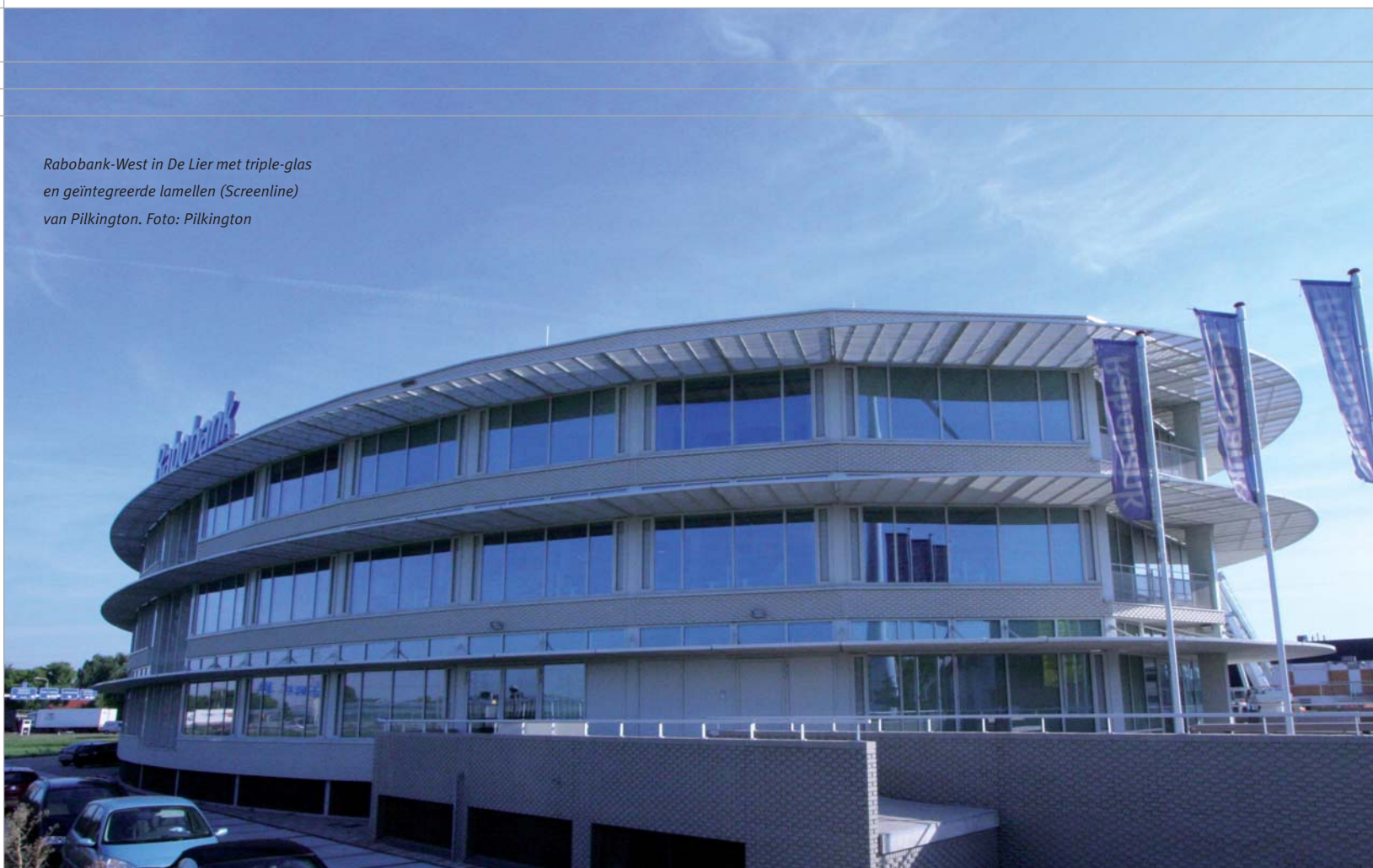


Triple-glas is hot, n

*Rabobank-West in De Lier met triple-glas
en geïntegreerde lamellen (Screenline)
van Pilkington. Foto: Pilkington*



Triple-glas is hot. Je kunt geen zichzelf respecterend nieuwbouwproject tegenkomen, dat energiebesparing centraal stelt, waarin het niet wordt toegepast. Toch zal, zo is de verwachting, driedubbelglas nooit zo populair worden als HR++ isolatieglas. En wie het wil toepassen of produceren, zal met een flink aantal aandachtspunten rekening moeten houden.

