

Drievoudig glas en bijpassende kozijnen

Ervaringen en aandachtspunten



Glas: de zwakke schakel?

Een gevel bestaat vaak voor 25 tot 40 procent uit glas. In ieder gebouw is dat noodzakelijk voor een prettig verblijfsklimaat, maar in een overigens goed geïsoleerde gebouwschil vormt het energetisch gezien een zwakke schakel. Zelfs met HR⁺⁺-glas verliest een raam acht keer meer warmte dan een even groot geveldeel met een R_c-waarde van 5 m²K/W. Om te komen tot energieneutrale nieuwbouw moet het energieverlies via de schil van het gebouw worden beperkt. De transparante delen kunnen dan niet achterblijven.

Het energieverlies via transparante delen wordt in hoofdlijnen bepaald door de isolatiewaarde van het gebruikte glas en de thermische kwaliteit van ramen, deuren en kozijnen. Daarnaast speelt de oriëntatie van transparante delen een rol. In deze factsheet beschrijven we enkele aanbevelingen voor de toepassing van drievoudig glas en bijpassende kozijnen. We ontleen die aan ervaringen in recente woning- en utiliteitsprojecten met een uitzonderlijke energieprestatie.



Drievoudig glas

De kwaliteit van glas is in de afgelopen decennia enorm verbeterd. De laatste jaren is drievoudig glas in opkomst. Daarmee worden energieverliezen verder beperkt en komt energieleverende nieuwbouw binnen bereik. In de bouw is de toepassing ervan niet ingewikkelder dan HR⁺⁺-glas, maar er zijn wel enkele aandachtspunten waar ontwerpers, bouwers en eindgebruikers rekening mee moeten houden.

Isolatieglas

Dubbelglas is sinds de jaren vijftig op de markt en vindt in Nederland vanaf de jaren zeventig ruime toepassing. De introductie ervan betekende een enorme verbetering ten opzichte van enkel glas, zowel in termen van comfort als in termen van energiebesparing. Beslagen ruiten en een koudeval langs de ramen behoren sindsdien grotendeels tot het verleden.

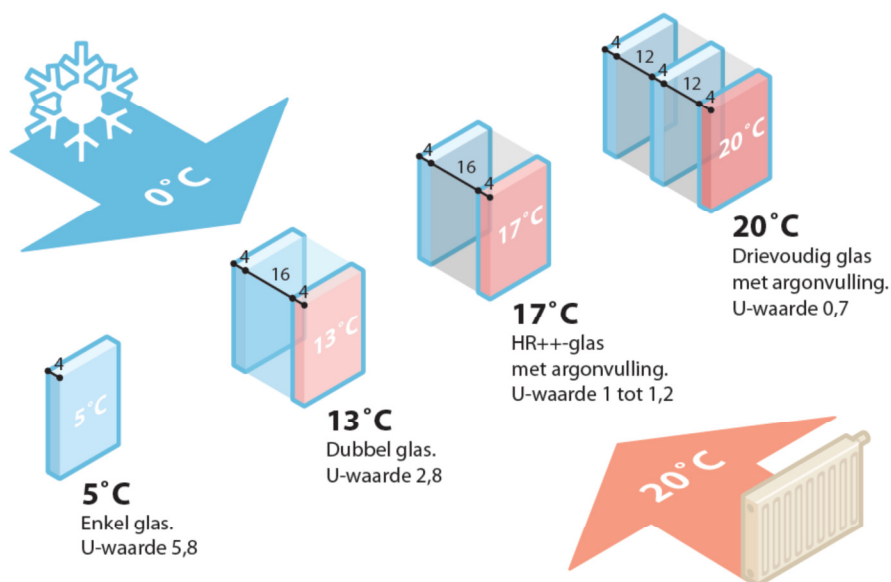
Sinds dubbelglas een succes werd, hebben fabrikanten voortdurend gewerkt aan verdere productverbetering. Een voorbeeld is de toepassing van low-e-coatings waardoor warmtestraling tussen de glasbladen wordt gereduceerd. Soms wordt een low-e-coating gecombineerd met zonwerende eigenschappen. Daarnaast wordt in plaats van lucht voor de vulling van de spouw ook Argon of Krypton gebruikt. De warmteweerstand van deze edelgassen is hoger dan van lucht waardoor warmtetransmissie door het glas kleiner is. Ook de spouwbreedte maakt verschil: de hoogste isolatiewaarde, bij gebruik van Argon gas, wordt gerealiseerd met een spouw van 15 tot 20 mm. Tot slot wordt aandacht besteed aan de afstandhouders: de profielen tussen het binnen- en buitenblad. Om energieverlies langs de omtrek van het glas te beperken, worden de afstandhouders in glas met de laagste U_g -waarde niet in aluminium, maar in kunststof uitgevoerd.

