

Stoeltjesprofielenramen en glastest van dunne isolatieruiten in het Raadhuis Hilversum met vijf soorten dun isolatieglas en isolatie verbetering met achterzetruiten of ramen.



Door Ing. Sjoerd Nienhuys

Woonenergie adviseur energy@nienhuys.info

Versie maart 2024

Abstract. Het rijksmonument 'Raadhuis Hilversum' werd door architect Willem Marius Dudok in de periode 1928 - 1931 gebouwd en heeft de uit die tijd kenmerkende stalen ramen van stoeltjesprofielen met veel kleine ruitjes van enkel glas. Voor het verbeteren van de isolatiewaarde van die ruiten werd een in 2020 een test uitgevoerd om het effect en de kosten van verschillende soorten dun isolatieglas te evalueren. Dit rapportje geeft een samenvatting van de bevindingen en mijn opinie. Bij nader inzien is de toegepaste methode duur en nauwelijks effectief om het zeer grote warmteverlies via deze typische stalen ramen met de erg kleine ruitjes van 30 cm x 50 cm te verminderen. Achterzetruiten of ramen van HR⁺⁺ zijn veel effectiever en aanbevolen. Een snelle en eenvoudige optie is de toepassing van Acrylaatplaat maar dat is minder isolerend.

Voor meer informatie zie document: '101 Soorten Glas' op website www.nienhuys.info

Stoeltjesprofiel en glastest van dunne isolatieruiten

Monumenten en andere gebouwen onder 'beschermd stadsgezicht' met stalen ramen zoals het type stoeltjesprofiel mogen meestal van de welstandscommissie niet in aanzicht veranderd worden.

De bekende gebouwen van de architect Dudok, zoals het Raadhuis van Hilversum of het oude sanatorium Zonnestraal van architect Jan Duiker zijn voorbeelden van dergelijke rijksmonumenten.



Figuren 1. Raadhuis (Dudok)



Zonnestraal (Duiker)



Julianaschool (Dudok)

Deze gebouwen zijn volgens de huidige nieuwbouwnormen ($R_c = > 4,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ voor de gevels) zeer slecht geïsoleerd, hetgeen vooral veroorzaakt wordt door de stalen ramen met enkel glas ($R_c = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ i.p.v. nieuwbouwnorm $0,83 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$). Deze lage isolatiewaarde bestaat uit de landelijk gemiddelde overgangswaarden van buiten ($R_e = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) en binnen ($R_i = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) samen. Zowel het glas van de ruiten als het staal van de ramen geven een verwaarloosbare isolatie.

De aanbevolen minimum nieuwbouw isolatiewaarde van ruiten is HR^{++} met een isolatiewaarde¹ van $R_g \geq 0,83 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ($U_g \leq 1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) hetgeen ongeveer 5X de isolatiewaarde is van het enkele glas. Om gebouwen op te waarderen tot de 2015 nieuwbouwnorm zou voor de ramen en deuren (ruit en kozijnen) in dergelijke monumenten de isolatiewaarde verbeterd moeten worden van $R_c = 0,17$ naar $R_c \geq 0,83 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, echter met de goedkeuring van de welstandscommissie.

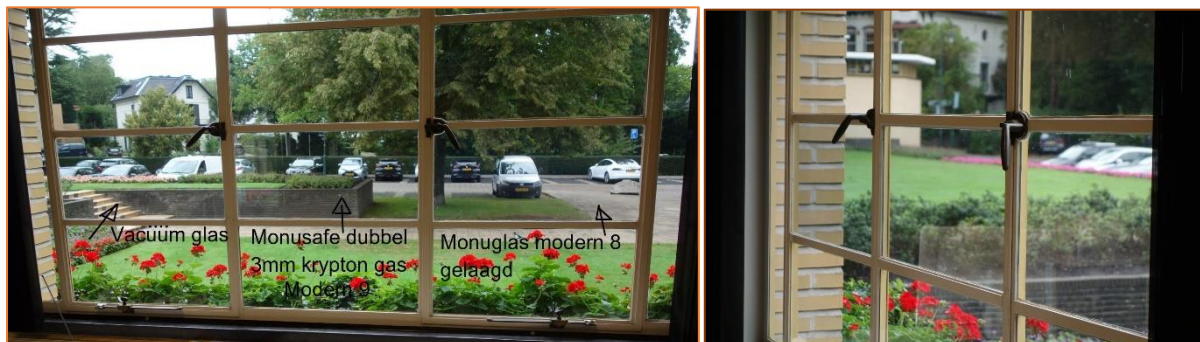
Om te beoordelen wat het effect op de architectuur van het raadhuis zou zijn werd in 2020 een vijftal ruiten vervangen of aangepast (folie) voor een beter isolerende ruit.



Figuren 2. Links: Monuglas® Modern 8 gelamineerd, groen; Ruysdael VR12.05 binnenfolie; 3M-Thinsulate film; Rechts: Monuglas® Modern 9 met 3 mm Krypton spouw, wit; AGC-Fineo Vacuüm glas 6,5 mm, paarsig.