De vraag naar triple-glas in Nederland neemt toe, maar is tot op heden nog geen 10 procent van het totale aantal vierkante meter isolatieglas dat in ons land wordt toegepast. In landen om ons heen, met name in Scandi-

navië en Duitsland, is dit cijfer veel hoger: bij onze oosterburen is het marktaandeel van triple-glas 30 tot 40 procent en de verwachting is dat dit binnen enkele jaren de 50 procent zal passeren. Er zijn meerdere redenen voor

dit grote verschil: de belangrijkste is dat Duitsland naast algemene bouwvoorschriften ook productspecifieke eisen kent. U-raam, de maat voor de hoeveelheid warmteverlies van een compleet kozijn inclusief glas, is gesteld op 1,3 W/m²K. Die waarde is voor veel metalen kozijn-systemen alleen haalbaar met glas met een U-waarde (U-glas = Ug) van 1,0 of lager, afhankelijk van het kozijnstype. Ons Bouwbesluit kent louter prestatie-eisen, zoals op het gebied van isolatie de bekende energieprestatienorm; geen producteisen. Wel verwijst het Bouwbesluit naar een maximale U-waarde voor ramen en deuren, maar die is nog steeds 4,2 W/m²K en gaat naar verwachting naar maximaal 2,5 (gewoon dubbelglas haalt al 2,8).

, maar (nog) geen gemeengoed

Voordelen

Laten we beginnen met de voordelen van triple-glas in vergelijking tot 'gewoon' isolatieglas. Met isolerend dubbelglas is, zo is de algemene opvatting, maximaal een Ug-waarde van 1,0 haalbaar. Een Low-E coating op positie 3, Argon-gasvulling van de spouw en eventueel een thermisch onderbroken afstandhouder zijn hiertoe de belangrijkste ingrediënten. Triple-glas kan die waarde halveren met behulp van twee Low-E coatings op positie 2 en 5 (liever geen 3 en 5, verderop leggen we dit uit) en een dubbele met het dure Krypton gasgevulde spouw van 12 millimeter ($U_g = 0,5$). Dit kan ook met het meer gangbare Argon-gas, maar dan zijn de spouwen 18 millimeter breed zodat het pakket een totale dikte van 48 millimeter heeft (3x4 mm glas + 2x18 mm spouw). Op het nadeel, te veel drukopbouw bij een dergelijke spouwbreedte, komen we straks terug, maar dit zorgt er in ieder geval voor dat een spouw van twee maal 18 millimeter niet snel zal worden toegepast. Meer gangbaar zijn twee maal 14 en 12 millimeter in combinatie met Argon-gas en die halen een Ug-waarde van respectievelijk 0,6 en 0,7.

Naast de hoge isolatiewaarde heeft triple-glas ten opzichte van dubbelglas nog een voordeel. Door de dubbele spouw blijft de binnenste ruit stabiel qua temperatuur. Ook bij extreme weersomstandigheden en koude wind is er minder koudeval langs het raam en blijft de binnenruit warmer dan bij dubbelglas met dezelfde isolatiewaarde en dat geeft uiteindelijk meer comfort.

