouwfysische aspecten als zon- en daglichtregulering, natuurlijke ventilatie, efficiënte energiehuishouding en duurzaam materiaalgebruik. Tegenwoordige architectonische concepten gaan uit van de gevel als 'interface', als raakvlak tussen de buitenwereld en het binnengebied. De gevel krijgt daarvoor een belangrijke communicatieve en informatieve functie. (fig. 9.3 en 9.4)

Bijzondere functies van de façade kunnen door een toegevoegde term gespecificeerd worden. Mediafaçades hebben een belangrijke communicatieve functie; intelligente façades zijn façades met sensorische en actief sturende functies. Intervalfaçades bevatten een luchtspouw tussen de binnenste en de buitenste gevel. Verdichte façades zijn gecomprimeerde gevels: alle gevelfuncties zijn gecomprimeerd tot in één dunne, transparante laag.

9.4 Geveldoorsnede 4-zijdig verkittte alu-dubbelglasfaçade met vaste binnenzonwering, 'Hotel Industriel Berlier', Parijs (F). architect: Dominique Perrault

### NIEUWE GEVELCONCEPTEN

In de jaren tachtig groeide het besef dat het niet goed was om mensen totaal van het buitenmilieu te isoleren en te laten werken in door klimaatinstallaties gecontroleerde omgevingen. Het Sick Building Syndrome (SBS) werd onderkend.

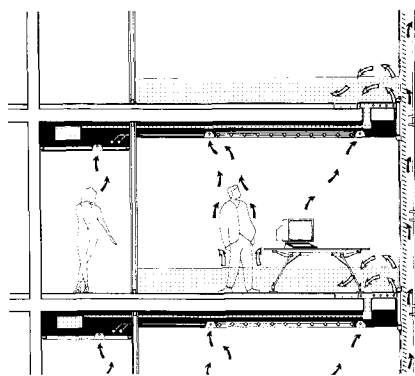
Samengevat is SBS een verzamelnaam voor psychosomatische klachten die in hoge mate veroorzaakt worden door 'ziek makende gebouwen'. Dit uit zich in vage klachten als hoofdpijn, irritatie van de luchtwegen en een algemeen gevoel van onbehagen. In deze gebouwen kan er door de gebruiker geen of onvoldoende invloed worden uitgeoefend op het binnenmilieu. Ramen kunnen niet open, de temperatuur is constant, er is nauwelijks geur of buitengeluid, de lucht is soms verontreinigd door vuile filters en vuilafzetting in ventilatiekanalen en de omgeving is somber door kleurgebruik of door uniformiteit van het ruimtegebruik.

Nu ligt het voor de hand deze klachten te onderkennen door gebouwen te ontwerpen met vrij indeelbare werkplekken en een 'natuurlijker' ventilatieconcept, met te openen ramen en door de gebruiker zelf bedienbare verwarming en zonwering. Frappant hierbij is dat uit recente Amerikaanse studies is gebleken dat mensen in een door hunzelf te beïnvloeden omgeving incidenteel ongunstiger condities accepteren dan in een volledig geklimatiseerde omgeving. [9.1]

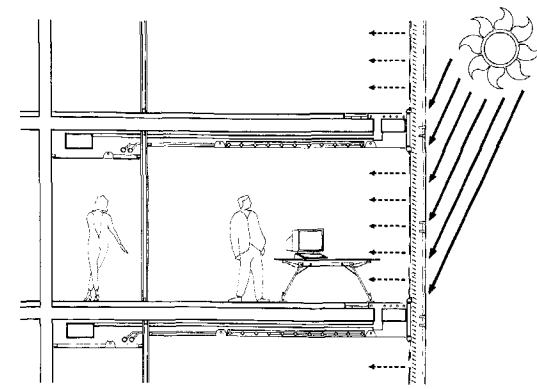
Het groeiend milieubesef is een tweede motor achter de veranderende gevelconcepten. Door de oliecrisis van 1973 was energie opeens een schaars goed geworden. In de jaren na de oliecrisis is er veel aandacht besteed aan energie-extensivering in het gevelconcept. De gevelisolatie werd sterk verbeterd, dub-



9.2 project: 'Tour Lilleurope', Lille (F)  
architect: Claude Vasconi



9.6 Dubbele glasfaçade, Micro Elektronica Park, Duisburg.  
architect: Sir Norman Foster and Partners



belglas werd gemeengoed en er werden zuiniger klimaatinstallaties ontworpen. (fig. 9.6)

Op milieugebied werd er behalve met energie-extensivering ook winst geboekt met levensketenbeheer en duurzame ontwikkeling. Onder levensketenbeheer verstaan we de idee dat een gevel in zijn hele levensloop 'beheerd' wordt. Het begint al bij een verstandige keuze van grondstoffen; gaat verder met de afstemming van levensduren in de ontwerp- en productiefase en het planmatig onderhoud in de gebruiksfase; en het eindigt met het scheiden van sloopmaterialen en het hergebruik van grondstoffen en elementen. De term 'levensketenbeheer' is in zijn idee nauw verwant met de term 'ecologie'. Duurzame ontwikkeling betekent voor gevelconcepten dat er zoveel mogelijk van positieve milieufactoren gebruik gemaakt dient te worden. Belangrijk is het erkennen dat zonnestraling een omvangrijk, onuitputtelijk en milieuvriendelijk energiepotentieel is. [9.2] (fig. 9.7 en 9.8)

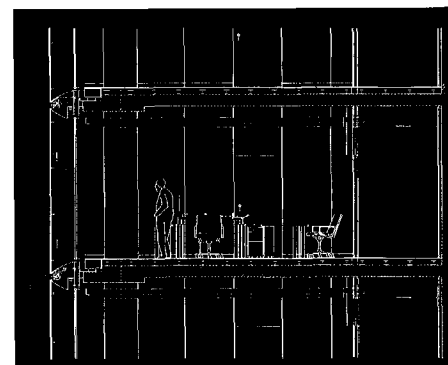
Qua energiebeheer denken we aan zodanige geveloriëntering en gevelopbouw dat er energiewinst is van zoniinstraling. Het toevoegen van massa in wanden en vloeren heeft als voordeel dat 's winters warmte geaccumuleerd wordt en dat 's zomers de opwarmtijd en de koelperiode verlengd worden. Qua lichtbeheersing denken we aan zonregulerende voorzieningen die de zonnestraling niet weren maar reguleren om zo het zon- en daglicht te kunnen benutten om het gebruik van de kunstmatige verlichting te reduceren. (fig. 9.9 en 9.10) Een andere mogelijkheid is om zonne-energie te benutten. Toekomst hebben fotovoltaïsche cellen, deze leveren (in het gebruik) gratis elektrische energie. (fig. 9.11) Rendementen zijn nog laag en aanschafprijzen hoog, maar het begin is er (zie hoofdstuk

6) en de ontwikkelingen zullen snel gaan. Denk hierbij aan de snelle prijsdaling van aanvankelijk kostbare digitale horloges en zakrekenmachines. Een gevolg van de 'gevel-en-klimaatbenadering' van de gebouwschil is dat door daglichtbenutting, zonne-energieregulering, natuurlijke ventilatie en nachtkoeling de klimaat- en luchtbehandelingsinstallaties minder ingezet hoeven te worden. De klimaatinstallatie dient nu voor bijsturing en is niet meer de hoofdbron voor de regulering van het binnenklimaat.

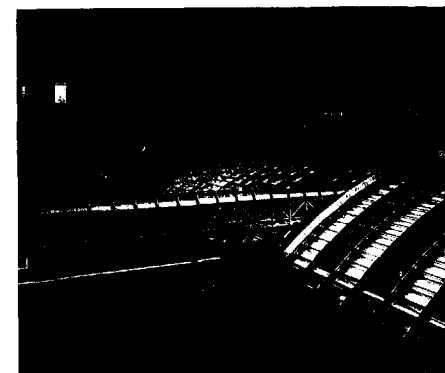
**Intervalfaçades** Intervalfaçades worden gecategoriseerd naar opbouw. In deze opbouw is de plaats van de isolerende dubbelglasschil en de grootte van de spouw van belang. Intervalfaçades worden onderverdeeld in klimaatfaçades, tweedehuidfaçades en verdichte façades.

Klimaatfaçades worden besproken in hoofdstuk 3. Kenmerkend voor een klimaatfaçade zijn de dubbelglasschil aan de buitenzijde, de enkelglasschil aan de binnenzijde en de mechanische afzuiging van de spouw tussen binnen- en buitenglaspaneel. (fig. 9.12) Van klimaatfaçades naar tweedehuidfaçades is een kleine stap. In feite is het de verwisseling van de plaats van de dubbelglasschijf en de enkelglasschijf en het weglaten van gemechaniseerde spouwafzuiging.

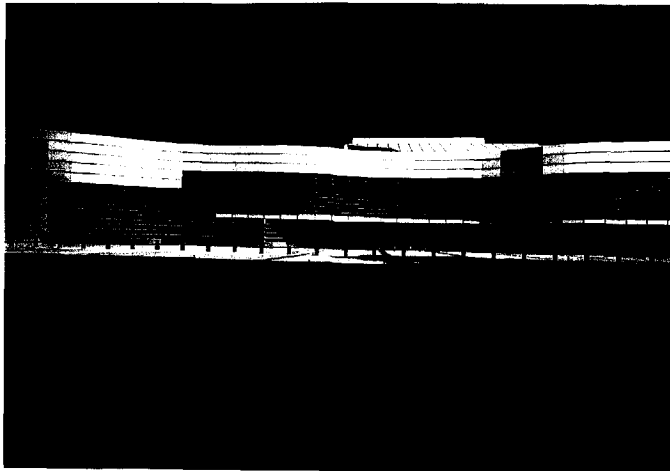
Bij de tweede huidfaçade bevindt de dubbelglasschijf zich aan de binnenzijde van de façade. De tweedehuidfaçade is in feite een glazen vlies voor een isolerende gevel met dubbelglas doorzichtigdelen. Tweedehuidfaçades kunnen we categoriseren naar grootte van de spouw. Dubbele façades met een spouw tot  $\pm 200$  mm noemen we tweedehuidfaçades met een kleine spouw. (fig. 9.13) Een tweedehuidfaçade



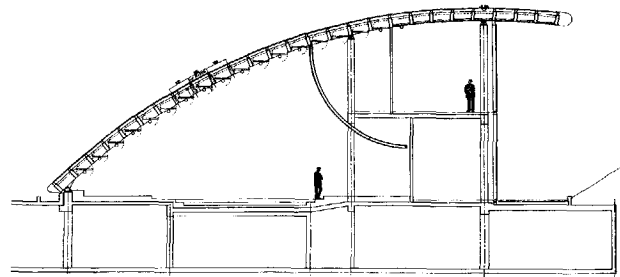
9.5 Geveldoorsnede tweedehuidfaçade  
project: Dienstleistungszentrum Stern,  
Essen (D)  
architect: Ingenhoven, Overdiek und  
Partner



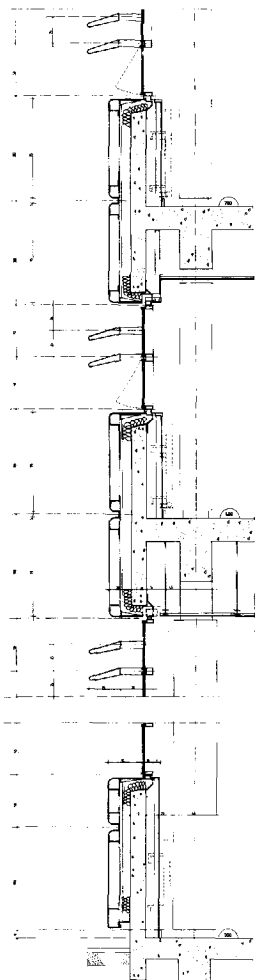
9.7 Gebogen alu-glasfaçade met beweegbare  
zonreguleringsschoepen  
project: 'Hotel Departemental Bar-le-Duc' (F)  
architect: Dominique Perrault



9.9 Koudespouwfaçade met vaste zonweringsstrook, 'Centre Culturel de Mulhouse'(F). architect: Claude Vasconi



9.8 Geveldoorsnede gebogen alu-glasfaçade met beweegbare zonreguleringschoepen, 'Hotel Departemental Bar-le-Duc'(F). architect: Dominique Perrault



9.10 Geveldoorsnede koudespouwfaçade met vaste zonweringsstrook aan de buitenzijde. project: 'Centre Culturel de Mulhouse' (F) architect: Claude Vasconi

de met een beloopbare spouw tot  $\pm 1$  meter noemen we een tweedehuidfaçade met een grote spouw. (fig. 9.14) De toepassing van tweedehuidfaçades is sinds medio jaren negentig een nieuw concept in Noordwest-Europa. Dit concept wordt aangestuurd door de behoefte aan meer openheid voor binnenruimten, een meer natuurlijke doorzichtfunctie, een bewuste ecologische waardering van milieulast en energiegebruik, benutting van duurzame bronnen, realisering van meer comfort, gebruik van daglicht en natuurlijke ventilatie.

De klimaatgevel is een defensieve scheiding tussen buiten- en binnenmilieu: de invloeden van het buitenklimaat op het binnenklimaat worden geweerd. Dit houdt in het weren van door het buitenmilieu aangevoerde warmte, wind, vocht, geluid, etc. Alleen zon- en daglicht worden gereguleerd binnengelaten. Het energetisch functioneren van de klimaatgevel is passief; verwarming en koeling worden in hoofdzaak geleverd en gecontroleerd door een klimaatinstallatie. De gevelspouw wordt gekoppeld aan een klimaatinstallatie die de noodzakelijke ventilatie, verwarming en koeling regelt.

Klimaatfaçades reageren op het binnenklimaat; tweedehuidfaçades reageren op het buitenklimaat, ze willen er zoveel mogelijk energie uit halen. Tweedehuidfaçades bestaan uit een binnenconstructie van blank isolatieglas, een (forse) luchtspouw met daarin een zon- en lichtreguleringsvoorziening en een buitenconstructie van (blank) enkelglas. De luchtspouw vormt een klimatologische buffer tussen het buiten- en het binnenmilieu. In deze spouw bevindt zich de zon- en lichtregulerende voorziening, onbelast door weer en wind. Bij een smalle luchtspouw dienen er schoonmaakramen opgenomen te worden, zodat de

spouw van binnenuit gereinigd kan worden. De luchtspouw wordt geventileerd met buitenlucht.