¹ Voor glas wordt in de vakhandel de warmtedoorgangs waarde opgegeven $U_{\text{glas}} = 1/R_{\text{glas}}$. Om deze waarden te vergelijken met de isolatiewaarde van de constructie $R_{\text{constructie}}$ worden hier de R_c - en R_g -waarden aangegeven.

Alleen van buiten zijn er kleurverschillen te zien, maar van binnenuit niet, omdat menselijke ogen zich aanpassen aan de hoeveelheid en de kleur van het licht dat binnenkomt. De kleurverschillen en de helderheidsverschillen zijn echter klein. Wanneer alle ruiten hetzelfde glas zouden hebben valt er van binnenuit geen kleurverschil te zien. Wanneer alle ruiten dezelfde verandering ondergaan, zullen kleurverschillen aan de buitenkant ook niet opvallen. In de onderstaande foto's zijn de tweede laag (boven de tekst) de testruiten.



Figuren 3. Linker foto: AGC-Fineo Vacuüm glas 6,5 mm: Monuglas® Modern 9 met 3 mm Krypton spouw; Monuglas® Modern 8 gelamineerd. Rechter foto: Zelfde, van binnenuit is nauwelijks verschil te zien.

In de bovenstaande foto's is te zien dat alleen het middelste raam vast is en de zijramen allebei opengezet kunnen worden. In de praktijk worden de ramen zelden opengezet tenzij het erg warm weer is en het niet waait. Door slechts de ruiten beter te isoleren blijven de ramen openzetbaar. Wanneer alle stalen ramen dicht worden gezet en/of beter geïsoleerd heeft dat consequenties voor zowel het verwarmings- als ventilatiesysteem in het hele gebouw.

Omdat de doorgaans kleine ruiten (30 x 50 cm) in de metalen stoeltjesprofielen zijn geplaatst wordt de gemiddelde isolatiewaarde van het kleine raam sterk beïnvloed door de slecht isolerende metalen profielen (25% - 50%)². De bruto isolatiewaarde van een constructiemateriaal is de optelsom van de eigen isolatiewaarde plus de som van de gemiddelde overgangswaarden³ van het glas of het staal.

Glas van 3 mm dik heeft een slechte isolatiewaarde van $R_c = 0,003 \times 1,25 = 0,00375 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ maar wordt inclusief de twee overgangswaarden afgerond op $R_c = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Het ijzer heeft bij een profieldikte van 4 cm $R_c = 0,04 \times 0,02 = 0,0008 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ dus 1/5^{de} van het glas, maar ook hier geldt de minimumwaarde van de twee overgangswaarden van $R_c = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Figuren 4. Voorbeeld van stalen stoeltjesprofielen. De vaste ruiten zijn geplaatst in de profielen A en D zonder het draibare profiel.



² De bedrijven geven een kleinere vermindering op van tussen de 7% en 17% hetgeen voor grotere ruiten geldt.

³ Binnen overgangswaarde verticaal vlak $R_c = 0,14$. Buiten overgangswaarde landelijk jaargemiddelde $R_c = 0,3$. Wanneer het hard waait of bij ruwe oppervlaktes reduceert deze waarde. Samen dus $R_c = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

De breedte van het metalen profiel, als percentage van het raamoppervlak, is vanwege de hoge warmte geleidingswaarde van het ijzer medebepalend voor de gemiddelde isolatiewaarde van het hele raamkozijn. Bij de toepassing van beter isolerende ruiten zal daarom de gemiddelde isolatiewaarde van de stalen ramen **aanzienlijk minder zijn** dan de officiële glas-isolatiewaarde. De voorgestelde theoretische isolatiewaarde van nieuwe ruiten betreft het centrum van een ruit van ongeveer 1 m^2 , hetgeen nogal verschilt met een ruitje van $30 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}^2$. De feitelijke isolatiewaarde van een kleine ruit wordt namelijk sterk beïnvloed door het randeffect.

Figuur 5. Verloop van isolatiewaarde.

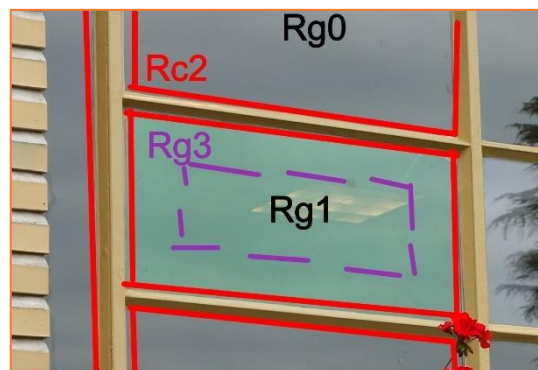
R_{g0} is bestaand enkel glas met $0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

De theoretische isolatiewaarde in het centrum van een 1 m^2 grote, oudere HR-isolatieruit is $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

R_{c2} , de rode zone rondom de ruit is de isolatiewaarde van het staalprofiel met $0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

R_{g3} , de randzone aansluitend op het staalprofiel wordt beïnvloed door de grote warmtegeleiding van het glas en de aluminium spacer, en heeft daardoor een R_c van tussen de 0,2 en hooguit $0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

R_{g1} , het centrum van het kleine ruitje heeft daardoor niet een veel betere isolatie dan $0,4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.