Triple biedt een veel betere isolatiewaarde dan dubbelglas en is in combinatie met andere energiezuinige maatregelen zeker de moeite waard. Echter het

direct inzichtelijk voordeel op de energierekening is maar gering. De hiervoor beschreven maximale Ug-waarden, 1,0 voor isolatieglas en 0,7 voor het meest gangbare type triple-glas (spouw 2x12), verschillen nauwelijks. Natuurlijk elke 0,10 die te winnen valt, lijkt vanuit het oogpunt van maximale isolatie de moeite waard, maar de werkelijke winst is minimaal. Voor een standaard woning, is met de stap van enkel- naar dubbel- en tegenwoordig HR++ glas jaarlijks circa 400 euro op de energierekening te besparen. Maar hier gaat het om sprongen voor Ug van 5,8 W/m²K naar 2,8 en uiteindelijk 1,2. De stap van 1,2 naar 0,7 of 0,6 is veel kleiner en levert maar een paar tientjes winst per jaar op. Het vervangen van het dubbelglas voor triple heeft dus alleen zin als dat gepaard gaat in combinatie met andere energiezuinige maatregelen. Ter illustratie: het plaatsen van triple-glas waarboven een gewoon ventilatierooster wordt geplaatst doet het voordeel al weer teniet. Pas met een gebalanceerd ventilatiesysteem heeft dit zin, maar vergeet dan ook niet de naden, kieren en aansluitingen van een bestaand kozijn te dichten.

Aandachtspunten

Naast de voordelen van de betere thermische isolatie is er ook een aantal aandachtspunten bij het toepassen van triple-glas. Een aantal voor de hand liggend, zoals extra gewicht en pakketdikte, maar ook punten die redelijk onderbelicht zijn, maar wel erg belangrijk voor juiste toepassing.

Gewicht

Een vanzelfsprekend aspect waar rekening mee moet worden gehouden, is een toename van het gewicht van het glas. Elke extra millimeter glasdikte is

een extra gewicht van 2,5 kg/m². Voor de dunste toevoeging van een 4 millimeter ruit moet je rekening houden met een extra gewicht van 10 kg/m². De zwaardere dimensionering dient meegenomen te worden in het hang- en sluitwerk. De extra benodigde sponningbreedte voor het glaspakket is door gaans voor aluminium en kunststof kozijnen geen probleem, maar in hout minder eenvoudig realiseerbaar.

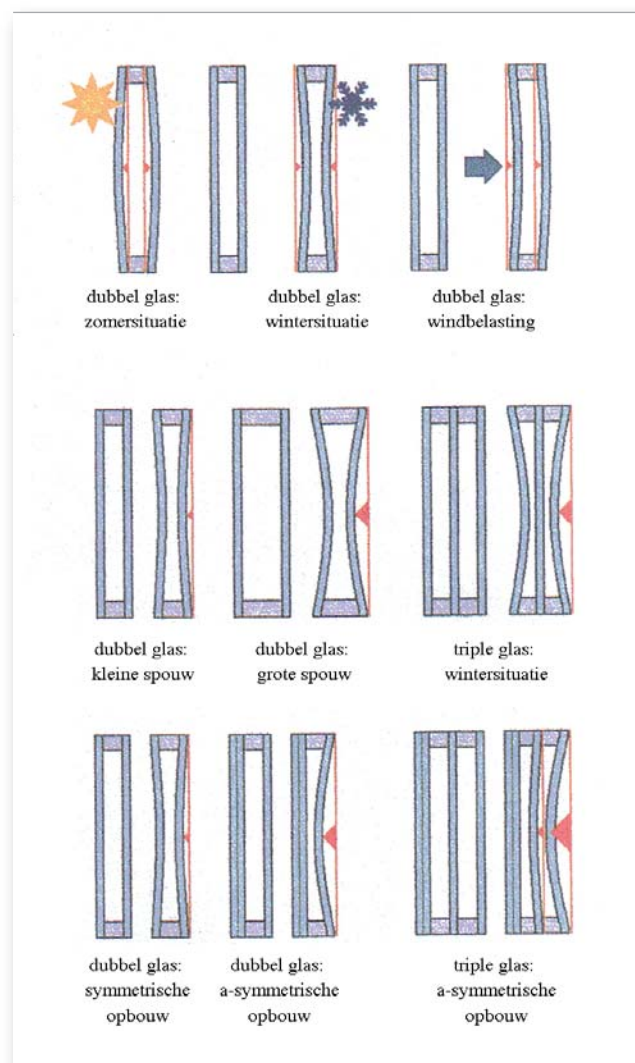
Licht en warmte

Het extra glas bij triple absorbeert ook extra licht en warmte waardoor de licht- en warmtedoorlaat afneemt. Voor een extra 4 millimeter ruit met Low-E coating neemt de licht- en warmtedoorlaat met ongeveer 10 procent af ten opzichte van dubbelglas.