Tweedehuidfaçades hebben drie belangrijke voordelen ten opzichte van de enkele glasgevel. De binnenconstructie, de eigenlijke gebouwschil, heeft weinig te verduren van de negatieve invloeden van het buitenklimaat; de toegevoegde glasschil vormt samen met de grote luchtspouw een klimatologische buffer. (fig. 9.15) Een ander groot voordeel is dat ramen zonder problemen tot op grote hoogte geopend kunnen worden en ook de zonwering onafhankelijk van weer en wind gebruikt kan worden. [9.3] Bij een zeer brede spouwruiimte, een atrium, kan men de ruimte bij gunstige weersomstandigheden benutten als gebruiksg gebied. Wanneer men de spouw breder dan 600 mm maakt en bovendien in de spouw op verdiepingshoogte roosters aanbrengt, kan de gevel vanuit de spouw door een glazenwasser gereinigd worden. Een derde voordeel is dat de tweedehuidfaçade een gunstige invloed heeft op de luchtgeluidsisolatie.

De voordelen van de tweedehuidfaçade ten opzichte van de klimaatfaçade zijn de geringere klimaatinstallatie, de tot op grote hoogte bruikbare zonwering en te openen ramen. (fig. 9.16)

**De verdichte façade** Het concept van de tweedehuidfaçade gaat in principe nog uit van een vergrote spouw als klimatologische buffer tussen buiten- en binnenklimaat. De tweedehuidfaçade houdt een verbreding in van het gevelpakket.

Anders is het concept van de verdichte façade. Deze façade gaat uit van een polyvalente verdichting van het gevelpakket tot één dunne, membraanachtige laag. Deze glasfaçade wordt ook wel de meerwaardige





9.11 Multifunctioneel zonreguleringsysteem met geïntegreerde fotovoltaïsche cellen.



9.15 Tweedehuid alu-glasfaçade, Deutscher Ring, Hamburg (D).  
architect: Dipl.-Ing., von Bassewitz, Patschau, Huppertz und Limbrock, Hamburg

of 'polyvalente wand' genoemd, maar als concept kunnen we beter spreken van verdichte of gelamineerde façade omdat haar belangrijkste kenmerk in wezen de samenballing is van alle regulerende mogelijkheden in één dunne laag. (fig. 9.17)

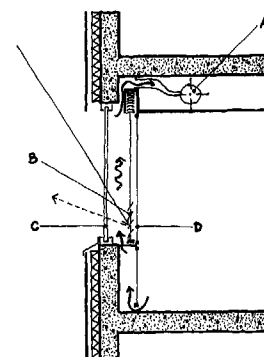
Het concept van de polyvalente gevel werd voor het eerst beschreven door Mike Davies. [9.4] Het was een uitkomst van een onderzoek dat hij in 1978 had uitgevoerd voor Pilkington Glass Ltd. Dit verklaart waarom hij in zijn concept uitgaat van de technische mogelijkheden van het moedermateriaal glas. Waarschijnlijk was dit geen slecht uitgangspunt, maar de mogelijkheden van kunststoffen, 'verbonden' materialen en composieten en van nog te ontwikkelen materialen mogen niet over het hoofd gezien worden.

De polyvalente gevel is dus een uit meerdere lagen samengesteld glaspakket met actieve tussenlagen, dat de energiestromen tussen buiten- en binnenklimaat actief controleert en reguleert. [9.5] 'De polyvalente gevel is een reducering van de gevel tot één meerlagige component die gebruik maakt van zelfregulerende controlemechanismen om warmte-isolatie en zonwering te bereiken en tegelijkertijd de voor dit systeem benodigde energie op kan wekken.' Davies' idee is gebaseerd op principes die al geformuleerd zijn op andere gebieden, zoals meekleurend fotochrom glas in de brillenindustrie of zonnepanelen uit de ruimtevaart. [9.5] (zie ook hoofdstuk 5; glas)

De gelamineerde wandcomponenten zijn opgebouwd uit een aantal samengevoegde flinterdunne lagen, die alle een verschillende opbouw hebben en een verschillende functie vervullen. De lagen zijn zo dun dat we kunnen spreken van 'membranen'. Deze samengevoegde membranen benaderen (in theorie)

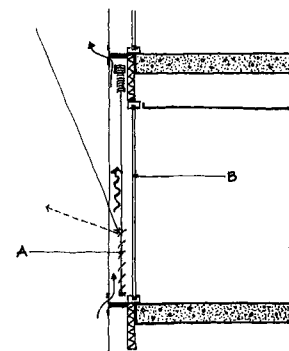
voor de eerste maal het concept van de gevel als huid. Het concept van de verdichte façade gevel werkt als volgt. De 'huid dunne' functieschijven worden als folies tussen twee glasplaten ingesloten. Op de beide glasbinnenzijden zijn sensoren opgebracht. De besturings-eenheid zorgt voor een automatische aanpassing aan de wisselende buitenklimaatomstandigheden en binnenklimaatbehoeften. Van buiten naar binnen is er een laag met fotovoltaïsche cellen voor stroomopwekking, een selectieve absorber, een elektrisch activeerbaar infraroodreflectiescherm, een microporeuze met gas doorstroomde isolatielaag en een naar binnen gericht elektrisch activeerbaar infraroodreflectiescherm. [9.4]

**De intelligente façade** De kunstmatig intelligente façade is een sturende gevel, die actief reageert op de wisselende kwaliteiten van het buitenklimaat. Hierbij wordt actief gebruik gemaakt van natuurlijke ventilatie en duurzame energiebronnen, zoals zonlicht, zonnewarmte en nachtkoeling. Deze façade is een belangrijk onderdeel van het totale energiebeheerssysteem van een gebouw. Dit intelligente gebouwbeheerssysteem is gebaseerd op de afstemming tussen de in het gebouw geproduceerde energie, de energievraag van de gebruiker en het beschikbare energiepotentieel van het buitenklimaat. Het intelligente van het gebouwbeheerssysteem schuilt in de terugkoppeling tussen informatie uit de gevel en de beheersinstrumenten. Dit systeem kunnen we met recht interactief noemen. Sensoren in zowel het gebouw als de gevel worden gekoppeld aan een meet- en regeleenheid die de actieve elementen in de gevel aanstuurt. De regeling houdt zowel rekening met de totale energiebalans van het hele gebouw als met de specifieke behoeften van de



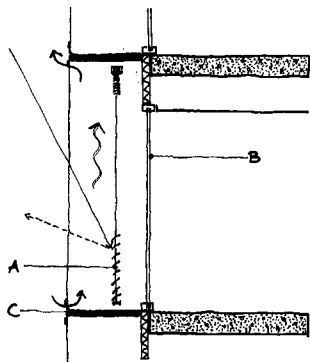
9.12 Klimaatgevel.

- A. luchtafzuiging naar gebouwinstallaties
- B. zonregulering in de luchtspouw
- C. gesloten dubbelglas buitenruit
- D. enkelglas binnenruit te openen voor reiniging



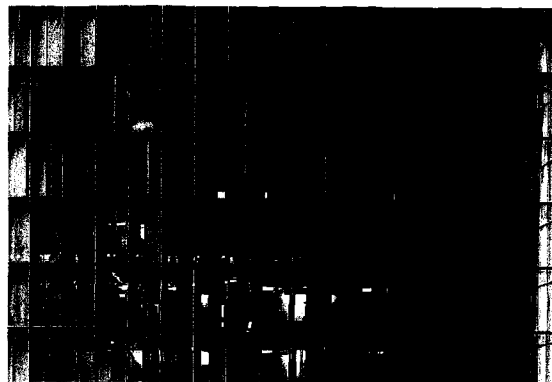
9.13 Tweedehuidfaçade met smalle spouw - 200 mm.

- A. zonregulering in de luchtspouw: eventueel met daglichtsturing
- B. dubbelglas binnenruit te openen voor reiniging en ventilatie



9.14 Tweedehuidfaçade met brede spouw - 600 mm

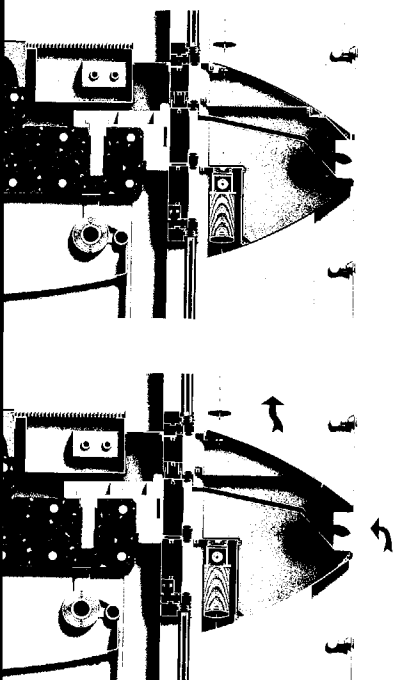
- A. zonregulering in de luchtspouw: eventueel met daglichtsturing
- B. dubbelglas binnenruit te openen voor reiniging en ventilatie
- C. loopvlak of -rooster voor reiniging glaspanelen



9.16 Tweedehuidfaçade met smalle spouw  
project: 'Bibliothèque Nationale Française', Parijs (F)  
architect: Dominique Perrault



9.19 Geveldetail tweedehuidfaçade met 500mm spouw  
project: Dienstleistungszentrum Stern, Essen (D)  
architect: Ingenhoven, Overdiek und Partner



9.20 Geveldoorsneden ventilatieconcept tweedehuidfaçade.  
project: Dienstleistungszentrum Stern, Essen (D)  
architect: Ingenhoven, Overdiek und Partner

individuele gebruikers. Individuele beïnvloeding per werkplek is daarbij mogelijk. [9.5] (fig. 9.18)

De zon is de belangrijkste duurzame natuurlijke energiebron. Het invallende zonlicht zorgt voor warmteopbrengst binnen het gebouw. Deze warmte kan indien nodig direct gebruikt worden doordat de binnenruimte erdoor opgewarmd wordt. De warmte kan eventueel vastgehouden worden in steenachtige wanden en vloeren: het principe van de Trombe-wand (zie hoofdstuk 6). In klimaat- en dubbele gevels met zonwering in de spouw kan een groot deel van de zonnwarmte in de spouw opgevangen en naar behoefte weggeventileerd worden. In seizoenen met warmtevraag wordt de afgezogen zonnwarmte langs een warmtewisselaar geleid om de instromende ventilatielucht voor te verwarmen.

Wanneer deze warmteopbrengst niet gewenst is, kan men de zon weren. Te allen tijde kan de op het gevelpakket vallende zonnestraaling d.m.v. fotovoltaïsche cellen in elektrische energie omgezet worden. De zonreguleringsvoorziening kan naast het weren van een teveel aan zoninstraling en het opwekken van fotovoltaïsche energie ook gebruikt worden voor lichtsturing. De opvallende zonnestrallen worden dan naar het plafond van de ruimte gereflecteerd waardoor er een gelijkmatig verlichtingsniveau tot diep in het gebouw ontstaat. Een intelligente gevel kan gebruik maken van natuurlijke ventilatie (fig. 9.19 en 20). In geval van tweedehuidfaçades wordt de geïsoleerde binnenruit geopend om zo te ventileren met buitenlucht uit de windstille gevelspouw. De intelligente gevel maakt interactief gebruik van een dynamische ventilatieregeling. Nachtkoeling is een belangrijk onderdeel van een klimaatactief gevelconcept. Door 's nachts delen van de gevel te openen wordt niet alleen de lucht ververst

door koelere instromende lucht, maar wordt ook het teveel aan opgenomen warmte uit borstwering, vloeren en wanden afgevoerd. Intensieve nachtkoeling, eventueel met dwarskoeling, kan de koellast van een gebouw aanzienlijk verminderen.

De ontwikkeling naar intelligente gevels zorgt voor een verregaande integratie van installaties en geveltechniek. (fig. 9.21) Hierdoor zullen de verhoudingen tussen installatieadviseurs en gevelproducenten sterk veranderen. De consequenties van de geïntegreerde aanpak zullen door beide partijen moeten worden opgepakt.

Zowel enkele glasfaçades als klimaat- en tweedehuidfaçades kunnen 'kunstmatig intelligent' gemaakt worden door de koppeling van klimaatregulerende voorzieningen aan een interactief gebouwbeheerssysteem.

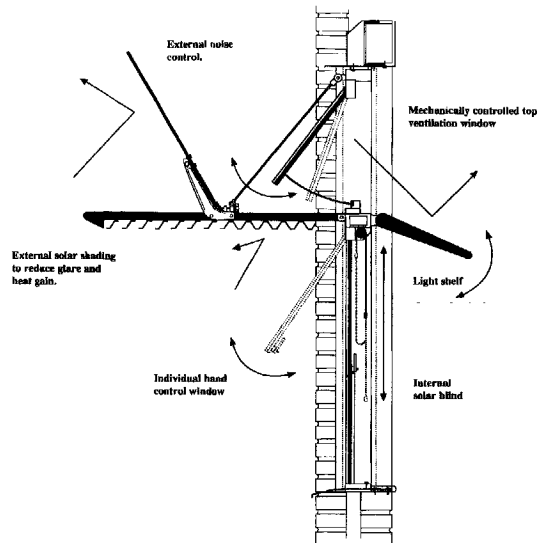
**De mediafaçade** Tijd is geen uitvinding uit de twintigste eeuw, maar zonder twijfel is het tijdsbesef in deze eeuw toegenomen. Tijd (de vierde dimensie) werd begin deze eeuw in de kunst geïntroduceerd door de futuristen.

In de architectuur heeft het tijdsaspect, en meer in het bijzonder het voorbijgaan van tijd of het veranderen in de tijd een belangrijke invloed. Het voorbijgaan van tijd komt niet alleen tot uiting in het verweren van toegepaste materialen, maar ook in veranderingen in de gevel. De façade reageert actief op tijdelijke belastingen door zon, regen en wind, licht en geluid. (fig. 9.22 en 9.23) Het tijdsaspect is ook van invloed op de ervaring van de façade. Bij snelwegen worden gebouwen met grote snelheid ervaren, hier houden ontwerpers rekening mee.