Drievoudig glas

De stap die nu wordt gezet is de toepassing van drievoudig glas.

Drievoudig glas heeft niet alleen een binnen- en een buitenspouwblad, maar ook een tussenspouwblad.

Bij de toepassing van drievoudig glas lopen Scandinavische landen en Duitsland voorop; in Nederland is het in opkomst, zowel bij energiezuinige woningbouwprojecten als



www.leroymerlin.fr/big/guide-2010/IMD/HTML/2010_bz38



energiezuinige utiliteitsbouw¹. In nieuwbouw blijkt het een kosteneffectieve manier te zijn om een EPC van 0,4 of lager te halen. Voor het halen van de passiefnorm is drievoudig glas bijna een must.

Inmiddels zijn er diverse soorten drievoudig glas verkrijgbaar. In een basissamenstelling is de opbouw bijvoorbeeld 4-12-4-12-4 (glasdikte-spouwbreedte in mm). Het totale glaspakket is dan 36 millimeter dik. Net als HR⁺⁺-glas, is drievoudig glas verkrijgbaar met edelgasvulling, low-e-coatings, coatings met zonwerende eigenschappen en verschillende afstandhouders. De meest voorkomende U_g -waarde van drievoudig glas is 0,7 W/ m²K, bijna de helft van HR⁺⁺-glas. De beste soorten drievoudig glas hebben een U-waarde van 0,5 W/ m²K.

In situaties waar extra eisen worden gesteld aan geluidwering, kan drievoudig glas met een gelaagd binnen- en/of buitenblad worden gekozen, met eventueel akoestische PVB-folies (polyvinylbutyral).

Een asymmetrische opbouw met een dikker binnen- dan buitenblad komt voor bij doorvalveilig glas, bij hoogteverschillen van meer dan een meter. Een asymmetrische opbouw verhoogt overigens de kans op thermische breuk. Voor toepassing in deuren, borstweringen en schuifpuien kan gekozen worden voor letselveilig glas. Bij deze bijzondere glassoorten is het glaspakket nog dikker, tot maximaal 62 mm. Dat heeft ook gevolgen voor het gewicht van het glaspakket.

U-waarde

Het warmteverlies, ofwel de thermische transmissie van glas (U-waarde) wordt uitgedrukt in W/m²K. Deze eenheid drukt de energetische kwaliteit van het glas uit.

	U-waarde (W/m ² K)
Enkel glas	5,8
Gewoon dubbelglas	2,0 tot 2,8
HR-glas	1,6 tot 2,0
HR ⁺ -glas	1,2 tot 1,6
HR ⁺⁺ -glas	1,0 tot 1,2
Drievoudig glas	0,5 tot 0,9

Bron: Vademecum energiebewust ontwerpen van nieuwbouwwoningen (te verschijnen 2015) aangevuld met gegevens van de Werkgroep Drievoudig glas van het Lente-akkoord.

De U_g -waarde die de fabrikant opgeeft, heeft meestal alleen betrekking op het glas zelf, bijvoorbeeld ergens in het midden. Ter plaatse van de afstandhouders, dus langs de randen, is het warmteverlies groter. Het effect daarvan is bij een groot raam relatief beperkt, maar bij een klein raam aanzienlijk. Daarom wordt voor een EPC berekening uitgegaan van de U_w -waarde. Dit is de isolatiewaarde van het glas in het kozijn, waarbij de randverliezen van raam en kozijn zijn meegenomen.