Condens

Een ander verschijnsel is condensvorming. Condens ontstaat al bij HR++ glas, vooral in het voor- en najaar wanneer in de ochtend de lucht sneller opwarmt dan het glas en het aanwezige vocht in de lucht condenseert op het koude glasoppervlak. Maar door de nog betere thermische isolatie bij triple-glas zal dit effect eerder optreden, waardoor het aantal dagen dat de condensvorming optreedt, zal toenemen. Een typisch Nederlands fenomeen, want ons land kent een vochtiger klimaat dan bijvoorbeeld Duitsland. Uitsluiten is niet mogelijk al zijn er wel oplossingen, zoals het aanbrengen van een overstek boven het kozijn waardoor de koudeval afneemt; denk aan het effect van een carport bij een auto. Ook het gebruik van bepaalde coatingen helpt. De zelfreinigende coatingen Pilkington Activ en SGGS Bioclean hebben als bijkomende eigenschap dat zij hydrofiel zijn en het vocht als een soort filmlaag over de ruit ver- >>

› Triple-glas is hot, maar (nog) geen gemeengoed



Illustratie uit Glaswelt 04.2009, artikel 'Nicht gegen die Natur arbeiten' van prof. dr Franz Feldmeier. De werking van isochore druk bij dubbel- en triple-glas in zomer- en wintersituatie en in symmetrische en a-symmetrische opbouw. Ook de winddruk is opgenomen.

spreaden. Bij condens belemmeren de kleine druppels op het glas het doorzicht. Bij de bovengenoemde coatingen is er wel condens op de ruit aanwezig, maar zit het als een filmlaag op het glas, waardoor je beter doorzicht hebt (zie afbeelding) en het vocht sneller van de ruit af is. Dit accepteert men dan wel. En dit laatste is misschien wel het grootste probleem: in ons land is de consument in dit opzicht kritischer dan bijvoorbeeld in Duitsland en Scandinavië waar

condens op het glas vooral positief wordt ervaren als een teken van goed isoleren.

Isochore druk

Sommige belastingen, en daar zit hem de kneep, werken bij drievoudige beglazing sterker door dan bij dubbelglas. Omdat de tussenruimte tussen de glasbladen luchtdicht is afgesloten, zal het glas doorbuigen als gevolg van drukverschillen binnen en buiten de spouw. Deze drukverschillen treden op door een verschil in temperatuur en atmosfeer tussen het moment van hermetisch afsluiten van de ruit in de productie en de ruit gedurende de levensduur na plaatsing. Dit effect is zichtbaar als de vertekende spiegeling in het glas door het hol of bol staan van de glasbladen. Dit effect wordt wel de isochore druk genoemd.

De isochore druk is één van die aandachtspunten die onderbelicht is, maar wel grote gevolgen kan hebben. Door het krimpen of uitzetten van het luchtvolume in de spouw ontstaan er spanningen in zowel het glas als de randafdichting. Anders dan bij windbelasting waarbij de spanningen toenemen naarmate het glasoppervlak groter wordt, geldt juist voor de isochore druk dat grote ruiten er minder belast door worden. Een groot glasoppervlak kan namelijk meer doorbuigen om het verschil in spouwvolume op te vangen. Juist bij ruiten met een kleine afmeting kan het glas niet genoeg doorbuigen, waardoor er hoge spanningen kunnen optreden in het glas en de randafdichting.