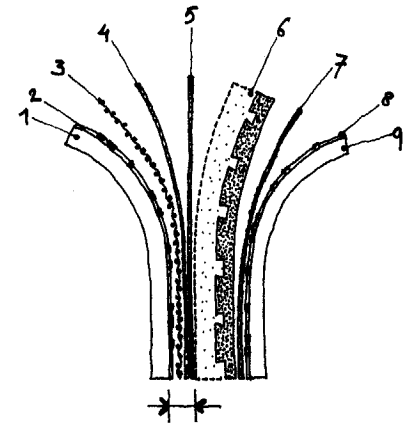
De steeds groeiende behoefte aan informatie is



9.22 Lichtspel reagerend op wisselende omstandigheden in het buitenklimaat.  
project: Zeilgalerie Lafayette, Frankfurt am Main (D)  
architect: Rüdiger Kramm



9.21 Interactief raamsysteem.



9.17 Verdichte gevel.

1. weerbestendige glazen huid
2. externe sensorische laag
3. foto-elektrisch grid
4. selectieve thermische absorptielaag
5. elektrische opslag
6. met gas verzadigde laag
7. elektrische opslag
8. interne sensorische laag
9. glazen binnenhuid



Osaka Gas Experimental Housing, Osaka, Japan.  
architect: Yoshitaka Uchida and the Architectural & Urban Design Studio Contractor

een andere factor die invloed heeft op de architectuur. De mens communiceert met zijn computer via het beeldscherm: het beeldscherm vormt een 'interface', een raakvlak. 'In de architectuur is de façade de interface tussen mens en gebouw [...] de façade is als een scherm, [de gevel] is het vlak van communicatie.' [9.6] (fig. 9.24)

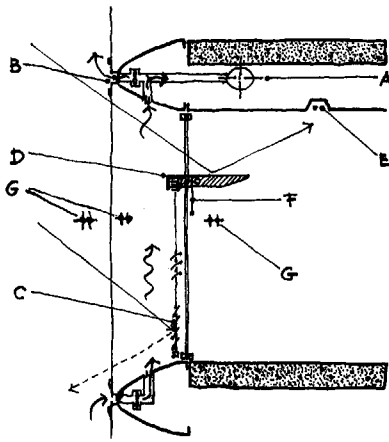
Dit idee leidt tot meer communicatie via façades. Zo krijgt de voorbijganger door de transparantie van de façade meer inzicht in het gebouw; ook de klimaatregulering is van buitenaf duidelijk zichtbaar (façadebeeld bepaald door zonregulerende voorzieningen). De gebouwgebruiker ontvangt meer informatie door het verbeterde uitzicht (relatief meer doorzichtbeglazing bezet met blank glas) en de gereguleerde daglichttoetreding.

Mediafaçades hebben een impliciet communicatieve functie door het letterlijk overbrengen van boodschappen via teksten, lichtbeelden, videoprojecties, hologrammen en vloeibare kristallen (lcd's) op façades. (fig. 9.25) Dergelijke actieve informatievoorziening draagt ertoe bij dat de façade wordt ervaren als een huid, die in een aantal dunne lagen verschillende functies vervult.

## DUURZAAM BOUWEN

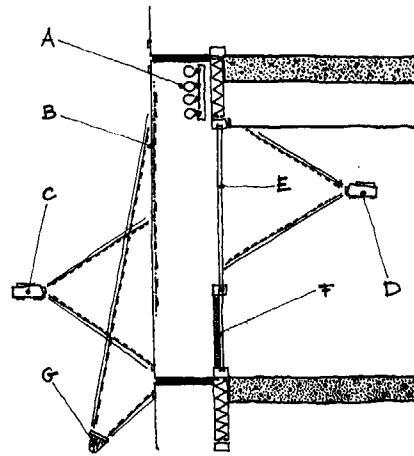
De zorg voor het milieu is gegroeid tot een belangrijke ontwerpoverweging. Gebruik, instandhouding, herbestemming/aanpassing en tenslotte demontage en hergebruik dienen een zo laag mogelijke totale belasting op het milieu te genereren.

Een van de meest doeltreffende maatregelen is de levensduur van gebouw, bouw delen, componenten, elementen en bouwmaterialen te maximaliseren.



9.18 Intelligente façade.

- A. verwarmde of gekoelde spouwlucht koppelen aan gebouwinstallaties
- B. regelbare luchtuitlaat
- C. zonregulering + lichtsturing gekoppeld aan gebouwbeheerssysteem
- D. lichtsturing
- E. verlichting reagerend op het daglichtaanbod
- F. anti-verblindingsdoek
- G. sensoren gekoppeld aan gebouwbeheerssysteem



9.26 Mediafaçade.

- A. lichtspel
- B. gezeefdrukt glas (bijvoorbeeld belettering)
- C. projecties van buitenaf
- D. projecties van binnenuit
- E. schakelbaar glas
- F. LCD's
- G. gebouwaanlichting buitenzijde

Daarbij dient bedacht te worden dat de huisvestingsbehoeften bij kantoorgebouwen steeds frequenter veranderen door gewijzigde bedrijfsprocessen en technologische ontwikkelingen. Om de levensduur van een bouwwerk te kunnen maximaliseren, is de eerste overweging op de weg naar duurzaam bouwen de levensduur te bestendigen ondanks functionele veranderingen. Een kantoorgebouw dient dan ook flexibel en functioneel aanpasbaar te zijn. Dit geldt ook voor de alu-glasfaçade. Als de duurzaamheidseigenschappen van de gevel tot de hoofdontwerpogaven behoren, dan kunnen we van een **duurzame façade** spreken.

Indien de gebruikskwaliteiten flexibiliteit en functionele aanpasbaarheid extra aandacht krijgen bij het gevelontwerp, dan spreken we van een **flexibele en functioneel aanpasbare façade**. Flexibel wil zeggen dat de façade eenvoudig afgestemd kan worden op herindelingswensen in verband met andere werkplekvormen en ruimte-indelingen. Een façade is functioneel aanpasbaar als zij aangepast kan worden aan een ander ruimtegebruik bij een nieuwe functie van het bouwwerk. Bijvoorbeeld als een kantoorgebouw wordt bestemd als woongebouw.

De flexibele en functioneel aanpasbare façade is conceptueel en constructief zodanig ontwikkeld en gebouwd dat toekomstige wijzigingen met een minimum aan inspanning en overlast uitgevoerd kunnen worden.

Een tweede overweging op weg naar duurzaam bouwen is het hergebruik na demontage van de gevel. Bij de **hergebruikfaçade** is al in de ontwerpfase aandacht besteed aan de milieu-effecten van de gevel; daarbij wordt speciaal gelet op de hergebruikwaarde van de componenten, elementen en materialen. In het

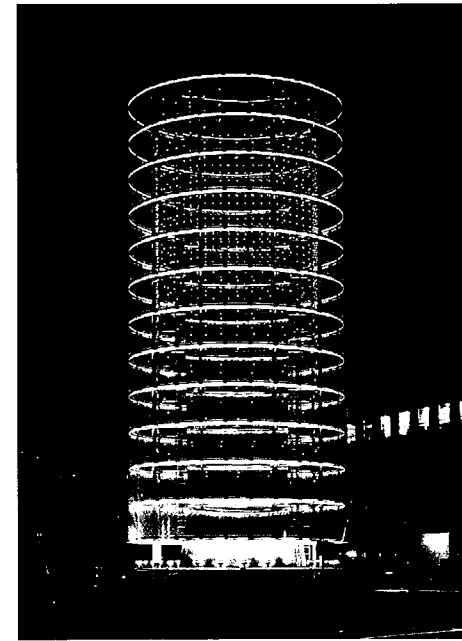
gunstigste geval worden complete gevelcomponenten hergebruikt, maar het kan ook gaan om losse elementen of materialen.

Gevelmateriaal kan op een aantal manieren worden hergebruikt: het kan elders worden ingezet in dezelfde vorm; het kan na bewerking zonder kwaliteitsverlies in een nieuwe vorm worden gebruikt; het kan met enig kwaliteitsverlies voor andere doeleinden worden gebruikt en het kan verbrand worden, waarbij tenminste de calorische waarde benut wordt. Sloopafval moet zoveel mogelijk vermeden worden. Deze hiërarchie gaat gepaard met een toenemende kapitaalvernietiging. Bij de hergebruikfaçade wordt daarom extra aandacht besteed aan de materiaalkeuze, de opbouw (demontage en scheidbaarheid) en de gedifferentieerde levensduur van gevelelementen en -componenten.

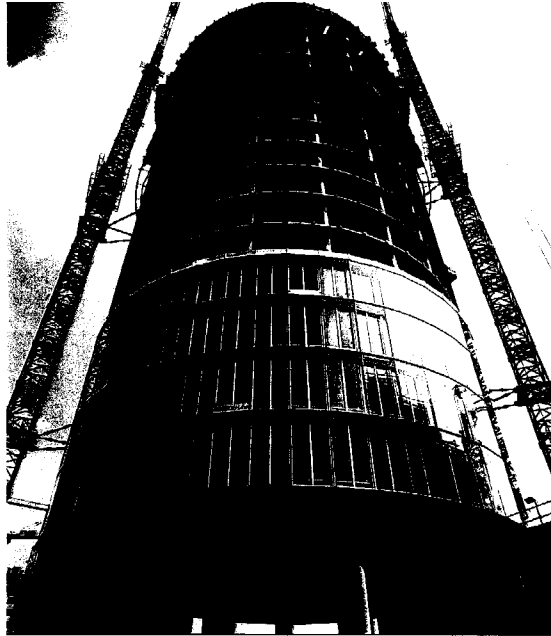
De **reactieve façade** heeft als doel niet alleen energiebesparend (thermische kwaliteit) maar ook energieleverend (benutting van duurzame energiebronnen) te presteren. Als de energetische eigenschappen van de gevel tot de hoofdontwerpogaven behoren, dan kunnen we van een **energiefaçade** spreken.

## TRENDS EN ONTWIKKELINGEN

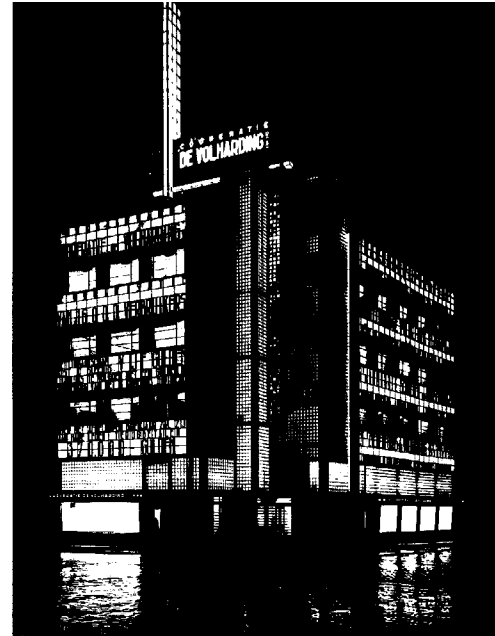
De omschakeling van de vraag naar een bouwopdracht - de gevel als constructiewerk voor de functionele en esthetische sluiting van het gebouw - naar een façade-concept dat voldoet aan de gestelde prestaties gedurende de ontwerplevensduur is ingezet. Daarbij wordt rekening gehouden met de toenemende regelgeving voor duurzame, energievriendelijke en milieubewuste façade-uitvoeringen. Deze twee stromingen zijn interactief, ze versterken elkaar, en zullen van grote invloed



9.23 Een mediafaçade, Tower of Winds, Yokohama, Kanagawa.  
architect: Toyo Ito & Associates



Bouwfase Dienstleistungszentrum Stern, Essen (D).  
architect: Ingenhoven, Overdiek und Partner



9.24 Een vroeg voorbeeld van een mediafaçade  
project: 'de Volharding', Den Haag

zijn op de façadetechnologie en op de toekomstige plaats en functie van de gevelbouwer.

De façade dient nu geconcipeerd en beoordeeld te worden als klimaatactieve interface, waardoor een vroegtijdige afstemming tussen geveloriëntatie, gevelconcept en klimaatinstallatieprestaties noodzakelijk is. De huidige hoofdpogave, het bouwen van de gevel als onderdeel van het bouwkundige werk, is dan een tussenstap, het begin van de gebruiksfase waarin de prestaties van de gevel duurzaam aan de voorwaarden dienen te voldoen.

In dit licht is de ontwikkeling van gelaagde gevels, klimaatgevels en tweedehuidfaçades zoals beschreven in hoofdstuk 3 en in dit hoofdstuk, een logisch gevolg. Het gaat hier om concepten die vanwege de hogere bouwinvestering nog niet door projektontwikkelaars toegepast worden, maar in toenemende mate wel door gebouweigenaars en -gebruikers met huisvesting op toplokaties worden gekozen.

Voor façades met meer actieve functies is in de bouwfase een langere voorbereidingstijd nodig vanwege de noodzakelijke afstemming van façade- en klimaatinstallatietechnologie. Om te voorkomen dat daardoor de bouwtijd langer wordt, dienen de gevelbouwer en installateur in een vroeg stadium van het bouwproces ingeschakeld te worden (zie ook hoofdstuk 8).

Deze trend leidt tot een ander type gevelbouwer. De nieuwe gevelbouwer staat voor organisatorische en technische uitdagingen die tot inspirerende en vernieuwende impulsen zullen leiden. Dit is een welkom perspectief omdat de huidige gevelbouw al te lang in een consolidatiefase verkeert.

De toekomst van de alu-glas-façadebouw ligt in de

software: het duurzaam verzekeren van comfort, veiligheid en gezondheid voor de gebouwgebruikers. Daarbij zal men rekening houden met de toegestane exploitatiekosten voor energie en onderhoud gedurende de ontwerplevensduur en de hergebruik- en recyclingwaarden aan het eind van de levensduur.

Door maatschappelijke en technische ontwikkelingen worden kansen geboden, die het concept van de gevel zullen beïnvloeden. De alu-glasfaçade heeft de potentie om de vraag te kunnen blijven volgen, waarschijnlijk zelfs trendsetter te zijn voor de gevel van de toekomst.