¹ Diverse projecten met een EPC <0,4 zijn te vinden op www.rvo.nl/energiezuiniggebouwd

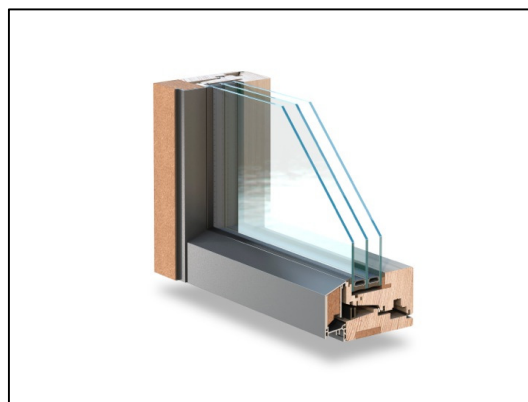


Bijpassende kozijnen

Warmteverliezen worden niet alleen bepaald door het glaspakket, maar evenzeer door de kwaliteit van kozijnen. Het toepassen van drieboudig glas met een hoge isolatiewaarde vraagt om toepassing van bijpassende kozijnen met een hoge thermische kwaliteit. Drieboudig glas in een slecht kozijn is een onrendabele investering.

Kozijnen met een hoge warmteweerstand

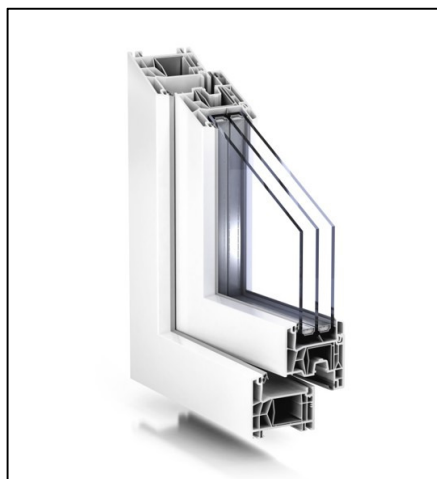
In een woning met een verbeterde schil, verdient ook de warmteweerstand van kozijnen bijzondere aandacht. Volgens het Bouwbesluit per 1 januari 2015 moet de gemiddelde U-waarde van alle ramen, deuren en kozijnen in een nieuwbouwwoning ten hoogste $1,65 \text{ W/m}^2\text{K}$ zijn. De maximaal toegestane U-waarde is $2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Met de meeste houten kozijnen kan daaraan worden voldaan. Zo heeft een houten kozijn gemaakt van lichtere houtsoorten (bijvoorbeeld vuren, lariks en accoya) een U-frame waarde van 0,99 tot $1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$. Een aluminium kozijn, mits uitgevoerd met een zeer goede koudebrugonderbreking, heeft een U-waarde van 1,0 tot $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Bouwbedrijven die een hogere ambitie nastreven, kunnen kiezen voor verbeterde kozijnen, vervaardigd uit diverse materialen: kunststof, hout, aluminium en combinaties hiervan.



Smartwin Compact: een kozijn van hout en aluminium. $U_w = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Draaiende delen

In kozijnen met draaiende delen wordt de kwaliteit ook bepaald door de kwaliteit van hang- en sluitwerk. Met het oog op energiezuinig bouwen en comfort is een luchtdichtheidsklasse 3 (uitstekend) van het gebouw aan te raden. Dit eindresultaat is mogelijk met meervoudige vergrendeling en tochtprofielen voor ramen en deuren: kierdicht, onder alle weersomstandigheden, ook na vele jaren (zie voor luchtdichtheidsklassen: publicatie Luchtdicht bouwen, SBRCURnet).



K-vision Trend: een kunststof kozijn met extra isolerende voorzieningen. $U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Avantis 75SHI: een geïsoleerd aluminium profielsysteem voor naar binnen opendraaiende ramen van Sapa Building System. $U_w \leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.