Omdat de totale tussenruimte breder is dan bij gewoon dubbelglas werkt de isochore druk sterker door en de temperatuurverschillen kunnen hoger oplopen. In het algemeen kun je zeggen dat de

glasoppervlakken niet te klein en de tussenruimten niet te groot moeten worden gemaakt, goed advies in te winnen wanneer dat toch gebeurt en de glasplaten eventueel te harden (zie verderop onder 'Spanningen in het glas').

Randafdichting

Isolatieglas in een gebouw is altijd in beweging, niet alleen door de winddruk, maar ook door de continue wisselingen van temperatuur en druk. Geen probleem, die pompende bewegingen worden onder andere opgevangen door de randafdichting van het kader, die kan enige vervorming hebben en garandeert dat de spouw hermetisch afgesloten blijft. De glasindustrie kan om die reden de garantie geven dat het glas lange tijd intact blijft, 'luchtdicht'; in Nederland is die garantie tien jaar, in andere landen vijf.

Er is nog niet veel onderzoek gedaan naar het effect van de hogere pompende beweging op de levensduur van tripleglas. Op dit punt is er nog veel onduidelijk. Er zijn producenten die een verhoogde randafdichting hanteren en dat komt overeen met de aanbevelingen van de kitproducenten (maar die zullen altijd voorstander zijn van meer kit per ruit). Anderen leveren tripleglas zonder enige aanpassingen. De meeste fabrikanten hanteren echter standaard een hogere randafdichting. Voor dubbelglas met een standaard polysulfide randafdichting wordt doorgaans een randhoogte van 10 millimeter, 6,5 voor de hoogte van de afstandhouder en 3,5 rugdekking gehanteerd. Voor tripleglas wordt 5,5 millimeter rugdekking aangehouden, totaal dus 12 millimeter.

Een hogere randafdichting brengt ook een hogere sponninghoogte met zich mee. Met een omtrekspeeling van 5 milli-



meter en een standaard tolerantie van +3 millimeter voor de randafdichting, komt de sponninghoogte van het kozijn uit op 20 millimeter. Om zowel esthetische redenen, als vanwege de gevoeligheid van de randafdichting voor UV-licht, adviseren fabrikanten bij triple-glas dan ook een dergelijke sponninghoogte in plaats van de in de NPR 3577 voorgeschreven 17 millimeter voor dubbelglas, toe te passen. Let wel: dit ligt nergens vast.

Normen en richtlijnen

Het ontbreken van specifieke eisen en richtlijnen voor triple-glas zorgt ervoor dat er verschillen zijn tussen de diverse producenten. Er is momenteel wel een werkgroep van 'glasdeskundigen' die in samenwerking met Kiwa een BRL ontwikkelt, maar die is nog lang niet definitief. De werkgroep dient hierbij rekening te houden met de dubbel zolange garantieperiode die we in ons land kennen en loopt daarnaast tegen het feit aan dat ook de Europese productnorm voor isolatieglas (NEN-EN1279) eigenlijk alleen over dubbelglas gaat. Ook een inventarisatie bij alle KOMO-certificaathouders voor isolatie-



Triple-glas met
symmetrische
opbouw.

glas heeft niet tot eenduidige product-specificaties geleid. Toch is er veel draagvlak voor richtlijnen voor triple, al is het alleen al om te voorkomen dat door onwetendheid het product een slechte naam kan krijgen.

Spanning in het glas

De isochore druk heeft niet alleen invloed op de randafdichting, het kan ook spanningen in het glas zelf veroorzaken. Het glas gaat hol of bol staan, afhankelijk van de druk. Uit berekeningen en praktijkervaringen blijkt dat de spanningen in het glas kritiek worden bij ruiten met kleine afmetingen. Hier-

bij is de kleinste afmeting van de ruit bepalend, waarbij de hoogste spanningen door isochore druk optreden tussen de 400 en 600 millimeter. Zoals al eerder uitgelegd, kan het glas met deze afmeting niet voldoende doorbuigen om het verschil in spouwvolume op te vangen. Wordt de ruit dan ook nog asymmetrisch opgebouwd, qua glasdikte of spouwbreedte, dan zullen de spanningen in de zwakste ruit alleen maar toenemen.