9.25 Mediafaçade met gezeefdrukt glas  
project: Dumont Schauberg, Keulen (D)  
architect: Jean Nouvel

gebruik. Beide producten zijn uitstekend geschikt voor hergebruik. Voor aluminium, dat een relatief hoge energie-inhoud heeft, is de herbruikbaarheid zeer belangrijk. De productie van primair aluminium vraagt veel energie, om aluminiumschroot om te smelten voor hergebruik is slechts 5% van de primaire energie nodig.

Daarom is het 'alu-eco-initiatief' van de systeemleveranciers en de gevelbouwers van groot belang: door deze bedrijfsgroepen wordt gegarandeerd dat het ingezamelde aluminium gerecycled wordt naar nieuwe, hoogwaardige bouwproducten. De hoge schrootwaarde van aluminium blijkt een extra stimulans te zijn om produktieresten en bouwschroot in te zamelen en aan te bieden voor hergebruik. Van het bouwaluminium komt nu al meer dan 90% in de recyclingketen terecht.

In het recyclingproces kan zowel geanodiseerd, gelakt als geïsoleerd aluminium worden verwerkt. Door sortering van het type legering worden profielen van profielschroot en platen van plaatschroot geproduceerd; zo blijft het toepassingsniveau van gerecycled aluminium gewaarborgd. Dit ketenbeheersysteem past geheel in de opgave van hergebruik; het is door Tweede-Kamerlid Lansink (CDA) politiek vertaald in de zogenaamde ladder van Lansink. De bouw milieuzorg past tevens in de doelstellingen van het Tweede Nationaal Milieubeleidsplan (NMP-2), waarin de strategie voor het milieubeleid op middellange termijn is vastgelegd en in het plan van aanpak Duurzaam Bouwen (VROM, 1995).



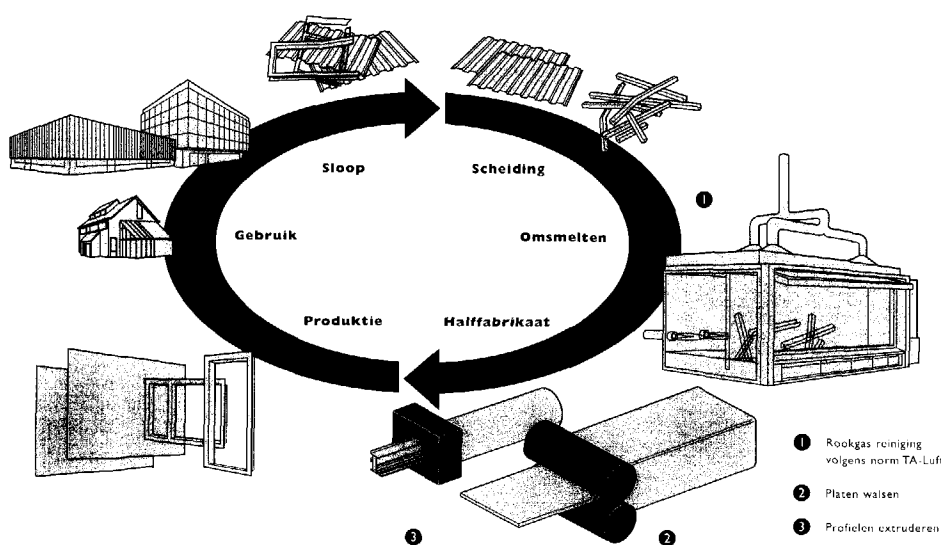
Voor de façadebouw is de ladder van Lansink nog niet expliciet genoeg. Het derde en vierde aspect van de ladder is te preciseren aan de hand van de omgekeerde hiërarchie van bouwproducten:

- 1 gebouw
- 2 bouwdelen
- 3 componenten
- 4 elementen
- 5 halffabrikaten
- 6 bouwmaterialen
- 7 grondstof

Allereerst zorgt kwalitatief onderhoud voor een verlenging van het eerste leven. Als na een generatie een gebouw niet goed meer functioneert, moet allereerst een nieuw gebruik van het gehele gebouw worden nagestreefd (1). Daarna is te overwegen of er delen van het gebouw gereviseerd moeten worden (2). Vervolgens kan overwogen worden om een bouwdeel in componenten te demontieren en te hergebruiken in een ander project (3). Is dat niet mogelijk dan volgt de demontage in verschillende elementen die wellicht op zich weer kunnen worden hergebruikt (4). Zo niet, dan worden op elementniveau alle onderdelen gescheiden, gesorteerd en voor hergebruik teruggebracht tot de fase van halffabrikaten (5) en materialen (6). Voor niet-herbruikbare materialen volgt energetische benutting door verbranding, en als dat niet kan, stort. Hoe hoger in de hiërarchie van bouwproducten de recycling plaatsvindt, des te kleiner is de kapitaalvernietiging en de milieubelasting.

**Milieuzorg op materiaalniveau** Gelet op de hergebruikswaarde van de belangrijkste materialen, aluminium en glas, kan gesteld worden dat de alu-glasfaçade, mede door het alu-eco kringloopbeheer, een gunstig milieuprofiel heeft. Als hergesmolten materiaal is aluminium niet duurder en heeft het dezelfde hoogwaardige toepassingsmogelijkheden als primair aluminium. (Zie ook hoofdstuk 2, aluminium). Voor alu-glasfaçades worden nog vele andere materialen ingezet, zoals natuursteen, keramiek, kunststof plaat en profiel, rubbers, kitten en lakken. Van elk van deze materialen dient een levenscyclusanalyse (LCA) gemaakt te worden en dienen de milieuaspecten afzonderlijk beoordeeld te worden. Daarbij gaat het dan weer om beschikbaarheid, duurzaamheid, onderhoudsvriendelijkheid en hergebruiksmogelijkheden, alsmede om de energieaspecten van grondstofwinning, productie (bouw fase), toepassing (gebruiksfase) en recycling.

De inzet om duurzaam te bouwen is in een beginfase. De normen ten aanzien van milieutaakstellingen voor de bouw, dus ook de gevelbouw, worden maatschappelijk bepaald en door regelgeving vastgesteld. De taakstellende uitdaging om aan dit beleid mee te werken zal zeker nieuwe alu-glasfaçadeconcepten opleveren.





- London, 1955.
- 1.8 Peter J, Hamilton EA. Aluminum in modern architecture. Volume 1, Buildings. Reynhold Metals Company, Louisville, Kentucky, 1956.
- 1.9 Peter J, Weidlinger P. Aluminum in modern architecture. Volume 2, Architectural Engineering. Reynhold Metals Company, Louisville, Kentucky, 1956.
- 1.10 Wicker K. Koller - Architektur und Technik der Vorhangwand. c/o Koller, 1982.
- 1.11 Jehle-Schulte Strathaus U. Koller - Vom Skelettbau zur Curtain Wall. c/o Koller, 1982.
- 1.12 Archiwall, volume 1. Japan, 1992.
- 1.13 Renckens J, e.a. Gevels up-to-date. Faculteit der Bouwkunde, TU Delft, 1992.
- 1.14 Peter J, Hamilton EA. Aluminum in modern architecture - 1960 edition. Reynhold Metals Company, Louisville, Kentucky, 1956.
- 1.15 Bach IJ. Chicago's Famous Buildings. Third edition. The University of Chicago Press, Chicago/London, 1980.
- 1.16 Jencks C. Skyscrapers, Skyprickers, Skycities. Academy Editions, London, 1980.
- 1.17 Scully V Jr. Modern Architecture. George Braziller, New York, 1967.
- 1.18 Opici MA. Facciate Continue. Una monografia. Tecnomedia S.r.l., Milano, 1990.
- 1.19 Joliet H. Aluminium, die ersten Hundert Jahre. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1989.
- 1.20 Zukowsky J, e.a.. Mies Reconsidered: His Career, Legacy, and Disciples. The Art Institute of Chicago in association with Rizzoli International Publications Inc., Chicago, 1986.
- 1.21 Oosterhoff J. Geschiedenis van de bouwtechniek. Deel 1. Faculteit der Bouwkunde, TU Delft, 1978.
- 1.22 Tol A van. Bouwkunde Dl. 9b: Bouwkunde in kort bestek. Waltman, Delft, 1986.
- 1.23 Sutterland H, Pontier JH. Geschiedenis van de Bouwkunst. Overzicht van het bouwen in de westerse wereld. Waltman, Delft, 1990.
- 1.24 Peter J. Aluminium in modern architecture. 1958 edition. Reynolds Metal Company, Louisville, Kentucky, 1958.
- 1.25 Stritch T. The Kawneer Story. Kawneer Company, Niles, Michigan, 1956.
- 1.26 Rehorst C. Jan Buijs Architect van de Volharding. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1983.
- 1.27 Idsinga T. Zonnestraal. Een nieuwe tijd lag in het verschiep. De Arbeiderspers/Stichting Wonen, 1986.
- 1.28 Hartmann K, Bollerey F. 200 Jahre Architektur 1740-1940. Delft University Press, Delft, 1987.
- Düsseldorf, 1988.
- 2.7 Altenpohl D. Aluminium von Innen. Das Profil eines modernen Metalles. Aluminium Verlag, Düsseldorf, 1994.
- 2.8 Aluminium bouwt duurzaam. Van grondstof tot hergebruik. Aluminium Centrum, Woerden, 1992.

### Hoofdstuk 3

- 3.1 Eekhout M. Moduleboek B2. Over profielen. TU Delft, 1992.
- 3.2 Eekhout M, e.a. The Glass Envelope. Publicatie Bureau Bouwkunde, TU Delft, 1992.
- 3.3 Köhler JW, Zanten JH van. Typologie van vliesgevels. Architectuur/Bouwen 1990;nr.10:22-25.
- 3.4 Geerts G, Heestermans H. Van Dale. Groot woordenboek der Nederlandse taal. Van Dale Lexicografie, Utrecht/Antwerpen, 1989.
- 3.5 VMR Kwaliteitseisen en adviezen voor ramen, deuren en gevels. Vereniging van Metalen-Ramenfabrikanten (VMR), Woerden, 1986.
- 3.6 Kras DJ, Bruggema HM, Köhler JW. Vliesgevels voor kantoor gebouwen. Stichting Bouwresearch (SBR), Rotterdam, 1992. SBR-publicatie 262.
- 3.7 Toepassingsmogelijkheden voor klimaatgevels en ramen. Novem, 1989.
- 3.8 Tapper A. Ontwerfphilosofie met het oog op water- en luchtdichtheid van gevels. Adviesbureau Façade, Eindhoven, 1992.
- 3.9 Fassadenbau. Wärmegedämmte Metallfenster. Fenster und Fassadenbau, 1990.
- 3.10 Wortelboer S. Over gevels. Lichte, niet-dragende gevelconstructies. TU Delft, 1992.
- 3.11 HTO Gevelbouw cursus. TH 's-Hertogenbosch, 1993.
- 3.12 NVN 3895, Brandveiligheid van gebouwen. 1988.
- 3.13 Frampton K. Moderne Architectuur - Scheerbart P. Glasarchitectuur, 1914. SUN, Nijmegen, 1988.
- 3.14 Iker J, Wolf AT. Secondary stress. Materials and Structures 1992;nr.25:137-144.
- 3.15 Eekhout M. Product Development in Glass Structures. Uitgeverij 010, Rotterdam, 1990.
- 3.16 Iker J, Wolf AT. Comparison of European and US testing/qualification procedures for structural glazing silicon sealants. Construction and Building Materials 1993; vol.7; nr.1:13-17.
- 3.17 Iker J, Nemeth C, Wolf AT. Eine neue Technik für Ganzglasfassade. Sonderdruck aus glasforum 1987;nr.2:37-44.
- 3.18 Structural Glazing design guide. Draft 1. American Architectural Manufacturers Association (AAMA), Illinois, 1985.
- 3.19 Institut National du Verre. Technische informatie - structurele informatie: 01 - glas, 02 - berekening en formules, 03 - verlijmingsprocedures.

- 3.20 ETA draft guideline for Structural Sealant Glazing. Systems (doc WG 94/01) draft 06.
- 3.21 CEN document CEN/TC 129/WG 16/N 160 revis 3 E. part 1: definitions, part 2: glass.
- 3.22 Parise JP. Science and Technology of Glazing Systems. ASTM, STP 1054, Philadelphia, 1989.
- 3.23 Eekhout M. Van octatube tot quattro. Publicatie Bureau Bouwkunde, TU Delft, 1995.
- 3.24 Deelen P van, Grashoff R. Constructief ontwerpen met glas 1 en 2. Glas in beeld, maart/juli 1990:33-36,31-34.
- 3.25 Nijssse R. Glass and poly-aramide as structure elements. TU Delft, 1994.
- 3.26 Minne A. Spider glass. Glaceries de Saint-Roch N.V., Brussel, 1992.
- 3.27 Rice P, Dutton H. Le verre Structurel. Le Moniteur, Parijs, 1990.