Aansluitingen tussen kozijn en gevel

Onnodige warmteverliezen kunnen optreden bij aansluitingen van kozijn en gevel. Het is belangrijk om in de ontwerpfase de details hiervan goed uit te werken, bijvoorbeeld door gebruik te maken van de SBR-referentiedetails, en het ontwerp op dit punt te laten controleren door een bouwfysicus. Ook stelruimte, tolerantie en thermische uitzetting moeten worden meegenomen in het ontwerp. Op gezette momenten tijdens het bouwproces kunnen onbedoelde luchtlekken worden opgespoord met een blowerdoortest in combinatie met rookproeven en infraroodfoto's. Nadat een ontwerp goed is gedetailleerd en nauwkeurig is uitgevoerd, moeten de resterende naden en kieren met goede afdichtingsmiddelen worden afgewerkt. Het beste resultaat wordt bereikt met een dubbele afdichting: flexibele pur en tape.



Onbedoelde luchtlekken komen snel aan het licht bij een blowerdoortest met rookproef.

Aandachtspunten

- Drievoudig glas is 30 tot 50 procent zwaarder dan HR⁺⁺-glas. Zeker bij grote glasvlakken kan dit een praktisch probleem geven op de bouwplaats. Voor het plaatsen zijn speciale hulpmiddelen nodig conform de arbo-richtlijnen.
- Om het glas goed te plaatsen, zijn zwaardere profielen en hang- en sluitwerk nodig. De kozijnen moeten goed verankerd worden en de onderdorpel moet voldoende worden ondersteund.
- Het glaspakket is dikker. In een basissamenstelling is het pakket 42 mm dik. Bijzondere glassoorten kunnen maximaal 62 mm dik zijn. Dit betekent dat er ook meer sponningdiepte nodig is.
- Houd in het ontwerp ook rekening met de vervangingsmogelijkheid van het glas in geval van breuk. Is het raam bereikbaar en zijn er geen (hoge) kosten voor verticaal transport?

Schuifpuien

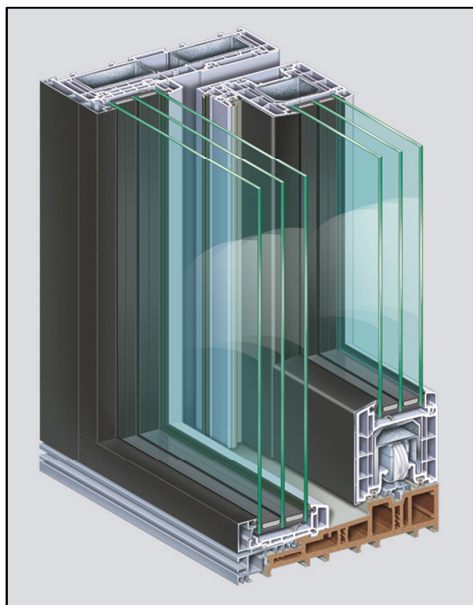
Schuifpuien verdienen extra aandacht. Omdat deze regelmatig op het zuiden worden georiënteerd is het risico op thermische breuk groot. Bij geheel of gedeeltelijk geopende



puien bestaat het glaspakket uit 6 bladen en 5 spouwen achter elkaar. Hierdoor loopt de temperatuur tussen het glas hoog op en is het raadzaam om de middenbladen en de over elkaar schuivende bladen gehard uit te voeren. De twee buitenste glasbladen kunnen wel in gelaagd, letselveilig, glas worden uitgevoerd, maar dan liefst in extra helder glas.



Hefschuifdeur Confort 160 van Sapa Building Systems. Dankzij het maximum vleugelgewicht tot 400 kg zijn grote glasoppervlakken mogelijk. U-waarde van het kozijn: met drieboudig glas U_g 0,5 is een $U_w \leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ mogelijk.



PremiDoor 88 lux hefschuifdeur van Profine. Geschikt voor extreem grote glasoppervlakken. De U-waarde van het kozijn is 1,2 tot 1,3 $\text{W/m}^2\text{K}$.



Zontoetreding en zonwering

Via glas verliest een gebouw relatief veel warmte. Daar staat tegenover dat er via transparante delen (gratis) zonnewarmte en licht het gebouw binnenkomen. Hoeveel energie dat vertegenwoordigt, hangt voornamelijk af van de oriëntatie van het glas op de zon.