Het is om die reden dat fabrikanten doorgaans een symmetrische opbouw adviseren op basis van drie ruiten van 4 millimeter dikte en met twee maal 12 millimeter spouw. Drie maal 3 millimeter glas wordt in landen als Polen al gevraagd, maar een dergelijke opbouw is kwetsbaar en heeft grote gevolgen voor productie, transport en plaatsing. De 3 millimeter ruiten zullen ook meer vertekenen, wat weer ongewenst is.

Over dit interessante onderwerp is in Duitsland veel gepubliceerd, maar er zijn nog geen definitieve testen die aantonen welke glassamenstelling in welke situatie het best functioneert. Isolatieglas is ook in dit opzicht een uniek bouw materiaal. Het fenomeen isochore druk is om die reden bijvoorbeeld ook >>

Het hoofdkantoor van het Wereld Natuur Fonds te Zeist is een CO₂-emissievrij gebouw, mede door Thermobel TRL, de drieboudige beglazing van AGC. Foto: AGC





› Triple-glas is hot, maar (nog) geen gemeengoed

opgenomen in de nieuwe NEN 2608, waarbij zelfs met een waarde voor de zomer en winter wordt gerekend. Naar de praktijk teruggerekend kan de isochore druk zo maar 1000 kg/m² zijn, echter omdat de afgesloten spouw naar mate het wordt ingedrukt steeds meer weerstand geeft (denk aan een leeg dicht colaflesje dat je probeert in te drukken), is het nog steeds mogelijk om met gangbare glasdiktes of gehard glas een oplossing te bieden. Volgens de nieuwe NEN 2608 hoeft bij ruiten met de kleinste afmeting (> 1000 mm) niet meer rekening te houden met spanningen in het glas door isochore druk. Echter, de norm kijkt alleen maar naar de spanningen in het glas en gaat voorbij aan de spanningen in de randafdichting.

De tussenruimte, spouwbreedte, is uiteraard van invloed op de isochore druk. De ervaring leert dat een spouw van twee maal 12 millimeter, met de meest gangbare glassamenstelling 4(12)4(12)4, geen problemen oplevert bij alle afmetingen. Met een dikkere spouw, twee maal 14 millimeter, kunnen de spanningen al kritiek worden bij ruiten met de kleinste afmeting 400-600 millimeter. Het gebruik van dikker glas of het gehard glas voor de binnen- en buitenruit is dan een optie. Nog een stap verder: een opbouw van 4(18)4(18)4 is al wel toegepast, maar bij de levensduur van randafdichting en glas worden door de industrie, zacht gezegd, vraagtekens gezet. Het maakt nog eens duidelijk dat heel veel kan met triple-glas, maar afhankelijk van de samenstelling en afmetingen de grens wordt bereikt van wat met glas mogelijk is. Dit geeft te meer aan hoe belangrijk het is om vooraf gedegen advies in te winnen bij de glasproducent, er van uitgaand dat hij daar al naar heeft gekeken.

Onderstaande antwoorden op vragen uit de praktijk liggen hier in het verlengde van; allereerst over de opbouw van het glaspakket.

Kan om esthetische en veiligheidsredenen voor een andere, dan de standaard 4(12)4(12)4 opbouw worden gekozen?

Ja, dat kan, maar een a-symmetrische opbouw, bijvoorbeeld 4(12)4(14)8, is af te raden. Dat geldt zowel voor ongelijke spouwbreedten als glasdikten van de buitenste ruiten, want een hele dikke buitenste ruit is stijver en alle vervorming inclusief de spanningen zullen dan in de zwakkere tegenruit optreden. De middenruit kan bij een symmetrische opbouw in principe altijd 4 millimeter dik zijn, omdat dan de druk van beide kanten even groot is. Bij een a-symmetrische opbouw, zal er ook gekeken moeten worden of de middenruit dikker of gehard uitgevoerd moet worden. Voor gelamineerd glas, denk aan doorvalwerende beglazing, geldt dat het gelaagde glas zich niet qua sterkte als één pakket gedraagt bij isochore druk. Een 66.2 gelaagde ruit is voor isochore druk maar net iets sterker dan 8 millimeter enkelglas. Oftewel voor een symmetrische samenstelling met een 66.2 gelaagde binnenruit is een opbouw van 8(12)4(12)66.2 de beste.