#### Hoofdstuk 4

- 4.1.1 Manufacturing Technology Guide 24. JETRO Japan External Trade Organization, Machinery and Technology Department, Tokyo, Japan.
- 4.1.2 Richtlijnen voor een kwaliteitskeurmerk voor anodisch verkregen oxidelagen op aluminium halffabriekaat dat in de architectuur wordt gebruikt. COT, Haarlem, 1978.
- 4.1.3 Baizuldin BM. Thin Anodic Aluminium Oxide Films with Unusual Morphology. Metal Finishing, december 1993:27-29.
- 4.1.4 Anodiseren van aluminium in de architectuur. Vereniging voor Oppervlaktetechnieken van Materialen (VOM), Bilthoven. Monografieënreeks nr.5.
- 4.1.5 Wernick S, Pinner R, Zurbrugg E, e.a. Die Oberflächenbehandlung von Aluminium. Leuze Verlag, Saulgau/Württ, 1977.
- 4.1.6 Aluminium en Anodiseren. Stichting Anodiseren, Bilthoven.
- 4.1.7 Faller FE, Sautter W. Schichtdickenveränderung an anodisierten Aluminiumbauteilen bei Freibewitterung. Aluminium 59 1983;nr.2:117-122.
- 4.2.1 Schmid EV. Wetter- und Korrosionsschutz. Curt R. Vincentz Verlag, Hannover, 1983.
- 4.2.2 Standard and Guide to Good Practice for Curtain Walling. Centre for Window and Cladding Technology, Bath, 1993.
- 4.2.3 Lakken en poedercoaten van aluminium in de architectuur. Vereniging voor Oppervlaktetechnieken van Materialen (VOM), Bilthoven. Monografieënreeks nr.6.
- 4.2.4 VMRG Kwaliteitseisen en Adviezen 1993 - Metalen ramen, deuren, gevels. Vereniging Metalen Ramen en Gevelbranche (VMRG), Nieuwegein, 1993.
- 4.2.5 Mendes de Leon MF. Inventarisatie van de conditie van gevelelementen in Nederland. Metal & Corrosion Engineering b.v. (MCE), 1984.
- 4.2.6 Klis T van der, Mortier JW du. Oppervlaktebehandelingen van aluminium. Vereniging voor Oppervlaktetechnieken van Metalen (VOM), Bilthoven, 1992.
- 4.2.7 Klis T van der. Oppervlaktebehandeling van Aluminium. Vereniging voor Oppervlaktetechnieken van Metalen (VOM), Bilthoven, 1969.
- 4.2.8 Technische Richtlinien für die Arbeit der Gütegemeinschaft für die Stückbeschichtung von Bauteilen aus Aluminium e.V. (GSB International). RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichen e.V., Bonn, 1992.
- 4.2.9 Vorschriften zur Erlangung des Gütezeichens für Beschichtungen auf Aluminium durch Nass- und Pulverlackierung bei Architekturwendungen. Qualicoat, 1994.

#### Hoofdstuk 5

- 5.1 Glas... inzicht in doorzicht. Nederlandse Glasbond, Gouda, 1987.
- 5.2 Minne A. Een heldere kijk op glas. Glaceries de Saint-Roch N.V., Brussel, 1989.
- 5.3 Peterse K. Bijzondere glassoorten. Bedrukken, verwarmen of koud buigen? BOUW 1993;nr.4:34-36.
- 5.4 Dinter P van. Eenvoud omhuld door tactiele glashuid, Cocooning Architecture. GLAS 1993;nr.1:10-15.
- 5.5 Leeuwen P van. Glas, voor veiligheid en beveiliging. Glas 1993;nr.2:7-13.
- 5.6 Elementenanalyse bijzondere glassoorten. BOUW 1993;nr.4:38-39.
- 5.7 Wilschut J. Gelaagd en gehard glas. Bouwwereld 1993;nr.13.
- 5.8 Unger G. Gaspermeation von Isoliergläsern. Glaswelt 1991;nr.9.
- 5.9 Button D, Pye B. Glass in buildings. Reed international books, Oxford, 1993.
- 5.11 Wilschut J. Ontspiegeld glas laat veel meer zien. Bouwwereld 1993;nr.18.
- 5.11 Titulaer G. Achter glas. Veromco n.v., Veenendaal, 1990.
- 5.12 Fraanje PJ. Milieu-effecten van LE-glas. Novem studie, Woon/Energie, Gouda.
- 5.13 Zonwering bij gebouwen. Samsom uitgeverij, Alphen aan den Rijn/Brussel, 1974. SBR-publicatie 42.
- 5.14 Heller P, Vervest J, Wilbrink H. Vademecum voor de Glastechniek. Kluwer Technische Boeken, Deventer, 1992.
- 5.15 Velds CA. Zonnestraling in Nederland. KNMI, De Bilt, 1993.
- 5.16 Knip K. Zonnen achter glas. NRC-Handelsblad, 23 juli 1992.
- 5.17 Verhoeven AC. Bouwfysica 1. Delftse Uitgeversmaatschappij, Delft, 1984.
- 5.18 Santen N van, Mangé JGM. Duurzaamheid van isolerend dubbelglas. Bouwwereld 83 1987;nr.21:66-69.
- 5.19 Bassie W. Glas en veiligheid. Bouw 1972;nr.14:488-491.
- 5.20 Keller B. Die glastechnologische Berücksichtigung von Sonnen und Wärmeschutz. Technische Hochschule, Zürich, 1993.
- 5.21 Verhoeven AC. Bouwfysisch Tabellarium. TU-Delft, 1991.
- 5.22 NEN-Bundel 15, Normen voor glas en het beglazen van gebouwen. NNI, 1991.
- 5.23 Button D, Dunning R. Fenestration 2000. Pilkington and the Department of Energy, 1989.
- 5.24 Nijss J de. Symposium: Glass, today's future. Zoetermeer, 1992.
- 5.25 Kohler JW. Symposium: Glass, today's future. Zoetermeer, 1992.
- 5.26 Cairns C. Captivating curves. Building, Doors and Windows april 1992:23.
- 5.27 Peterse K. Bijzondere glassoorten. Breuk met het verleden. BOUW 1993;nr.4:28.
- 5.28 Boissiere O. The Facade as a screen. Architecture & Light 1994;nr.8:55-59.
- 5.29 Deelen P van, Grashoff R. Constructief ontwerpen met glas. Glas in Beeld, juli 1990:32-35.
- 5.30 Nijssse R. Glas and poly-aramide as structure elements. TU-Delft, 1994.
- 5.31 Compagno A. Intelligente Fassaden. Fassade-Façade 1994;nr.1:36-40.
- 5.32 Hugentobler P. Fassaden im Einklang mit Licht und Wärme. Fassade-Façade 1994;nr.1:17-21,24-26.
- 5.33 Metalbau Jahrbuch. Functionelles Glas im Bau. 1993/1994.
- 5.34 Moehrlein JP. Bijzondere glassoorten. De fascinatie. Bouw 1993;nr.4:27.
- 5.35 Stokroos M. Bouwglas in Nederland. Gemeentelijk Bureau Monumentenzorg, Amsterdam, 1994.
- 5.36 Compagno A. Intelligente Glasfassaden. Artemis Verlags-AG, Zürich, 1995.

- 5.37 Hendriks NA. Schuine glasgevels. Stichting Bouwresearch (SBR), Rotterdam, 1995. SBR-publicatie 332.
- 5.38 High Performance ramen. Ministerie van Economische zaken. Technieus vol.32;nr.8:11-14.
- 5.39 Santen C van, Hansen A. Daglicht en kunstlicht, een leidraad. Delftse Universiteits Pers, Delft, 1989.
- 5.40 Glass and Glazing Manual. AAMA CW #6 Task Group. 1993.
- 5.41 Radarreflexionarmes Bauglas. Detail 1993;nr.5:620.
- 5.42 Twilt L. Eisen en bepalingsmethoden brand beter geregeld. Bouw 1993;nr.3:38-42.
- 5.43 NEN 3567, Glas voor gebouwen. Isolerend dubbelglas. Eisen en beproevingsmethoden. NNI, 1985.
- 5.44 NEN 3568, Glas voor gebouwen. Voorgespannen glas. Eisen en beproevingsmethoden. NNI, 1980.
- 5.45 NEN 3569, Veiligheidsbeglazing in gebouwen. NNI, 1983.
- 5.46 Petzold A, Marusch H, Schramm B. Der Baustoff Glas. Grundlagen, Eigenschaften, Erzeugnisse, Glasbauelemente, Anwendungen. Hofmann, Schorndorf, 1990.

#### Hoofdstuk 6

- 6.1 Erhardt L. Radiation, light and illumination. Camarillo Reproduction Center, California, 1977.
- 6.2 Slaper H, Eggink GJ. Blootstelling aan ultraviolette straling. Rapport: RIVM, oktober 1991.
- 6.3 Frantzen AJ, Raaff WR. De globale straling in het Rijnmondgebied. WR 78-14 KNMI, De Bilt, 1978.
- 6.4 Kras DJ. Vliesgevels voor kantoorgebouwen: prestaties en prestatie-eisen. Stichting Bouwresearch (SBR), Rotterdam, 1992. SBR-publicatie 262.
- 6.5 Verhoeven AC. Bouwfysica 1. Delftse Uitgeversmaatschappij, Delft, 1984.
- 6.6 Bakker K, Engelen M. Bouwen met de zon. Novem, Sittard, 1993.
- 6.7 Zonneboilers. Ontwerp, uitvoering en advisering. ISSO publicatie 14, Rotterdam, 1992.
- 6.8 Humm O, Toggweiler P. Photovoltaik und architektur. Birkhäuser Verlag, Berlijn, 1993.
- 6.9 Santen C van, Hansen AJ. Licht in de architectuur. J.H. de Bussy, Amsterdam, 1985.
- 6.10 Bouwfysica deel 1: warmte en vocht. Faculteit der Civiele Techniek, TU Delft, 1983.
- 6.11 Nijs J. Buitenjaloerieën. BOUW 1966;nr.26:982-987.
- 6.12 Büttiker U. Louis I.Kahn - Licht und Raum. Birkhäuser Verlag, Berlijn, 1993.
- 6.13 Olgyay A, Olgyay V. Solar Control and Shading Devices. Princeton University Press, U.S.A., 1957.
- 6.14 Zonwering bij gebouwen. Samsom uitgeverij, Alphen aan den Rijn, Brussel, 1974. SBR-publicatie 42.
- 6.15 Santen C van, Hansen AJ. Daglicht en kunstlicht, een leidraad. Delftse Universiteit Pers, Delft, 1989.
- 6.16 Guiking A. De kunst van weven. Zonvak, mei 1993:75-77.
- 6.17 Breukelman A. Die Wand, ein Medium? Werk, Bauen + Wohnen, april 1991.
- 6.18 Ackermann K. Konstruktionsbüro Gartner. Karl Krämer Verlag, Stuttgart, 1993.
- 6.19 Button D, Pye B. Glass in buildings. Reed international books, Oxford, 1993.
- 6.20 Büro- und Produktionsgebäude Glasbau Seele Gersthofen. Schorndorf, Glasforum 1993;nr.5.
- 6.21 Lewis O, Goulding J. Energie Efficient Building 1993. James and James, London, 1993.
- 6.22 Lewis O, Goulding J. Energie Efficient Building 1994. James and James, London, 1994.
- 6.23 NBD zonweringen. NCA vakdokumentatie, band 3, Deventer, 1994.
- 6.24 Behaaglijkheid in en om gebouwen. Syllabus Stichting post

- dokoraal onderwijs, TH Delft, 1973.
- 6.25 Boom. Vademecum: energiebewust ontwerpen van nieuw bouwwoningen. Novem bv Sittard/Utrecht/Apeldoorn, 1992.
- 6.26 Zontoetredingsfactoren. Samsom uitgeverij, Rotterdam, 1975. ISSO publicatie 2.
- 6.27 H6 - Zonwering en aanverwante systemen, Jellema 5. Waltman, Delft, 1992.
- 6.28 Velds CA. Zonnestraling in Nederland. KNMI, De Bilt, 1993.
- 6.29 Voorden M van der. Stedebouwfysica deel 2: bezonning. Faculteit der Civiele Techniek, TU Delft, 1990.

#### Hoofdstuk 7

- 7.1 Gevels en Constructie. Basisinformatie aluminium en stalen ramen, deuren, serres en vliesgevels. Vereniging Metalen Ramen en Gevelbranche (VMRG), Nieuwegein, 1995.
- 7.2 NEN 5128, Energieprestatie van woningen en woongebouwen. Bepalingsmethode. NNI, 1994.
- 7.3 NEN 2916, Energieprestatie van utiliteitsgebouwen. Bepalingsmethode. NNI, 1994.
- 7.4 prEN 30077-1, Windows, doors and shutters. Thermal transmittance. Calculation method, maart 1995.
- 7.5 Gevels en Statica. Berekening van sterkte en stijfheid metalen ramen, deuren en vliesgevels. Vereniging Metalen Ramen en Gevelbranche (VMRG), Nieuwegein, 1995.

#### Hoofdstuk 8

- 8.1 Bouworganisatievormen in Nederland. Stichting Bouwresearch (SBR), Rotterdam, 1993. SBR-publicatie 2.86.B93.

#### Hoofdstuk 9

- 9.1 Dietsch DK. Architecture, juli 1995:15.
- 9.2 Compagno A. Intelligente Glasfassaden 1. Teil. Fassade/Façade 1994;nr.1:36-40.
- 9.3 Compagno A. Intelligente Glasfassaden 2. Teil. Fassade/Façade 1994;nr.2: 11-16.
- 9.4 Davies M. A wall for all seasons. RIBA Journal, februari 1981:55-57.
- 9.5 Compagno A. Intelligent Glass Façades. Artemis Verlags-AG, Zürich, 1995.
- 9.6 Nouvel J. Mediapark Köln. Arch+ 1991;nr.108:41-43.