Bij vacuümglas loopt het buitenste glas in de rand door (als een geheel) naar het binnenste glas. De randen van vacuümglas hebben daarom een ook isolatiewaarde van slechts $R_g = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Wanneer die randen in een mastiek zijn gezet wordt de isolatiewaarde $R_c \approx 0,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

De hele randzone van het vacuümglas is daarmee slecht isolerend omdat het glas een goede warmte geleider is. De geschatte waarden voor de $30 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ ruit zijn dan:

R_g is van bestaand enkel glas met isolatiewaarde $0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

De theoretische isolatiewaarde in het centrum van een 1 m^2 grote isolatieruit is $1,43 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

R_{c2} , de rode zone rondom de ruit is de isolatiewaarde van het staalprofiel met $0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

R_{g3} , de randzone aansluitend op het staalprofiel wordt beïnvloed door de goede warmtegeleiding van het glas (geen spacer) en heeft daardoor een R_c van tussen de $0,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ in het mastiek en hooguit $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ een stukje van de rand vandaan.

R_{g1} , het centrum van het vacuümglas heeft daardoor geen veel betere isolatie dan $1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Het randeffect van de kleine ruiten in stoeltjesprofielen is in deze situatie erg groot en verlaagd sterk de isolatiewaarde van de ruiten in het middengedeelte tot ongeveer de helft van de isolatiewaarde van het centrum van een ruit die minimaal 1 m^2 groot is.

Het randgedeelte van de kleine ruit is ongeveer 4X zo groot als het centrumgedeelte, terwijl het oppervlak van het staalprofiel tenminste even groot is als het centrumgedeelte van het ruitje. De gemiddelde isolatiewaarde van het raam wordt dan $(1X \text{ Centrum} + 4X \text{ Rand} + 1X \text{ Staal}) : 6$.

Voor het raamwerk naast de foto wordt dat: $(0,4 + 4 \times 0,25 + 0,17) : 6 = 0,26 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ of **ongeveer 50%** van de opgegeven waarde van een grote isolatieruit.

Voor een vacuümglas wordt dat: $(1,0 + 4 \times 0,5 + 0,17) : 6 = 0,53 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ of **ongeveer 40%** van een grote vacuümglas ruit.

De toegepaste ruiten hebben ook verschillende lichtdoorlating of zonwering, terwijl de weerstand tegen breken ook in de test en beoordeling werd meegenomen. In publieke gebouwen (scholen) waar ruiten worden toegepast in deuren en bij een extra lage borstwering, is doorvalbestendig glas vereist. Dit kan glas zijn met een folie, gehard glas of gelamineerd glas.

De verschillen tussen de voor de test toegepaste ruiten worden in de tabel weergegeven. Overzichtstabel ruiten, volgorde is van binnenuit gezien (Figuren 3).

Glastype test ->	1. AGC-Fineo Vacuümglas 6,7 mm	2. Stolker isolatie Monuglas® Modern 9 met 3 mm Krypton	3. Stolker Monuglas® Modern 8, Gelaagd Monusafe	4. Ruysdael VR12.05 binnenfolie	5. Enkel glas + 3M- Thinsulate film	Bestaande situatie. Enkel glas 3 mm.
Omschrijving						
Theoretische Ug- waarde W/m².K centrum ruit 1 m²	1,43	2,0	3,4	3,5	3,3	5,7
Theoretische Rg- waarde m².K/W centrum ruit 1m²	0,7	0,5	0,29	0,28	0,3	0,17
Waarschijnlijke Rg waarde van een 30/50 cm ruit in stoeltjesprofiel	0,53 Matig (Ug = 1,9)	0,26 Slecht (Ug = 3,8)	0,2 Erg slecht (Ug = 5)	0,2 Erg slecht Ug = 5)	0,2 Erg slecht (Ug = 5)	0,17 Heel erg slecht
SC shading coëff.					0,61	0,98
ZTA waarde* of g.	0,68	63	71		0,53	0,85
VLT** of TL	0,80	82	74		0,77	0,89
Veiligheidsglas	Nee, kan wel met extra folie	Ja, Monusafe	Ja, Monusafe	Ja, goed getest	Ja	Nee
Kleur van buiten	Iets lichter	Iets lichter	Lichtgroen	Paarsig	Meer wit	Basis kleur
UV wering		37,4%	99%	99%	99%	50%
Dikte	6,7 mm	9 mm	7,76 mm	5,8 mm	3 mm	3 mm
Afmetingen	> 20 cm					30 x 50 cm
Excl. btw-montage	€ 400 /m²	€ 80/m²	€ 75 /m²	€ 80 /m²	€ 80 /m²	Bestaand
Inclusief montage	€ 500 /m²	€ 150/m²	€ 110/m²	€ 140 /m²	€ 140 /m²	
Minimumprijs glas	€ 250 = 0,5 m² ruit	€ 38 = 0,5 m² ruit	€ 22 = 0,3 m² ruit			Bestaand
Garantie	15 jaar	10 jaar	10 jaar	15 jaar	10 jaar	Bestaand
Geluidwering	30 dB					27 dB
Bijzonderheden	0,1 mm puntjes, niet zichtbaar van > 1m afstand	Iets dikker glas profiel dan de sponning. Opschilderen van verf vereist.	Pyrolytische coating buitenop. Kan krassen of vlekken. Alleen met zuiver water reinigen.		Krasbestendige topcoating. Mag geen microvezel gebruiken	Slechte isolatie
Alternatieve isolatie verbeteringen voor stalen ramen van stoeltjesprofielen met slechts enkel glas (geen verandering bestaand glas)						
Met acrylplaat +2 cm afstand ruit en achter het ijzer langs. +Rg 0,2	€ 50/m² € 60/m²					0,37 (Ug=2,7) Onvoldoende beter dan no's 2, 3, 4 en 5.
2X Acrylplaat met 2 spouwen van 2 cm	€ 100/m² € 120/m²					0,55 Matig (Ug = 1,8)
Met een groot, smal achterzet kozijn en HR++ ruit van Rg = 0,83 m².K/W	€ 180/m² € 300/m²					0,9 inclusief spouw 2 cm. (Ug = 1,1) Goed