Zon en licht

De zontoetreding (ZTA- of g-waarde) en de lichttoetreding (LTA-of TL-waarde) verschillen per glasoort. Deze waarden worden voor een belangrijk deel bepaald door de toegepaste coatings. De waarden zijn op te vragen bij de leverancier.

- De TL-waarde is liefst zo hoog mogelijk. Dit geeft zoveel mogelijk daglicht en dat is nu eenmaal het licht met de hoogste kwaliteit. Door een regelbare lichtwering toe te passen, kan de eindgebruiker de hoeveelheid daglicht voortdurend op een comfortabel niveau brengen.
- In woningen is de ZTA-waarde liefst ook hoog om de woning 's winters passief te kunnen verwarmen. (In kantoren, waar de koudevraag meestal dominant is, is een relatief lage ZTA-waarde gunstiger.)

Bij toepassing van drievoudig glas is de zontoetreding meestal kleiner dan bij toepassing van HR⁺⁺-glas. Om dat nadelige effect te beperken, bestaat er ook extra helder drievoudig glas, voorzien van speciale coatings. Het laat 20 procent meer zonne-energie binnen dan ander drievoudig glas.

Oriëntatie

Afhankelijk van de oriëntatie van een raam, kan de netto energiewinst (over een stookseizoen gemeten) groter zijn dan het energieverlies. Per moment kunnen er echter grote verschillen zijn. De interne warmtewinst (als gevolg van mensen en apparaten) en de opwekrendementen voor warmte en koude zijn bepalend voor de beste oriëntatie van glasdelen en de vereiste isolatiewaarde van glas en kozijnen.

Netto energieverlies/winst per m ² raam (kWh/jaar*)						
Oriëntatie	Enkel glas U _g =5,8 Z _{ta} =0,87	Dubbelglas U _g =2,8 Z _{ta} =0,77	HR-glas U _g =1,6 Z _{ta} =0,6	HR ⁺ -glas U _g =1,2 Z _{ta} =0,6	HR ⁺⁺ -glas U _g =1,1 Z _{ta} =0,6	Drievoudig U _g =0,5 Z _{ta} =0,55
Noord	-360	-140	-64	-33	-26	15
Noordoost	-351	-132	-58	-27	-20	21
Oost	-319	-104	-36	-5	2	41
Zuidoost	-275	-65	-6	25	33	69
Zuid	-253	-45	10	40	48	83
Zuidwest	-274	-63	-5	26	34	70
West	-307	-102	-35	-4	4	43
Noordwest	-350	-130	-57	-26	-18	22

* Zonder invloed kozijn / Ψ -afstandhouder = 0 / locatie De Bilt / 1 m³ aardgas = 9,8 kWh (thermisch op bovenwaarde)

Bron: Bergenbos, 2014



Zonwering

Niet alle zonnewarmte die via glas (gratis) binnenkomt, is bruikbaar. In de zomerperiode kan er een warmteoverschot ontstaan. Bij de bouw van woningen, maar zeker ook bij het ontwerp van gebouwen die bedoeld zijn voor kwetsbare mensen zoals ouderen en zieken, moet daar rekening mee worden gehouden. Vooral bij grote glasvlakken op het oosten en het westen is er een reëel risico van oververhitting. De kans op oververhitting kan worden beperkt door gebruik van (automatisch aangestuurde) windvaste screens, zonneschermen, warmtewerend glas en luiken. Bij glas op het zuiden kan de zomerzon effectief worden geweerd door een diepe overstek. Een warmteoverschot kan worden afgevoerd door goede ventilatie en koeling (via warmte-koudeopslag).

De toepassing van drievoudig glas in een goed geïsoleerde gebouwschil moet dus in balans zijn met het totale energieconcept van de woning. Goede zonwering is er noodzakelijk mee verbonden.



Het Solaris gebouw in Brussel (2009) met drievoudig glas in een Sapa aluminium gevel, zonneschermen en bouwkundig geïntegreerde zonnecellen. Architect: Assar Architects BVBA



De eindgebruiker centraal

De eindgebruiker wenst een comfortabele woning met een gezond binnenklimaat en een zo laag mogelijke energierekening. De toepassing van drievoudig glas kan daar een bijdrage aan leveren.