Dekker Natuursteen, Leidschendam: 5.95  
Dominique Perrault, Parijs: 3.83, 8.4, 8.7, 9.3, 9.4, 9.7, 9.8, 9.16  
Du Pont de Nemours: 3.87  
Fujisash Co., Ltd, Tokyo: 3.4, p.126, 8.3, p.242  
Gemeente Den Haag, Fotografische Dienst: 4.4.16, p.229  
Gemeente Archief, Den Haag: 9.24  
Glaverbel, Brussel: 5.11, 5.12, 5.76  
Glaverned, Tiel: 5.10  
Hermeta, Asperen: 2.18  
Herzog & de Meuron, Basel: 5.21B  
Hueck, Oud Gastel: p.231  
Hurks Inducon, Veldhoven: 7.1.23  
Ingenhoven, Overdiek und Partner, Düsseldorf: p.10, 1.44, 9.5, 9.19, 9.20  
James Carpenter Design Associates, New York: 5.22, 5.23  
Jean Nouvel Architectures, Parijs: 9.25  
JSMA, Tokyo: 7.1.17  
Josef Gartner & Co., Gundelfingen/Heerten: 1.28, 1.37, 1.43, 4.2.1, 4.4.18, 6.41, 6.42, 8.1, 9.15, p.186, p.190, p.218, p.225, p.242, p.244  
Kawneer Europe, Maastricht: 2.24, 3.61, 4.1.7, 4.3.4  
Kloosterman, Heereveen: 1.36, p.106, 7.2.10  
MBM Metallbau GmbH, Möckmühl: 5.96, 6.70, 9.22  
Mediatheek Faculteit der Bouwkunde, TU Delft: p.59, 1.1, 1.8, 1.9, 1.10, 1.11, 1.14, 1.17, 1.19, 1.20, 1.21, 1.24, 1.26, 1.32, 1.41, 3.56, 3.105, 4.2.10, 5.2, 5.26, 5.93, 6.2, 6.3  
Micone, Tilburg: 4.4.20  
Mohrman & Co, Leeuwarden: 1.35  
Nederlandse Glasbond, Gouda: 5.6, 5.7, 5.8, 5.72  
Nicolas Grimshaw & Partners, Londen: 3.104, 5.74  
Sir Norman Foster and Partners, Londen: 5.30, 6.33, 9.6  
Octatube, Delft: 3.36, 3.100, 3.101, 3.109, 3.116, 5.27, 5.31, 5.55, 5.69, 5.71, 5.91, 8.8  
Okalux Kapillarglas GmbH, Marktheidenfeld-Altfield: 5.42, 5.59  
Oskomera, Deurne: 3.122, 6.11, 6.30, 6.58, 7.1.19, 7.2.7, 8.9  
Pilkington Glass Limited, St Helens: 5.40, 6.34  
REWA, Budel: 6.25  
Reynaers, Schijndel: 1.39, 4.0.1, 4.2.9  
Reynolds Aluminium Holland, Harderwijk: 2.23, 4.1.18, 4.1.24, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.8, 6.57  
Reynolds Architectuursystemen, Harderwijk: 6.57, p.230 links, 7.1.24, omslagfoto.  
Rijksgebouwendienst, Den Haag: 2.25, 4.1.1, 4.2.19  
Saint Roch, Nieuwegein: 3.15, 6.4  
Sankyo Aluminium Industry Co., Tokyo: 5.94  
Scheldebouw - Permasteelisa, Middelburg/San Vendemiano: p.58, 3.34, 3.75, 7.1.20, 7.2.6, p.203, p.230 rechts  
Schüco International KG, Bielefeld: p.55, p.158, 2.15, 3.82, 4.4.9, 5.24, 5.98, 6.39, 7.1.18, 7.2.8

#### Reproducties uit:

Button D, Pey B. Glass in Buildings: 5.54, 5.67, 5.70, 5.73, 5.75, 6.34  
Hatje G. Gewächshäuser und Wintergärten: 3.88  
Hartmann, Kristiana, Bollerey F. 200 Jahre Architektur Dokumente: 1.12  
Peters, Paulhans. Architektur und Angewandte Technologie: 6.43  
Simmen, Jeannot, Drepper U. Der Fahrstuhl, die Geschichte der vertikalen Eroberung: 1.13  
Technet, Yokohama: 6.53

#### Fotograaf:

Bakker F, Emmeloord: 6.57  
Bresser, J de, Helmond: 6.58  
Bock de, Hoofddorp: p.8  
Borel N, Parijs: 9.25  
Bruyns H, Heereveen: 1.35  
Croce & Wir: 3.58  
Dam F van, Utrecht: 4.4.13, 6.40  
Davies R: 5.30B, 6.33  
Delbeck M, Tedeschino M, Dortmund: p.45  
Denancé M: 3.83, 8.4, 8.7, 9.3, 9.7  
Eberspächer J, Esslingen: 6.69  
Fessy G: 3.55, 9.16  
Fischer W: 6.21  
Hesse van, Bunschoten: 4.1.18  
Karsten F, Londen: 1.16, 3.89  
Kate JT ten, Delft: 5.89  
Keuzekamp F, TU Delft: 4.2.10  
Knauf H, Düsseldorf: p.10, 1.44, 9.5, 9.20  
Leistner D: 5.96, 9.22  
Martinelli A: 7.1.21, 9.2, 9.9  
Metelmann U: p.231  
Müller E, Kassel: 1.15  
Nijssse R, Velp: 3.67, 5.18, 7.2.9  
Onna N. van, Eindhoven: 7.1.23  
Oosterhout P. van: 4.4.16, p.229  
Reid J, Peck J: 5.74  
Renger-Patzsch A: 5.3  
Schulz H, Gundelfingen: 1.28, 1.37, 1.43, 4.2.1, 4.4.18, 8.1, 9.15, 9.19, 6.41, 6.42, p.190, p.225, p.242, p.244  
Spilluttini M, Wenen: 6.23A, 6.23B  
Stahl H, Keulen: 2.19, 2.21  
Waltl R, Basel: 5.21B  
TU Delft, Fotografische dienst: 3.109

#### Maquettebouwer:

Amalgam, Bristol: p.10, 1.44

#### Illustrator:

Krämer P: 9.20

Met dank aan de hoogleraren Mick Eekhout en Bas Menheere en de studentassistenten Atto Harsta, Gertrud Topper, Leo van Wingerden en Frank de Kok. De stuurgroëpieden: Antoon van Osch, Geek Vink, Carl van Amstel, Edgar van Ginkel, Wim van den Berg, André Tietz, Mick Eekhout. De redactiecommissie: Wim van den Berg, Hans Rutgers, Jan Willem Aardema. Alsmede aan de collega's en het secretariaat van de vakgroep Bouwtechnologie en de afdeling DFEZ van de Faculteit der Bouwkunde TU Delft, en het secretariaat van de VMRG. En aan Jeanne.

Tevens dank aan:

AAMA, Palatine, Illinois (USA)  
Aardema, Jan Willem  
Aliotti, Enzo  
Aluminium Centrum, Woerden  
Stichting Anodiseren, Zoetermeer  
Backer, Ivan de  
Bijlhouwer, Frans  
Brandsma, Bouwe  
Bremer, Monique  
Brouwer, Jan  
Bruijn, Joop de  
Bruinsma, Paul  
Bunnik, Ton  
Dubbelman, Mark  
Eschauzier, Frans  
Eyken, Felix van  
FAECF, Frankfurt  
Fujisash Co.,Ltd., Tokyo  
Gallet, Jacques  
Gartner, Frits  
Hartman, Jan-Willem  
Herbert, Karl Heinz  
Herwijnen, John van  
Heusler, Winfried  
Hillen, Leo  
Hofte, Paul  
Hubert, Rob  
Huijskens, Koos  
Iker, Jean  
Jansky, Peter  
Janzen, Miente  
JSMA, Tokyo  
Kinsbergen, Bas  
Kristinsson, Jøn  
Lefebure, Frank  
Linde, Bert van de  
Locher, Rudolf  
Mastenbroek, Frits  
Meij, Rob van der  
Meijers, Ed  
Mouwen, Guus  
Nakase, Junichi  
Nijssse, Rob  
Oosterwal, Sabien  
Pierik, Norman ten  
Renckens, Marleen  
Rutgers, Hans  
Santen, Cristina van  
Vasbinder, Edith  
Velde, Rein van de  
Verbeke, Frans  
Voorden, Marinus van der  
Wagemakers, Bert  
Wassink, Henk  
Wiertz, Cap

Woord, Jan van der  
Wattelet, Christian  
Willems, Tom  
Yamamoto, Hajimu

#### Hoofdsponsors:

Vereniging Metalen Ramen en Gevelbranche (VMRG), Nieuwegein  
Vereniging Aluminium Systeemleveranciers (VAS), Woerden

#### Sponsors:

AGN, Oosterbeek  
A.S.W. Aluminiumindustrie Schoenmaekers-Wolters, Weert  
Balak Coatings, Overpelt (B)  
Blitta, Venray  
Boele van Eesteren, Den Haag  
Boon, Edam  
Architectenbureau van den Broek en Bakema, Rotterdam  
van Campen Bending Technics, Lelystad  
Crown Advertising, Driebergen  
Deege Groep, Etten-Leur  
van Dool Constructies, De Lier  
Dow Corning, Brussel (B)  
Dura Bouwgroep, Rotterdam  
Figin, Gouda  
Josef Gartner & Co, Heerlen  
Josef Gartner & Co, Gundelfingen (D)  
Glasbond, Gouda  
Glascentrum Holst, Enschede  
GBP, Wanssum  
Hermeta Gevelbouw, Asperen  
A.G.M. Hofte, Amstelveen  
Hoogovens Wapeningstaal, Montfoort  
Hunter Douglas Europe, Rotterdam  
Hurks Inducon, Veldhoven  
Innova Produktie, Honselersdijk  
Kimmenade, Helmond  
Liefink Ramen, Alphen a/d Rijn  
Lokal Aluminiumbouw, Beverwijk  
Metalen Ramen MHB, Herveld  
Mohrmann & Co., Leeuwarden  
NIGF, Gouda  
Nyva, Nijmegen  
Oskomera, Deurne  
Permasteelisa, San Vendimiano (I)  
Rockpanel, Roermond  
Saint Roch, Nieuwegein  
Scheldebouw, Middelburg  
Schüco International, Bielefeld (D)  
S.K.G., de Meern  
H.G. van Veldhuisen, Lunteren  
Metaalbouw Vogt, Kerkrade  
De Vries Robbé Gevelbouw, Gorinchem  
Widam Aluminiumbouw, Hoorn  
Wijnveen Aluminium-Staalbouw, Wageningen

Met dank aan  
Sponsors



**Leden van de hoofdsponsor VMRG:**

Aluminium Bouw Boxmeer, Nijmegen  
Aluminium Kozijn Techniek Weert, Weert  
Alcast, Castenray  
Alfa Best, Best  
Alhako, Stramproy  
Alisco, Best  
Almiko, Wolphaartsdijk  
Alraf, Ter Apel  
Alsti Geveltechniek, Papendrecht  
Alukon Zeeland, Middelburg  
Alukwa, Nieuw-Vennep  
Aluminiumbouw Nijmegen, Nijmegen  
Alusta, Etten-Leur  
Alustakon, Haarlem  
Aluverre Gevelbouw, Hardinxveld-Giessendam  
Aluvo, Nieuwleusen  
Anzo, 's-Heerenberg  
A.S.E. Aluminium en Staalindustrie, Hoogeveen  
A.S.W. Aluminiumindustrie Schoenmakers-Wolters, Weert  
H. Baars, Utrecht  
Bakkenes Alubouw, Den Helder  
Bennis-Arnhem, Arnhem  
Bettenhaussen Nieuwkoop, Alphen a/d Rijn  
Blitta, Venray  
Boertjes Aluminium & Kunststof, Hattem  
Metaalbouw Börger, Stadskanaal  
J. Buijse en Zn, Zwijndrecht  
Van Campen Bending Technics, Lelystad  
Compri-Aluminium Projektbouw, Zwijndrecht  
Cornelisse, Heemskerk  
J.M. van Delft + Zn., Drunen  
Van Delft Aluminium, Drunen  
Derks en Zn., Harmelen  
Aluminium Constructies Van Dijk, Lunteren  
Van Dool Constructies, De Lier  
Duzoned Konstrukties, Leeuwarden  
Einmahl, Vaals  
Eland-Brandt, Amsterdam  
Eldee, Hilvarenbeek  
Entropal, Geldermalsen  
Frontteam, Almelo  
Josef Gartner & Co Nederland, Heerlen  
Giepmans, Eindhoven  
Glasframe, Bommel  
Gorter, Wormerveer  
Groenewegen Aluminiumwerken, Schiedam  
De Groot & Visser, Gorinchem  
Hendriks Aluminium, Veenendaal  
Konstruktiebedrijf, Westervoort  
Van Hengstum, Houten  
Hermeta Gevelbouw, Asperen  
Hoefnagels en Janssen-Wayers, Tilburg  
Van Hoesel, Goirle  
Fa. Van 't Hof Aluminium, Tholen  
Hurks Inducon, Veldhoven  
Van Iersel, Made  
Innova Produktie, Honselersdijk  
Intal, Geldermalsen  
Jazo Zevenaar, Zevenaar  
De Jong/Rutten, Tegelen  
Jonker Staal- en Aluminiumbouw, Avenhorn  
Keers Konstruktiewerken, Mijdrecht  
M.C. Kersten, Amsterdam  
Kin Ramen, Dongen  
Kloosterman, Heerenveen

Kolf & Molijn, Emmeloord  
Komal Raam, Roosendaal  
Kremers Aluminium, Tilburg  
De Leeuw, Baarn  
Lief tink Ramen, Alphen a/d Rijn  
Lokal, Beverwijk  
Meta-Glas, Tiel  
M.H.B Metalen Ramen, Herveld  
Aluminiumbouw Michiels Ospel, Ospel  
Moeskops Constructiebedrijf, Bergeyk  
B. Mohrmann & Co., Leeuwarden  
Motaal Aluminium, Limmen  
NCS, Schijndel  
Nelissen Metaalindustrie, Tilburg  
Oskomera, Deurne  
De Oude IJssel, Terborg  
Pega Best, Best  
Peters Zonwering, Wijchen  
Ploojier, Zaandam  
Polybouw Aluminium, Rijssen  
Prokual, Weert  
Racon Apeldoorn, Apeldoorn  
Radeko Metaalbouw, Holwerd  
Rehamij, Doornenburg  
REWA, Budel  
Roalco, Apeldoorn  
De Rollecate, Staphorst  
Schaufeli Aluminium Constructies, Zelhem  
Scheldebouw, Middelburg  
Schipper Aluminium Produkten, Ede  
Serbo, Nijverdal  
Simal, Medemblik  
Slump-Fictorie Hoogeveen, Hoogeveen  
SMC, Tilburg  
Staalbouw Oldenzaal, Oldenzaal  
Surminski Aluminiumbouw, Horst  
Thermal, Roosendaal  
Th. Thoonen Nijmegen, Nijmegen  
Vadec, Tilburg  
Vebru Nederland, Den Haag  
H.G. van Veldhuisen, Lunteren  
Verlaco, Heerewaarden  
Vierhout, Den Haag  
Metaalbouw Vogt, Kerkrade  
De Vries Robbé Gevelbouw, Gorinchem  
Vugts Aluminium, Oisterwijk  
Widam Aluminiumbouw, Hoorn  
Wienalco, Tiel  
Wijnveen Aluminium-Staalbouw, Wageningen  
P.G. Willemsen, Rotterdam  
Zobeko Aluminium, Zoeterwoude  
Van Zonneveld Aluminium, Rijswijk  
Zuid-Nederlandse Ramenfabriek, Rucphen  
Aluminium- en Kunststofbedrijf Zuidland, Zuidland