* ZTA = Zon Toetredings Aspect of: SHGC (G-Value)

** Visual Light Transmission. Zichtbaar lichtdoorlating

Een verhoging van 3dB (Rw + Ctr) betekent een halvering van de hoeveelheid geluid. Echter, als er ergens een raam openstaat (ventilatie) dan zal het geluid door dat open raam naar binnen komen. Het onderste ontwerp met de extra binnenzijdige HR++ ruit heeft een veel betere geluidswering vanwege de extra spouw en glasplaten.

De ruitentest werd onder andere uitgevoerd om de technische mogelijkheid te bepalen en de daaraan verbonden kosten. De prijsopgave is geschat voor 4000 ruiten in het hele Raadhuis, met een minimumprijs per ruit voor 0,5 m². Totaal te betalen oppervlak = 2000 m² voor een netto oppervlak van ongeveer 700 m². De kosten zijn exclusief de recycling bijdrage € 0,40/m².

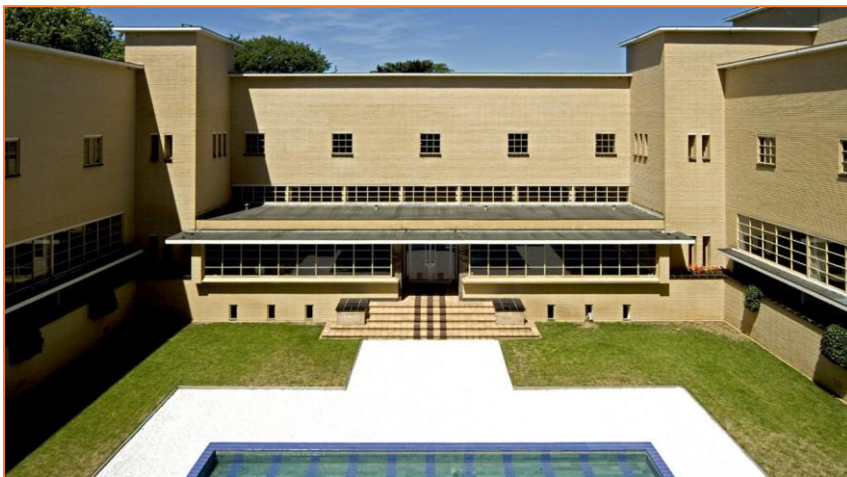
Prijsberekeningen:

Stolker Glas Isolatieglas: Minimaal 0,50 m² max. opp. Monuglas® Modern 9 tot 1 m² en;
Stolker Glas Safe: Minimaal 0,30 m² Monuglas® gelaagd Modern 8 minimaal 0,50 m².
Optioneel afstandshouder in wit of zwart⁴. Prijs per m² : € 2,- per m² (min. 0,50 m² per ruit)
Geen garantie op krassen/vlekken op zonwerende pyrolitische coating buiten.

De keuze van de ruiten met anti-doorvalfolie is voor die ruiten die tot aan de vloer doorlopen en bij openbare gebouwen. De buitengevel ramen van het Raadhuis hebben echter niet deze situatie.

Uit de bovenstaande vergelijking is het duidelijk dat het vacuümglas wel de beste isolatiewaarde heeft, maar ook veruit het duurste is. Wanneer het randeffect wordt meegenomen in de berekening, geeft slechts het vacuümglas een redelijke verbetering, maar het haalt nog niet de minimum nieuwbouw normwaarde van HR⁺⁺ of R_g = 0,83 m²K/W.