Waar komen de Low-E coatings?

Thermisch gezien dient de Low-E coating op positie 3 en 5 te worden geplaatst zodat de warmte zo snel mogelijk terug naar binnen gereflecteerd wordt zonder de buitenste spouw op te warmen en dus zoveel mogelijk warmte binnen blijft. Alle fabrikanten zijn het er echter over eens dat de temperatuur van het gecoate middenblad dusdanig oploopt dat er een vergrote kans bestaat op thermische breuk van de middelste ruit. Gehard gecoat biedt hier een oplossing voor, maar de keuze valt doorgaans voor het plaatsen van de coating op positie 2 en 5, wat voor de U-waarde van het glas niet uitmaakt. Overigens vergroot ook een zeefdruk, in de massa gekleurd glas of gekleurde en bedrukte folies de kans op thermische breuk en is bij

een dergelijke wens altijd een advies op zijn plaats.

Welke afstandhouder?

Voor de U-waarde van het glas (Ug) die door het midden van de ruit wordt gemeten, is de keus van een afstandhouder niet van groot belang. Echter wanneer de U-waarde van het raam (glas incl. kozijn) exact dient te worden bepaald, kan de keus voor een thermisch onderbroken afstandhouder in plaats van aluminium een voordeel geven. Dit is afhankelijk van de afmetingen van de ruit (omtrek afstandhouder). Aangezien de omtrek verdubbeld, door de twee spouwen, kan een thermisch onderbroken afstandhouder zinvol zijn en wel 0,1 W/m²K winst opleveren in de U-raam. Dat is met name interessant in Duitsland, vanwege de eerdergenoemde producteis.

Krypton in plaats van Argon?

Er zijn al woningen in Nederland uitgevoerd in triple-glas gasgevuld met Krypton, maar vanuit kostentechnisch oogpunt is de keuze voor dit edelgas, mede gezien de relatief kleine winst van 0,1 in Ug nauwelijks een optie. Die winst leidt niet tot een lagere EPC-waarde. We hebben het dan over verschillen tot ver achter de komma. Ook dit is weer enkel interessant in landen zoals Duitsland.

Hoe zit het met geluidwering?

Triple-glas heeft geen hogere waarden voor geluidsisolatie dan dubbelglas. Sterker: door het toepassen van een extra ruit met dezelfde glasdikte bestaat er kans op resonantie. Dat zou een reden zijn om juist wel voor een a-symmetrische opbouw te kiezen; het meest praktisch is de middelste ruit te laten afwijken qua dikte of daar eventueel een geluidwerende folie te gebruiken.

Is CE-markering reeds verplicht?

Ja, maar de CE-markering geldt voor isolatieglas als productgroep en kent geen onderscheid tussen dubbel en drievoudig glas. De Europese productnorm die hiervoor geldt, stelt weliswaar



bepaalde testen verplicht, maar alle eisen zijn gebaseerd op testen van gewoon dubbelglas met een opbouw 4(12)4. De norm gaat voorbij aan alle aspecten die voor triple-glas gelden. Momenteel is de norm wel in herziening, maar grote wijzigingen worden niet verwacht.

Wat zijn de (meer)kosten?

De prijs van dubbelglas fluctueert enorm, dus standaard prijzen zijn niet te noemen. De meerprijs is circa 50 à 60 procent in vergelijking tot HR++ glas. De meerkosten komen niet voort uit de extra 4 millimeter ruit, maar enerzijds uit de benodigde kit ten behoeve van de dubbele spouw en verhoogde randafdichting en anderzijds uit de extra handling en langere doorlooptijd in de productie.

Zijn er alternatieven?