**Leden van de hoofdsponsor VAS:**

Remi Claeys System, Udenhout  
Hueck Aluminium Profieltechniek Benelux, Oud Gastel  
Kawneer Europe, Maastricht  
Reynaers, Schijndel  
Reynolds Architectuursystemen, Harderwijk  
Wicon Benelux, Herentals (B)  
Aliplast Nederland, Mijdrecht

akoestisch comfort, 64  
 Alcoa-gebouw te Pittsburg, 20  
 alu-eco, 43  
 - initiatief, 246  
 alu-glasfaçade, 30, 48, 52  
 - bouw, 244  
 aluminium, 31  
 - corrosie, 40  
 - geschiedenis, 32  
 - gezondheid, 36  
 - grondstof-materiaal, 33  
 - hergebruik, 42  
 - legeringen, 36  
 - vliesgevel, 22, 23  
 Amerika, 22  
 amfoteer, 35  
 anodisch oxideren, 92  
 anodiseerbaarheid, 93  
 anodiseerlaag  
 - dun, 100  
 - kenmerken, 97  
 - lakafwerking, 95  
 - zelfkleurend, 95  
 anodiseren, 92  
 - flash, 100  
 - kleur, 95  
 - naturel of blank, 94  
 anti-graffitibehandeling, 124  
 - permanente afwerking, 124  
 - semi-permanente afwerking, 124  
 - zelfopofferende afwerking, 124  
 Arbo-wetgeving, 25, 125  
 architectuur van de gevel, 223  
 atrium, 194  
 - bouw, 24  
 - overkapping, 15  
 auto-industrie, 20  
  
 basisglasprodukt, 131  
 Bauhaus te Dessau, 18, 128  
 bauxiet, 33, 34  
 Bayer, K.J., 33  
 - proces, 33, 34  
 beglazing  
 - met variabele transmissie, 182  
 beglazingssysteem, 154, 161  
 Behrens, Peter, 18  
 beklimmingsmiddelen, 121  
 belasting  
 - door andere constructies, 214

Bogardus, James, 16  
 bootsmanstoel, 121  
 borosilicaatglas, 153  
 borstweringspanelen, 158, 159  
 Bouwbesluit, 25, 204  
 bouwecologie alu-eco, 246  
 bouw fysica, 60  
 bouwinitiatief, 220  
 bouwopleveringskwaliteit, 65  
 bouworganisatie, 219  
 bouwpartner, gevelbouwer, 222  
 bouwplaatsomstandigheden, 225  
 bouwproces, 220  
 bouwtechnische prestaties, 63  
 bouwtijd, 26, 225  
 brandeisen gesloten gedeelte, 208  
 brandgedrag, 75  
 brandoverslag, 210  
 brandveiligheid, 65  
 brandwerende beglazing, 153, 154  
 brandwerendheid borstwering/vlamscherm, 208, 209  
 Brinkman, Michiel, 18  
 brise-soleil, 174  
 broeikas-effect, 24  
 brosheid, 89, 97  
 budget, 220  
 - verantwoordelijkheid, 231  
 buitenjaloerieën, 177  
 buitenscreendoek, 176  
 buitenzonregulering, 176  
 Von Bunsen, 32  
 Burton, Decimus, 15  
 Buijs, Jan, 19  
 Bijvoet, Bernard, 19  
  
 chemisch procédé, 139  
 Chicago, 10, 17  
 - School, 17  
 cilinderglasprocédé, 129  
 cohesie, 75  
 coilanodiseren, 113  
 coilcoaten, 113  
 - kwaliteitscontrole, 114  
 - mechanische bewerkingen, 114  
 - versus stuksgewijs coaten, 116  
 coilcoatmateriaal

- opzet, 209  
 contactgeluid, 155  
 continue gevel, 14  
 convectie, 143  
 - factor, 173, 199  
 coördinatieovereenkomst, 234  
 Le Corbusier, 18, 80, 171, 174  
 corrosievastheid, 61  
 Crystal Palace, 16, 128  
  
 daglicht, 133, 187, 198  
 - factor, 188, 199  
 - voorziening, 191  
 dagverlichting, 187  
 daklicht, 190  
 Davies, Mike, 239  
 Davy, Sir Humphrey, 32  
 definitief ontwerp, 221, 226, 227  
 Delftse Poort te Rotterdam, 29  
 delfstof, 33  
 Deville, Henry Sainte-Claire, 32  
 diafragma in spouw, 184  
 dichroïsch glas, 135  
 dilatatie, 62  
 dissertatieonderzoek, 12  
 dompelprocédé, 139  
 doorbuiging, 214  
 - over de lengte van een glasruit (horizontaal), 216  
 - van regels (verticaal), 216  
 - van stijlen en regels (horizontaal), 216  
 draadglas, 151, 153  
 - procédé, 132  
 drukvereffening, 53, 64  
 dubbele  
 - afdichting, 70  
 - glasgevel, 30  
 dubbelglas, 143  
 Duiker, Johannes, 19  
 duurzaam bouwen, 242, 246  
 duurzaamheid, 65  
 duurzame  
 - façade, 243  
 - ontwikkeling, 237  
  
 Eekhout, Mick, 81  
 electromagnetische shielding, 152  
 elektrochrom glas, 142  
 elektrolyseproces, 20, 33

- eisen, 60, 111  
 - regenjas, 53  
 etsen, 136  
 Europa, 22  
 extruderen, 39  
  
 fabricage, 226, 229  
 façade, 30  
 - bouw fysica, 201  
 - brand- en bliksembeveiliging, 208  
 - geluid, 206  
 - passief, 235  
 - reactief, 235  
 - systemen, schema, 46, 47  
 - statica, 201, 211  
 - toetsingscriteria, 214  
 - trends en ontwikkelingen, 243  
 - warmte, 202  
 Faguswerk te Alfeld, 18, 128  
 field glazing, 69  
 figuurdraadglas, 132  
 figuurglas, 136, 137  
 - procédé, 131  
 filiforme corrosie, 42  
 flankerende geluidsoverdracht, 208  
 flexibele façade, 243  
 floatglas, 10, 131  
 - eigenschappen, 132  
 - procédé, 131  
 Foster, Sir Norman, 80  
 fototroop glas, 142  
 fotovoltaïsche  
 - cel, 178, 240  
 - systeem, 195  
 - zonregulering, 179  
 Fourcault, Emile, 130  
 functioneel aanpasbare façade, 243  
  
 Galerie d'Orléans te Parijs, 15  
 Galleria Vittorio Emanuele II te Milaan, 15  
 galvanische corrosie, 41  
 garantie, 227  
 - termijn, 230, 234  
 gasvulling in spouw, 144  
 gatvullende componenten, 51  
 gebogen glas, 162  
 gebouw  
 - beheerssysteem, 239  
 - draagconstructie, 60

- geometrie, 118  
 gebruiksfase, 244  
 gebruiksgerechtigdheid, 11  
 gebruiksvastheid, 65  
 gecoat glas, 71  
 geëmailleerd glas, 71  
 geëmailleerde beglazing, 140  
 gegoten glas, 131  
 gekleurd gekristalliseerd glas, 165  
 gelaagd(e)  
 - gevel, 244  
 - gewapend glas, 153  
 - glas, 71, 151  
 - glas met polycarbonaat, 151  
 - glas met pvb-folie, 151  
 gelamineerd(e)  
 - glas, 152  
 - wandcomponenten, 239  
 geleiding, 143  
 geluidsisolatie, 207  
 - van beglazing, 207  
 - van glas, 156  
 geluidsoverdracht, flankerende, 208  
 geluidsproductie van de gevel, 208  
 geluidswering  
 - bepaling, 207  
 - eisen, 206  
 gelijmd glas, 71  
 genomineerde  
 - gevelbouwer, 231  
 - onderaannemer, 232, 233  
 geperforeerde vaste componenten, 186  
 Gerssen, Peter, 25, 68  
 geschroefde beglazing, 63  
 gescreende beglazing, 140, 182  
 gevel, niet-dragende, 10  
 gevelbestek, 226  
 gevelbouw  
 - Japanse, 21  
 - proces, 222, 225, 227  
 - wijze (indeling), 56  
 gevelbouwer  
 - aannemer, 233  
 - begroter, 231  
 - bouwpartner, 222  
 - constructeur-adviseur, 231  
 - contractpartner, 233

- fabrikant, 232
- hoofdtaken, 231
- onderaannemer, 233
- gevelconcepten, nieuwe, 236
- gevelconstructie, 119
- gevel-en-klimaatbenadering, 237
- gevelfuncties, indeling, 58
- gevelmateriaalkeuze, indeling, 61
- gevelopbouw, indeling, 52
- gevelpositie, 119
- gevelreiniging, 65
- gevelrenovatiesysteem, 69
- gevelvorm, 118
- gietharslaminaat, 156
- gietlegering, 36
- gietproces, 130
- glansgraad, 105
- Glare-index, 137
- glas, 127
  - aantasting, 157
  - architectuur, 15, 24, 128
  - basiseigenschappen, 166
  - bevestigingsknooppunt, 85
  - bezwijkgrens, 89
  - blaasstechniek, 128
  - blazen, 129
  - als borstwering, 158
  - brand, 153, 161
  - brosheid, 89
  - constructiemateriaal, 88
  - constructieve functie, 81
  - dak, 56, 160
  - in daken, 160
  - dikte, 156
  - duurzaamheid, 157
  - epoxy-gelamineerd, 84
  - extra blank, 83
  - folie, 140
  - formaat, 154
  - gecombineerde verbinding, 86
  - met geïntegreerde zonregulering, 141
  - met gel, 154
  - geluid, 155
  - gevel, 160
  - hergebruik, 167
  - met hologram, 189
  - industrie, 24
  - keuze, 70
  - klemlijsten, 154
  - kleur, 136
  - latten, 154
  - in-lood, 15, 128
  - in-de-massa-gekleurd, 128, 181
  - materiaalmoetheid, 89
  - milieu, 167
  - ondersteuning, 72
  - oppervlaktebehandeling, 158
  - met opschuimende lagen, 154
  - opslag, 158
  - paneel, 83
  - platen, industrieel vervaardigen, 10
  - prestaties, 132
  - producten, 162
  - productie, 131
  - productie, geschiedenis, 129
  - pvb-gelamineerd, 84
  - sterkte, 78, 148, 160
  - stijfheid, 160
  - technologie, 14
  - theoretische treksterkte, 148
  - trends en ontwikkelingen, 165
  - met variabele transmissie, 141
  - veiligheid, 89, 150, 161
  - veredeling, 166
  - warmte, 143
- glascoatingapplicatie
  - chemisch procédé, 139
  - dompelprocédé, 139
  - hoogvacuüm methode, 140
  - kathodeverstuiving, 140
  - pyrolyse, 139
  - vacuüm methode, 140
- glasfaçade, 12, 30
  - begrip, 30
  - constructief verkit, 66, 82
  - ontwikkeling, 13
  - puntvormig bevestigd, 78, 82, 83
  - semi-constructief, 83
- glasgevel
  - derde generatie, 28
  - stalen, 18
- glasoppervlak
  - emailprint, 136
  - etsen, 136
  - figuurglas, 136
  - zandstralen, 136
- glasrand
  - asymmetrisch, 72
  - symmetrisch, 72
- glasverbinding
  - constructieve aspecten, 86
  - roterend, 86
  - scharnierend, 86
  - star of stijf, 86
- glasveredeling, 131
- glasvezelmat, 134
- glazen
  - bouwstenen, 163
  - overkapping, 160
  - stabilisatoren, 87
  - u-profielen, 165
- glazenwasinstallatie, 119
- Gobbe, Emille, 129
- gordijngewel, 14, 30, 48
- groene zonregulering, 179
- grootte van bouwwerk, 225
- Gropius, Walter, 18, 128
- GUM te Moskou, 15
- Gundelfingen, 187
- haalbaarheidsstudie, 220
- half voorgespannen glas, 71
- Hall, Charles M., 33
- Hall-Héroutproces, 34
- Haller, Bruno en Fritz, 21
- handelsysteem, 49, 58
- hangbakgeleiderails, 118
- hangerprofiel, 68, 72
- hangladder, 121
- harden - verticaal, 149
- hardheid, 97
- Harper Publishing House te New York, 16
- heat-soak-test, 149
- heat-strengthened, 149
- hechting, 97
- helderheid, 199
- heliostaat, 188, 191
- heliende gevels en daken, 70
- Hentrich, Helmut, 21
- herbruikbaarheid, 35
- hergebruikfaçade, 243
- hergebruikswaarde, 246
- Hérout, Paul T., 33
- hiërarchie van bouwprodukt, 246
- HOE, 189
- hoekverbinding, 21
- holografische film, 186
- hologram, 134, 188
- holographic optical element, 189
- hoofddraagconstructie, 60
- hydrogel, 141
- in-de-massa-gekleurd floatglas, 71
- in-de-massa-gekleurd glas, 138, 181
- industrialisatie van de bouw, 232
- infraroodstraling, 137, 171
- initiatief, 220
- inklemmingsmomenten, 86
- inkooppost, 233
- inkoopprocedure, 225
- innovatieve constructies, 231
- innoverende gevelconcepten, 236
- inspecties, 230
- instandhouding van de gevel, 234
- integraalproces, 95
- intelligente façade, 239
- interferentiekleuring, 95
- interkristallijne corrosie, 41
- intervalfaçade, 237
- inverter, 196
- inwendige waterafvoer, 70
- ISO-9000-reeks, 26
- isolerende beglazing, 143
- jaloerieën, 186
  - in isolatieglas, 183
- Jenny, William le Baron, 17
- Johnson, Philip, 19
- kalkglas, 132
- kassenbouw, 15
- kathodeverstuiving, 140
- keramische tegels, 28
- kernsysteem, 58, 59
- kit, 74
  - applicatie, 74
  - keuze, 74
- klemlijsten, 154
- kleur van glas, 136
- kleuranodiseren, 95
- kleurproces, elektrolytisch, 95
- kleurweergave-index, 199
- klimaatactieve interface, 244
- klimaatfaçade, 54, 183, 237, 238
- klimaatgevel, 24, 30, 54, 238
- klimaatraam, 24, 183
- klimaatstroken, 54
- kneedlegering, 36
- knikarmschermen, 176
- knooppunt, 82, 85, 87
- kooi van Faraday, 152
- kostprijsbepaling, 232
- koudebrugonderbrekingen, 60
- koud-gebogen glas, 163
- koude gevel, 159
- koudespouwfaçade, 48, 52
- kwaliiteitsbeheersing, 57
- kwaliiteitsborging, 26, 100
- kwartsglas, 132
- laagdikte, 98
  - tabel, 110
- ladder, 56
- lakherstel, 112
- lakonderhoud, 112
- laksoort, 105, 113
- lamineren, 156
- Lansink, 246
  - ladder van, 246
- leasen, 27
- legeringsbestanddelen, 38
- levensduur, 65
- levensketenbeheer, 237
- Libbey Owensysteem, 130
- licht, 198
- lichtdoorlatende folie, hoek-afhankelijk, 135
- lichte gevels, systematiek, 49
- lichtreflectie, 135
  - coëfficiënt, 199
  - factor, 133
- lichtreflector, 189
- lichtregulerend systeem, 170, 188
- lichtregulering, 65, 134, 187
- lichtstraat, 190
- lichtstroom, 187, 197
- lichttoetredingsfactor, 173
- lichttransmissie, 135
- lift, elektrische, 10
- light-pipe, 188
- light-shelve, 189
- Liquid-Crystal-beglazing, 142
- logistiek, 29
- Loudon, J.C., 79
- Low-E-coating, 28, 141
- Low Emissivity coating, 144
- LTA-waarde, 133
- lichtdoorlatendheid, 63
  - test, 203
- luchtgeluid, 155
  - isolatie van dubbelglas, 156
  - isolatie van enkelglas, 156
  - isolatie van gelamineerd glas, 156
- luiik, 178
- luminantie, 137, 199
- maatwerk, 51, 58
- Maisson de Verre te Parijs, 163
- markiezen, 176
- matrijs, 40
- mechanische borging, 68
- mediafaçade, 240, 242
- Mies van der Rohe, Ludwig, 18, 66, 80, 128
- milieu
  - agressieve gebieden in Nederland, 93
  - aspecten, 246
  - belasting, 246
  - besef, 236
  - bewust, 27
  - eisen, 11
  - profiel, 246
  - taakstelling, 246
- moffellak, 102
  - glansgraad, 104
  - proces, 105
  - voorbehandeling, 104
- montage, 226, 230
  - tijd, 57
- Van Mourik Vermeulen, 25, 68
- Muziektheater te Den Haag, 68
- nachtkoeling, 240
- natlakken, elektroforetisch, 106
- natlaksysteemopbouw, 106
- natuursteen, 28
  - gevel, 28
- Nehou, Lucas de, 130
- Van Nelle Fabriek te Rotterdam, 18
- nevenaannemer, 232, 234
- niet-dragende lichtgewicht gevelconstructie, 63
- niet-thermisch veredeldbare legering, 36
- notatie van aluminium, 38
- Oersted, Hans Christian, 32
- omvormen, 39
- onderaannemer, 232
- onderhoud
  - geanoniseerde gevels, 101
  - reinigings, 117
  - termijn, 230
- ontwerp, 227
  - levensduur, 243
- onzuivere alu-glasfaçade, 48, 52
- Oostbloklanden, 29
- opacificer, 71, 159
- opalineglas, 134
- open beglazingssysteem, 161
- oplevering, 227, 230
  - van de gevel, 234
- oppervlaktebehandeling, 91
- opslag, 116
- optische bewerking, 98
- Otis, 17
- Palmenhuis te Kew, 15
- passieve zonbenutting, 191
- patentroedensysteem, 161
- Paxton, Sir Joseph, 16, 128
- perceptie van glas, 135
- permanente
  - afwerking, 124
  - belasting, 64
- Petschnigg, Hubert, 21
- Pilkington, 130, 131
- Pittsburghsysteem, 130