Uit de tabel blijkt ook dat de toepassing van een goedkope 2 mm of 3 mm Acrylaatplaat op 2 cm achter de stalen ramen een veel betere isolatie geeft dan de oplossingen met het vervangen van de ruiten met isolatieglas of folies, terwijl de kosten van de Acrylaatplaat ongeveer 1/5^{de} zijn van de andere opties 2, 3, 4, en 5. Voor de openzetbare ramen zal dit niet de optimale optie zijn, maar het gebouw in haar geheel kent verschillende locaties waar dit zonder meer makkelijk kan worden toegepast.



Figuren 6. Langs de hele binnenplaats en gangen bevinden zich vaste raampartijen die eenvoudig voorzien kunnen worden van Acrylplaten. Boven in de gangen is de toepassing van dubbele Acrylplaten probleemloos toe te passen; deze ramen zijn slechts voor de lichtinval en zijn buiten het zicht.

De vergelijking laat verder zien dat de toepassing van HR⁺⁺ glas aan de binnenzijde van de stalen ramen bijna twee maal de gewenste minimum isolatie geeft, terwijl de kosten lager zijn dan de oplossingen waarbij alle kleine ruitjes moeten worden vervangen. Voor deze optie zijn er drie constructies mogelijk.

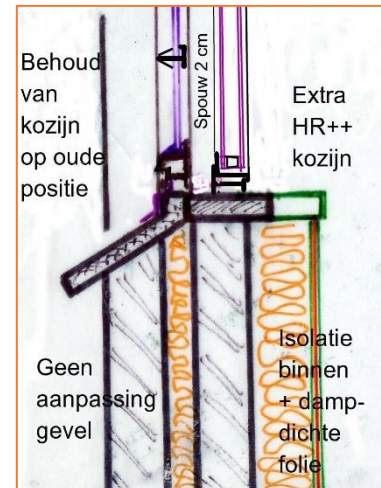
- A. Met een smal stalen profiel achter de vaste ramen.
- B. Met een dun stalen raamwerk achter de paar ramen die in de zomer opengezet moeten worden indien dit noodzakelijk is voor de ventilatie en de mechanische ventilatie niet voldoet.
- C. Alle binnenzijdige ramen in een dun kozijn met een smal metalen profiel. Dit biedt de mogelijkheid om onderhoud aan de binnenkant van de stalen ramen te plegen.

⁴ De spacer of afstandshouder zal bij isolatieruiten altijd zwart moeten zijn (Warm Edge of TGI-spacer). Bij kleine ruiten is dat nog belangrijker omdat de isolatiewaarde van een aluminium afstandshouder aanzienlijk minder is dan van de zwarte afstandshouders.

Figuur 7. Het ontwerp van een extra smal stalen kozijn profiel met braam voor plaatsing aan de binnenkant van het oude stoeltjesprofiel raam, met een HR++ ruit geeft de mogelijkheid om de oude ruiten aan de binnenzijde te onderhouden en eventueel open te zetten.

De afstand van het nieuwe glas moet bij voorkeur 2 cm zijn, maar bij de stalen ramen die een handvat hebben om hen open te zetten zal deze afstand groter zijn.

Wanneer aan de binnenzijde van de muren extra thermische isolatie aangebracht gaat worden kan het zijn dat de vensterbank verbreed moet worden.



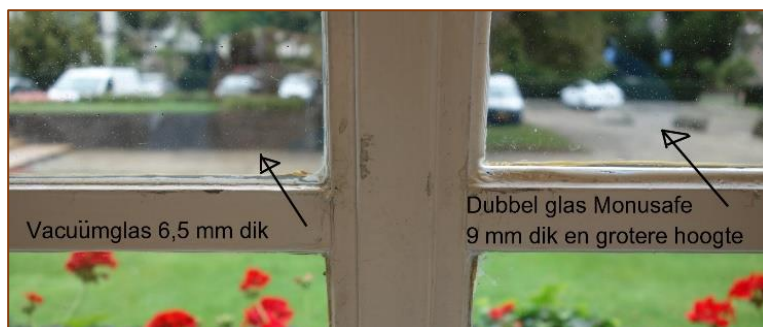
Kleurverschillen van de testruiten

Aan de buitenzijde is wel wat kleurverschil te zien in vergelijking met de overige enkelglas ruiten.

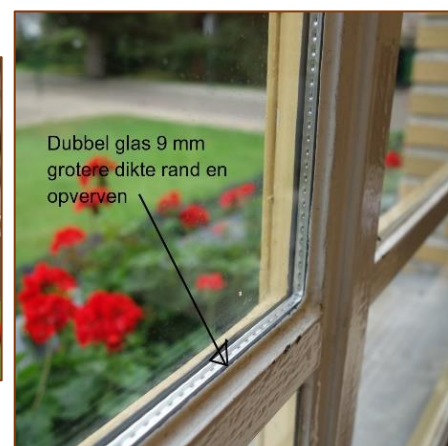


Figuren 8. Links: 3M-Thinsulate film met witte en lichtere uitstraling; Ruysdael VR12.05 gelaagd met donkerder en paarse uitstraling; Rechts: Monuglas® Modern 8 gelaagd Monusafe met lichtere en groene uitstraling; Monuglas® Modern 9 dubbel glas met 3 mm Krypton spouw, ietsje lichter maar bijna hetzelfde; AGC-Fineo Vacuüm glas 6,5 mm, iets lichtere uitstraling dan het dubbelglas.