Voordelen

Zoals de toepassing van dubbelglas (ten opzichte van enkel glas) een aanzienlijke verbetering gaf op het gebied van comfort en energiebesparing, is dat bij toepassing van drievoudig glas opnieuw het geval. Het verschil tussen de kamertemperatuur en de temperatuur van het binnenblad van het glas is minimaal. De koudeval langs het glas is daardoor nauwelijks meer aanwezig, waardoor een hoger raam mogelijk is zonder comfortverlies. Bijzondere soorten drievoudig glas hebben bovendien betere akoestische eigenschappen waardoor minder geluiden van buiten binnendringen.

Nadelen

Tegenover de comfortverbetering kent drievoudig glas, naast de hogere kostprijs, ook enkele nadelen.

- Hoe lager de U-waarde van het glas, hoe groter de kans op condens aan de buitenkant, vooral in het voor- en najaar. Dat komt doordat het buitenblad koud is, waardoor vocht er gemakkelijk op neerslaat. De condens verdwijnt als de buitentemperatuur stijgt. Voorzieningen zoals een (diepe) overstek beperken de kans op condens. Hinder kan worden weggenomen door een speciale pyrolitische coating aan de buitenkant waardoor condens niet op kan treden. Er zijn ook organische coatings waarmee condens wel optreedt, maar snel van het glas afstroomt.
- De kans op thermische breuk is bij drievoudig glas groter dan bij HR++-glas. Thermische breuk kan ontstaan als er temperatuurverschillen in het glasvlak van meer dan 30 graden ontstaan. De kans hierop kan worden beperkt door gedeeltelijke beschaduwing te voorkomen, geen folie of stickers op het glas te plakken en verwarmingselementen niet te dicht bij het raam te plaatsen.
- Drievoudig glas is zwaarder dan HR++-glas. Dat is vooral een aandachtspunt bij toepassing in bewegende delen. Bij een schuifdeur is er een maximum aan wat nog te bedienen is.

Aandachtspunt

- Drievoudig glas is zwaarder dan dubbelglas. Ook ramen en kozijnen moeten daarom zwaarder worden uitgevoerd. De Bedienbaarheid, vooral bij hoge ramen, verdient extra aandacht. Een raamkruk moet zich 90 tot 140 cm boven de vloer bevinden.



Kosten en baten



Hoofdkantoor van het Wereld Natuurfonds in Zeist met Thermobel TRI van AGC.

Toepassing van drievoudig glas met bijpassende kozijnen leidt tot een lager energieverbruik. De besparing is afhankelijk van tal van factoren, zoals de oriëntatie van het glas en de zontoetredingsfactor. De 'winst' van drievoudig glas zit hem uiteraard niet alleen in de besparing op de energierekening; ook het verbeterde comfort en de beperking van de CO₂-uitstoot zijn argumenten die er voor de consument toe doen.

De kosten van drievoudig glas, kozijnen en bijkomende kosten voor montage en plaatsing zijn voor een belangrijk deel afhankelijk van de schaalgrootte van een project en de toeslagen die leveranciers in rekening brengen.



Gevels van de Agentschap.nl referentie tussenwoning, beukmaat 5,40m.

De meerkosten van drievoudig glas met bijbehorende kozijnen zijn door de diverse fabrikanten en toeleveranciers in de werkgroep Drievoudig glas berekend voor een Agentschap.nl-referentie tussenwoning. Deze referentiewoning heeft in totaal 23 m² glas en kozijnen. Aan de tuinzijde bevindt zich een schuifpui van 8 m². De voordeur is buiten beschouwing gelaten. Voor deze woningen hebben de fabrikanten de meerkosten bepaald van het drievoudig glas (U-waarde 0,6) en bijpassende kozijnen **ten opzichte van gemonteerde kozijnen met HR⁺⁺-glas**. Deze meerkosten bedragen voor de totale woning tussen de € 1.500 en € 2.100 exclusief btw.