- plantenkassen, 79  
 poederlakken, 107  
 polycarbonaat, 151  
 polyester TGIC, 108  
 polymeriseren, 74  
 polyvalente gevel, 239  
 porositeit, 97  
 prefabricage, 20  
 prestatie  
 - bestek, 223  
 - eisen, 223  
 - periode, 65  
 prestaties van de alu-glas-  
 façade, 63  
 prisma, 186, 188  
 prismatisch(e)  
 - geslepen glas, 134  
 - elementen, 134  
 - lamellen, 190  
 procesbeheersing, 100  
 produkt aansprakelijkheid, 125  
 produktieschroot, 43  
 profiel, 40  
 - systematiek, 58  
 project  
 - definitie, 221  
 - ontwikkelaars, 24, 26  
 - systeem, 49  
 Prouvé, Jean, 19  
 prijs  
 - kwaliteitsverhouding, 231  
 - vorming, 221, 225, 226,  
 228  
 psychologische veiligheid, 90  
 puí, 51  
 puntvormig bevestigde glas-  
 façade, 66  
 PV  
 - cellen, 195  
 - systeem, 195  
 PVDF-laksysteem, 109  
 Pyran, 153  
 pyrolytische coating, 140  
 pyrolyse, 139  
 raamprofiel, 147  
 radar  
 - absorberende beglazing,  
 152  
 - demping, 152  
 randafdichting, 74, 147  
 randverbinding, 146  
 reactieve façade, 243  
 realisatiefase, 231  
 recycling  
 - aluminium, 43  
 - proces, 246  
 - producten, 43  
 - schroot, 43  
 - voorwaarden, 244  
 reflecterende beglazing, 139,  
 182  
 - halfharde coating, 139  
 - harde coating, 139  
 - zachte coating, 139  
 reflecterende lamellen, 134,  
 190  
 reflectie, 133  
 - diffuus, 133  
 - factor, 199  
 - gespreid, 133  
 - spiegelend, 133  
 reinigingscontrole-indicator,  
 125  
 reinigingsinstallatie, 121  
 reinigingsonderhoud, 77, 91,  
 116, 117, 230  
 - aandachtspunten, 117  
 - gebouwgeometrie, 118  
 - gevelconstructie, 119  
 - gevelmaterialen, 119  
 - gevelpositie, 119  
 - gevelvorm, 118  
 - hangbakgeleiderails, 118  
 - inspectie, 123  
 - lokatie, 119  
 - milieu-eisen, 122  
 - ontwikkelingen, 125  
 - uitvoering, 123  
 - veiligheid, 122  
 - vervuilingssnelheid, 118  
 relatieve zontoetredingsfactor,  
 138, 199  
 Rembrandt Tower te  
 Amsterdam, 29  
 remelt  
 - aluminium, 43  
 - bedrijven, 43  
 rendement van zonregulering,  
 177  
 renovatieprojecten, 60  
 reparatie van lakwerk, 116  
 Rice, Francis and Ritchie, 80  
 rolgordijn, 186  
 rolluik, 178  
 rolscherm, 176  
 rooster, 179  
 ruimtetemperatuur, 192  
 Rijksgebouwendienst, 27  
 samengestelde panelen, 62  
 sandwichpaneel, 159  
 Saulnier, Jules, 17  
 Schaal, 14  
 schuifbaar luik, 178  
 schuine glasgevel, 160  
 schijfenglas, 129  
 screen in glasspouw, 184  
 screen, 186  
 Seagram Building te  
 New York, 19  
 selectiviteitsindex, 173, 199  
 semi-permanente afwerking,  
 124  
 sensor, 239  
 serre, 192  
 shading-coëfficiënt, 138  
 shadow box, 160  
 sick building syndrome (SBS),  
 25, 170, 236  
 silicaatglas, 132, 133  
 siliconenkit, 72, 74  
 - eencomponent, 74  
 - tweecomponenten, 74  
 skeletbouw, 10, 14  
 skelethoogbouw, 10  
 sloop-schroot, 43  
 spanningscorrosie, 41  
 spectrale ooggevoeligheid,  
 199  
 spiegel draadglas, 153  
 spiegel effecten, 181  
 spiegelglas, 130  
 spiegelingshinder, 199  
 spiegellamellen, 184, 190  
 spleetcorrosie, 41  
 sponningmateriaal, 154  
 spouwbreedte, 156, 157  
 spouwmuurcompartimentering,  
 145  
 staal-en-glasbouw, 14  
 stabiliteit, 63  
 - constructie, 83  
 statica, 59  
 stationoverkapping, 15  
 Steiff, Richard, 18  
 stelpost, 233  
 sterkte, 214  
 stootbelasting, 214  
 straling  
 - diffuse, 172  
 - directe, 172  
 - geabsorbeerde, 172  
 - gereflecteerde, 172  
 - globale, 172  
 - infrarood, 172  
 - kortgolvig, 171  
 - ultraviolet, 171, 172  
 - zichtbaar, 171, 172  
 stralingsintensiteit, 172, 197  
 structural sealant glazing, 66  
 structurele beglazing, 66, 161  
 structuurontwerp, 221, 225,  
 227  
 stuwdruk  
 - bepaling extreme waarde,  
 212  
 - verdeling, 213  
 stijl-en-regelwerk, 14, 48, 56  
 substraat, 113  
 Sullivan, Louis, 17  
 supercomponenten, 57  
 systeem  
 - huis, 231  
 - keuze, 49  
 - ontwikkelaars, 23, 25  
 - producenten, 29  
 Taut, Bruno, 79  
 technische levensduur, 65  
 tectoniek, 63  
 testmethoden, 101, 110  
 thermisch(e)  
 - isolatie, 143  
 - isolator, 23  
 - spanning, 150  
 - veredelbare legering, 36  
 thermochroom glas, 141  
 thermotroop glas, 141  
 toleranties, 62  
 toonaarde, 32  
 translucient isolatiemateriaal,  
 134, 145, 189  
 transmissie, 133  
 transparantie, 80  
 trekspannen, 88  
 troebelheidsfactor, 197  
 Trömbeggevel, 194  
 Trömbemuur, 194  
 Trömbewand, 240  
 Turner, Richard, 15  
 tweedehuidfaçade, 55, 183,  
 237, 238  
 Tweede Nationaal  
 Milieubeleidsplan, 246  
 tweefasenzwavelzuurproces, 99  
 tweezijdig constructief verkitte  
 glasfaçade, 69  
 Twin-procédé, 131  
 uitvalschermen, 176  
 uitzettingscoëfficiënt, 61, 74  
 ultraviolet, 171  
 uniciteit van bouwwerk, 223  
 UV-bestendigheid, 72  
 U-waarde, 143  
 vacuümbeglazing, 146  
 vast(e)  
 - buitenzonregulering, 179  
 - zonreguleringsystemen,  
 174  
 veiligheidsbeglazing, 56  
 vensterglas, 129  
 ventilatie, 64  
 - voorschriften, 207  
 verbinding  
 - chemisch, 85  
 - gecombineerd, 86  
 - mechanisch, 85  
 verblinding, 137  
 verblindingshinder, 199  
 verdichte façade, 236, 237,  
 238  
 verenigbaarheid, 69, 72  
 verlichtingssterkte, 199  
 Verre Oosten, 22  
 vervuiling meetmethode, 125  
 vervuilingssnelheid, 118  
 vierzijdig constructief verkitte  
 glasfaçade, 69  
 visuele beleving, 65  
 vlakvulling, 56, 61  
 vliesgevel, 14, 48  
 - van 1950-1973, alu-  
 minium, 19  
 - van 1950-1973, stalen, 19  
 Van der Vlugt, Leendert, 18  
 voeg  
 - afwerking, 73  
 - berubberd, 73  
 - gekit, 73  
 - open, 73  
 volledig voorgespannen glas,  
 71  
 voorbereiding, 98  
 voorgespannen glas, 150, 154  
 voorlopig ontwerp, 221, 226,  
 227  
 voorspannen  
 - chemisch, 148  
 - half, 149  
 - thermisch, 148  
 vouwarschermen, 176  
 vraagspecificatie, 223  
 walsen, 39  
 warme gevel, 159  
 Wärmeschutzverordnung, 28,  
 143  
 warmespouwfaçade, 48, 53  
 warmteaccumulatie, 199  
 warmtedoorgangcoëfficiënt,  
 143, 203  
 warmtetransmissie, 202  
 warmteverlies, 143, 203  
 warmteweerstand, 143  
 warmtewering, 173  
 waterdichtheid, 63, 64  
 waterzuiveringsinstallaties,  
 100  
 weathorseal, 74  
 Weidinger, 14  
 wereldtentoonstelling, 15  
 werkvoorbereiding, 226, 229  
 Willis, Faber and Dumas-  
 gebouw te Ipswich, 80  
 Wilm, Alfred, 33  
 windbelasting, 64, 74, 212  
 winddichtheid, 64  
 windvormfactor, 213  
 Wöhler, Friedrich, 20  
 zandstralen, 136  
 zeefdrukprint, 136, 141  
 zelfopofferende afwerking,  
 124  
 zichtbare straling, 171  
 zonbeheersende beglazing,  
 150, 181  
 zonbeheersing, 137, 138, 162  
 zonbenutting, passief en  
 actief, 191  
 zonlicht, 198  
 zonneconstante, 197  
 zonne-energie, 171, 191, 194,  
 237  
 zonnepaneel, 195  
 zonnestraining, 171  
 - begrippen en definities,  
 197  
 zonnwarmteopslag, 194  
 zonreflecterende  
 - coating, 139  
 - folie, 182  
 zonregulering, 169, 170  
 - binnen, 184  
 - buiten, 175  
 - keuze, 173  
 - luchtpouw, 183  
 - trends en ontwikkelingen,  
 196  
 zontoetreding, 202  
 zontoetredingsfactor, 55, 138,  
 173  
 zonwering, 170  
 ZTA-waarde, 138  
 ZTR-waarde, 138  
 zuivere alu-glasfaçade, 48, 52  
 Zwolsche Algemeene te  
 Nieuwegein, 68