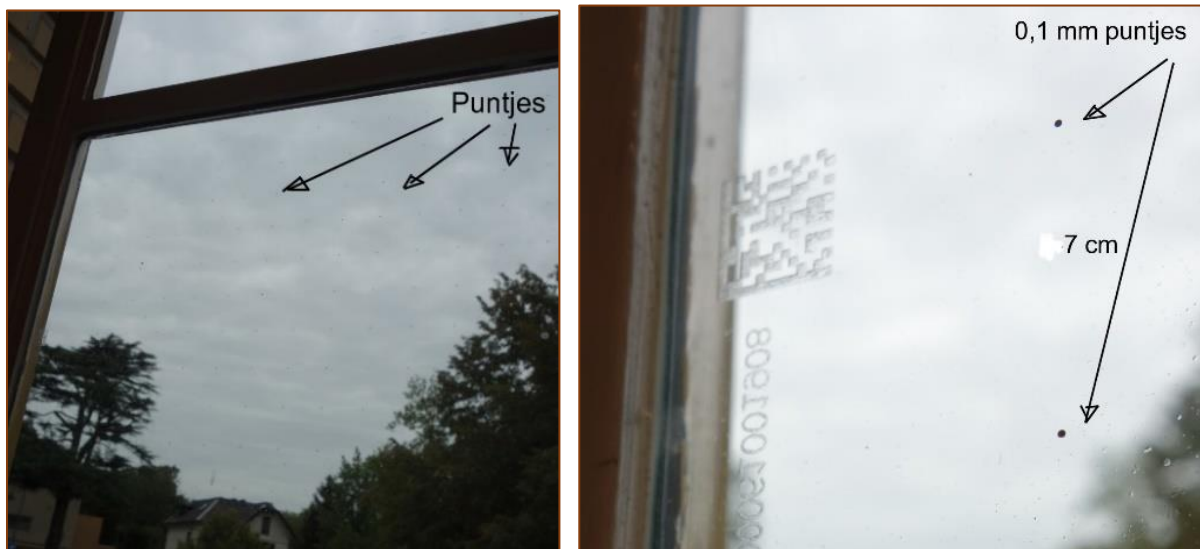
Het dubbele isolatie glas Monusafe is met 9 mm het dikste, terwijl de afstandshouder iets hoger is dan de rand van het raamprofiel. De afstandshouder kan een verhoogde isolatiewaarde hebben (zwarte spacer); dit is voor kleine ruiten zeer relevant.



Figuren 9. Het dubbele glas heeft een dikker randprofiel en moet daarom hoger geschilderd worden bij de aansluiting.



Om te voorkomen dat bij het vacuümglas de twee ruiten door de luchtdruk tegen elkaar aangedrukt worden zitten er 0,1 mm - 0,2 mm bolletjes tussen de twee ruiten. Deze zijn echter van een afstand groter dan 100 cm nauwelijks te zien, en van verder af helemaal niet meer.



Figuren 10. De puntjes in het vacuümglas zijn op een afstand van meer dan 1 m niet meer te zien.

De warmte reflecterende 3M-folie aan de binnenzijde functioneert tegelijkertijd als anti-doorvalfolie. De folie wordt 2 mm kleiner gesneden dan de dagmaat van het kozijn en met een vloeistof op de schone ruit geplakt. Dit vereist vakmanschap en een erg schone stofvrije omgeving, omdat de folie statisch is en stofdeeltjes uit de lucht direct aantrekt als de beschermfolie vlak voor het opplakken verwijderd is. Belletjes voorkomen is bij grote oppervlaktes erg moeilijk.



Figuren 11. 3M-folie op binnenzijde geplakt. Rechts bij een blauw geschilderd houten raam. In beide voorbeelden is de afwerking niet erg fraai. Het geeft aan dat veel ervaring nodig is om de folie aan te brengen en dat naderhand het verfwerk van het raamwerk op het glas goed moet worden uitgevoerd.

Bij het rechter blauwe houten raam van een lagere school werd 3M-folie op de binnenzijde geplakt als vervanging van Acryl achterzetramen. Bij deze houten ramen en kozijnen ontstond door de binnen achterzetruiten een hoge luchtvochtigheid, waardoor het hout op plaatsen slechter werd.

Het probleem werd veroorzaakt omdat de Acrylplaten los voor het raam werden geplaatst en de vele personen in de school door hun uitademing vocht produceren. Ook werden natte jassen in de gang opgehangen. Hoewel er zelden condens op de ruiten zichtbaar was, bleek de kwaliteit van de verf op het hout dit niet voldoende te beschermen tegen vochtindringing. Bij stalen ramen die onvoldoende gegalvaniseerd zijn kan dan roest optreden.