De meerkosten voor het glas zijn opgevraagd bij de fabrikanten en de tussenleverancier. HR⁺⁺-glas kost circa € 35/ m². De meerkosten van het drievoudige glas bedraagt € 25 tot



30/m². De drieluigige glazen schuifpui met twee ruiten gelaagd glas is de grootste kostenpost. De meerkosten voor het glas van deze triple schuifpui bedraagt € 70 tot 85/m². De thermisch onderbroken afstandhouder met een lagere Psi-waarde kost circa €7,00/m². Naast deze kosten moet rekening gehouden worden met aanvullende kosten voor verplichte tilhulpen bij montage.

De meerkosten voor de bijpassende kozijnen zijn opgevraagd bij de kozijnfabrikanten. De meerkosten voor de kozijnen bedragen circa € 500 voor houten kozijnen, €750 voor kunststof kozijnen en € 1.065 voor aluminium kozijnen. Alle meerkosten zijn exclusief btw.

Verkrijgbaarheid

Drieluigige glas en bijbehorende kozijnen zijn in Nederland steeds beter verkrijgbaar. De fabrikanten en toeleveranciers vertegenwoordigd in de werkgroep Drieluigige glas hebben drieluigige glas, bijbehorende kozijnen en/of afstandhouders in hun assortiment. Andere fabrikanten zijn op te vragen via de brancheorganisaties:

Voor vlakglas: www.glasbrancheorganisatie.nl

Voor houten kozijnen: www.nbvt.nl

Voor kunststofgevelelementen: www.vkgkkozijn.nl

Voor aluminium kozijnen: www.vmrq.nl

Portal voor kozijnen op passiefhuis niveau: <http://www.passiefhuismarkt.nl/kozijnen/>



Schuifpui van Smartwin met een U_w van 0,8 W/m²K.



Verantwoording

Van de factsheet Drievoudig Glas verscheen in december 2013 de eerste versie. Deze versie was opgesteld op basis van een enquête waarin bouwers, kozijnenfabrikanten, adviseurs en opdrachtgevers hun ervaringen met de toepassing van drievoudig glas deelden. Daarnaast is inbreng geleverd door Jos de Vries (Bouwfonds Ontwikkeling), Rien van Rooij (Amvest), Harrie Lieveerse (DuurzaamBouwAdvies), Wouter Beck (namens Metaalunie), Wouter Notenbomer (SBRCurnet) en Frank Stofberg (BOOM Delft).

De herziening van deze factsheet is in oktober 2014 gemaakt onder begeleiding van de Werkgroep Drievoudig glas van het Lente-akkoord. De leden van de werkgroep zijn: Hans Willemsen (AGC), Niels Schreuder (AGC), Gerben Bos (bureau Bergenbos), Frank Stofberg (BOOM), Eric Sweeb (Bouwfonds), Willem Wiggemansen (Glascentrale Midden Holland), Ruud Drost (Kumij), Gerrit Buitenhuis (NBvT), Frank Deuring (Nieman RI), Henk Sprick (Profine), Reinout Jansonius (Saint Gobain Glassolutions), Roel Bosch (Saint Gobain Glassolutions), Thijs Schreuders (Sapa Group), Jaimy Dijkshoorn (Smartwin) en Kees Bel (Ymere).

Er verandert veel op het gebied van de toepassing van drievoudig glas en bijpassende kozijnen. Deze factsheet is daarom slechts een momentopname. Innovaties kunnen aanleiding zijn om de tekst te actualiseren. De lezer wordt daarom van harte uitgenodigd aanvullingen op de tekst en nieuwe inzichten in dit vakgebied aan ons kenbaar te maken. Stuur uw opmerkingen naar:

cb@lente-akkoord.nl

Colofon

Samenstelling & redactie > Claudia Bouwens (NEPROM, Lente-akkoord)

Tekst > Henk Bouwmeester

Omslagfoto > Rabobank-West in De Lier met drievoudig glas en geïntegreerde lamellen.

Architect: Böhlingk architectuur, Maasland. Fotograaf: Sicco van Grieken

Beeld > met dank aan SmartWin, Profine, Sapa, biom.nl

www.lente-akkoord.nl

Herziene versie november 2014

Het Lente-akkoord heeft als doelstelling 50% energiereductie voor de nieuwbouw in 2015. Het Lente-akkoord is een initiatief van Aedes, Bouwend Nederland, NEPROM, NVB en de minister van BZK.