Nee, eigenlijk niet. Wie glas met een Ug van onder de 1,0 wil toepassen, kan het best met triple uit de voeten. Er is glas met een folie als 'middelste ruit', het zogenaamde heat mirror, maar het is lastig de folie strak te spannen over de afstandhouder; de kleinste vervorming zorgt voor plooiën. De problemen met de transparantie van de folie zijn inmiddels wel opgelost, maar het blijft lastig een dergelijk pakket te produceren: daar het spannen van de folie onder temperatuur plaatsvindt, verstoort dit het standaard productieproces.

Vacuümglas, zoals Spacia van Pilkington, is een beter, maar kostbaar alternatief. Een opbouw van 6,2(13)4* heeft een Ug van 0,7. Hierbij staat de 6,2 (2x3 mm glas en 0,2 mm microspouw) voor het vacuümglas en is de 13 millimeter spouw gasgevuld met Argon. Dezelfde opbouw maar dan met een 9 millimeter spouw gasgevuld met Krypton, haalt 0,6. Een eerste voorbeeld van een project in Nederland met Spacia is de Hermitage in Amsterdam (zie Glas in Beeld nummer 5 - oktober 2009). Een nadeel is dat vacuümglas een zichtbare 'beschermcap' heeft die het punt beschermt waar de lucht uit de microspouw is gezogen.



Sleephelling in Rotterdam-Noord, het eerste renovatieproject in Nederland dat is uitgevoerd conform de richtlijnen van passieve bouw. Foto: BAM

Tot slot: renovatie of nieuwbouw?

Dit artikel maakt duidelijk dat niets het gebruik van triple-glas in de weg staat, maar de keuze voor dit drievoudig glas veel aandachtspunten kent. Alles is mogelijk, maar extra wensen zijn een zoektocht naar de grenzen van wat met glas mogelijk is. Wanneer dan toepassen? Bij renovatie, nieuwbouw of toch beter van niet? De algemene opvatting is dat renoveren met alleen triple-glas geen zin heeft. Je haalt qua investering in kozijn en glas veel te veel overhoop in relatie tot de mogelijke besparing. Renoveren heeft louter zin, wanneer het gehele gebouw wordt aangepakt: isolatie van vloer, dak en gevel, inclusief kozijnen en glas, en het aanbrengen van een gestuurd klimaatsysteem, denk aan gebalanceerde verwarming en mechanische ventilatie. Dat het wél kan blijkt uit Sleephelling in Rotterdam-Noord, het eerste renovatieproject in Nederland dat is uitgevoerd conform de richtlijnen van passieve bouw (zie Glas in Beeld nummer 5 - oktober 2009). Hetzelfde geldt voor de renovatie van ruim honderd woningen in project 'De Kroeven' te Roosendaal, waarbij Van Noordenne als pilotproject de proefwoningen heeft voorzien van drievoudige beglazing met een Ug van 0,6 W/m²K.

Bij nieuwbouw zijn de uitgangspunten van passieve bouw eenvoudiger realiseerbaar, daar je vanaf het ontwerp geïntegreerd kunt werken aan isoleren, verwarmen, koelen en ventileren. Enkele tientallen passiehuizen en ook 'nul-energie' of 'CO₂-emissievrije kantoren' zijn hier voorbeelden van, zoals het kantoor van WNF in Zeist. Een voorbeeld dat nog verder gaat dan alleen goede thermische isolatie van triple-glas is het kantoor van Rabobank-West in De Lier, waarbij in het triple-glas lamellen zijn geïntegreerd (Pilkington Screenline) die naast de thermische isolatie ook de warmte-toetreding reguleren in de winter (extra warmte winst) en de zomer (warmtereductie).

Conclusie

Triple-glas is de logische doorontwikkeling van de vraag naar energiezuinig bouwen. Echter reken je niet te snel rijk als (toekomstig) producent, als bouwweigenaar of consument, want zonder samenhang met andere energiezuinige oplossingen en een doordacht ontwerp van gebouw en glassamenstelling brengt het veel minder dan gedacht. <

Marco Groothoff

*Bron: Roman Abrahams (technisch adviseur)
Pilkington Benelux*