Figuren 12. Gang van schoolgebouw met binnenzijdige Acrylaat platen. Omdat de afsluiting niet voldoende dicht was kwam er condensatie vocht tussen de ramen en op het blauw geschilderde houtwerk. Vanwege slecht verfwerk drong het vocht in het hout en veroorzaakte rot. Het goed vocht dicht binnenzijdig schilderen van oude houten kozijnen is essentieel om ze tegen vocht aantasting te beschermen.

In dit schoolgebouw werd overwogen om de grote plexiglas platen te verwijderen en op de binnenzijde van het glas een warmte reflecterende folie te plakken: 3M Thinsulate film.

Zoals omschreven in het voorgaande gedeelte zou dit de isolatiewaarde van de hele gevel aanzienlijk doen verlagen tot ongeveer de helft van de huidige isolatiewaarde met de Acrylplaat ($0,37 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ naar $0,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$). Bovendien zal de plakfolie niet het condensatieprobleem oplossen. Bij deze gang met alleen maar vaste ramen is het wel mogelijk om aan de binnenzijde een HR⁺⁺ ruit toe te passen, maar dan moet de binnenruit worden afgeplakt met 'Anti-doorval folie' omdat dit een schoolgebouw betreft. De meest effectieve en goedkope oplossing in deze situatie zou een 2^{de} Acrylaatplaat zijn.

Figuur 13. De extra Acrylplaat tegen het raam.

- *Het goed vocht dicht schilderen van de blauwe houten glasroeden.*
- *Plaatsen van een Acrylplaat tegen het houten kozijn (gele lijn), waardoor een eerste luchtlaag gecreëerd. Vastplakken met tweezijdig transparant plakband.*
- *Het terugplaatsen van de grote Acrylaatplaten.*
- *Nieuwe isolatiewaarde met twee luchtspouwen $R_c = 0,55 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.*
- *Acrylplaat heeft al geen doorval risico.*



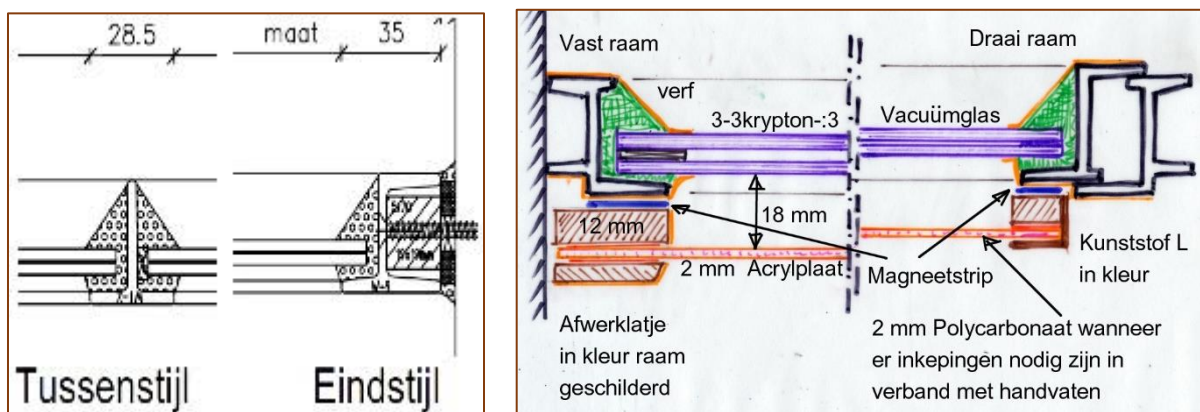
Toepassing van een enkele Acrylaatplaat

Bij de toepassing van kunststof achterzetramen moeten de openzetbare ramen opengezet kunnen blijven. Dat betekent dat ter plaatse van de handvaten er een inkeping in de plaat gemaakt moet worden. Dit inkepen is alleen te adviseren met een Polycarbonaatplaat, want een Acrylplaat kan ter plaatse barsten. Ter plaatse van het uitzetijzer kan de luchtsouw iets dunner worden uitgevoerd om de plaat achter het uitzetijzer te houden.



Figuren 14. Handvat van het openzetbare raam. Rond het handvat zal een achterzetruit van onbreekbaar Polycarbonaat plaat nauw moeten aansluiten. Het maken van inkepingen in Acrylplaat zal barsten veroorzaken.

Door middel van zelfklevend magneetband kan een Acrylaat achterzetplaat op eenvoudige wijze op het stalen raamprofiel worden vastgeplakt. De wenselijke spouw tussen de bestaande ruit en de Acrylaat of Polycarbonaat plaat moet tussen de 18 mm en 20 mm zijn voor het beste isolerende effect, want met een dergelijke spouw zal er minimale luchtcirculatie optreden.



Figuren 15. Links: Constructie van enkele of gelamineerde ruit in stoeltjes profiel.

Rechts: Bevestiging van Acrylplaat met magneetband op het metalen kozijn of raamwerk met spouw 18 - 20 mm. Hetzelfde ontwerp is van toepassing voor wanneer er enkel glas in de ramen zit.

De magneetband uit de bouwmarkt heeft een doorsnede van 1,5 mm x 12 mm. Het houten hulpprofiel moet de afstand van maximaal 20 mm tussen de ruit en de Acrylaatplaat creëren. Met tweezijdig plakband wordt de houten strip op de plaat bevestigd. Aan de kamerzijde wordt een andere strip hout of kunststof bevestigd die in de gewenste kleur kan worden geverfd (of gekocht). Deze oplossing, is op zeer korte afstand nauwelijks van buiten te zien en helemaal niet op een afstand van ongeveer twee meter. Eenmaal in de juiste kleur afgewerkt is het ook van binnen niet opvallend.

De magneetstrip beschadigd niet de verlaag op het kozijn of raamwerk (monument).

Grotere isolatieruiten in dikkere stoeltjesprofielen achter de ramen

In de woningbouw zijn vaak grotere stoeltjesprofielen gebruikt voor grotere ruiten. Deze grotere ruiten hebben veel minder isolatieverlies door het randeffect dan kleine ruitjes.

De verbeterde isolatiewaarde van de vervangende ruiten betekent dan een bezuiniging in de stookkosten van het gebouw of de CO₂ uitstoot. Bij de besluitvorming van de toe te passen type isolatie zijn de verschillende aspecten van isolatiewaarde, kostprijs, duurzaamheid en garantie van belang naast de overweging over de architectuur⁵.

Wanneer het niet is toegestaan (of mogelijk is) om binnenzijdig een extra HR⁺⁺ ruit te plaatsen, blijven er verscheidene opties voor beter isolerende ruiten. De hieronder aangegeven isolatiewaarden zijn voor het centrum van de isolatieruiten wanneer ze minimaal 1 m² oppervlakte hebben. Hoe kleiner de ruiten zijn, hoe groter het verschil tussen de theoretische isolatiewaarde en de werkelijke.



Figuren 16. Dun isolatieglas in stalen ramen. Specificatie van buiten naar binnen. : = low-e coating
Enkel glas 3 mm **Rg = 0,17** ; 4-3Argon-:4 **Rg = 0,30** ; 4-4Argon -:4 **Rg = 0,4** ; 3-3Krypton-:3 **Rg = 0,5**



Met zwarte afstand TGI ; Met houten opdeklat.
4-4Argon-:4 **Rg = 0,60** ; 4-6Argon-:4 **Rg = 0,60** ; 4-12Argon-:4 **Rg = 0,65** ; Vacuüm 6,5 mm **Rg = 1,43**

Uit de vergelijking van de isolatiewaarden heeft de ruimte tussen de ruiten grote invloed op de isolatiewaarde van het glas. Vooral bij Argon zal een dikkere spouw meer isolatie bieden. Voor vacuümglas zijn er verschillende leveranciers, ook met ruitdikte van 8,3 mm (gehard glas).

⁵ Het ligt in de verwachtingen dat de overwegingen over de architectuur een steeds mindere rol gaan spelen wanneer de energie kosten omhooggaan en het belang van de CO₂ -reductie steeds belangrijker wordt. In de situatie van het Raadhuis in Hilversum kan een architectuur beoordeling gemaakt worden van een afstand, van dichtbij, van binnen voor de representatieve ruimtes en van binnen voor ramen die niet opvallen. Voor elk van deze categorieën zouden verschillende criteria kunnen gelden voor een betere isolatie aanpassing.

Berekening van de terugverdientijd op de energierekening.

Met de scherpe verhoging van de energiekosten medio 2022 is het beter isoleren van deze oude ijzeren stoeltjesprofielen ramen nog belangrijker geworden.

De volgende tabel is de samenvatting van de berekening, waarbij de gasprijs wordt gesteld op € 2/m³. Omdat de meeste ruimtes goed verwarmd zijn (gangen en kantoren, wordt in de berekening gebruik gemaakt van een hoge waarde voor de graaddagen van 2531⁶ voor een gemiddelde⁷ binnen temperatuur van 18 graden Celsius (kantoren/woonruimte hoog).

Door de U-waarde van het bestaande glas in te vullen en dat van de nieuwe optie wordt de mindere hoeveelheid gas berekend en kan op basis van de kostprijs voor glas en montage de theoretische terugverdientijd in jaren worden berekend. Deze tarieven zijn schattingen uit 2022.

BEREKENING GEBOUW ONDERDEEL.				€ gasprijs 2,00		per m³						Terug- verdien- tijd jaren
				Graad- dagen	m³ gas per jaar	W/m².K U-Nieuw	m³ gas NIEUW	minder m ³ gas	kosten glas/m²	Verbouw kosten		
onderdeel en locatie	Breed	hoog	Ug OUD									
ruiten 1 vacuümglas AGC	0,50	0,30	5,90	2531	5,5	1,90	1,8	3,7	€ 500	€ 75	7,4	
ruiten 2 Stolker Monuglas 9	0,50	0,30	5,90	2531	5,5	3,80	3,5	2,0	€ 150	€ 23	5,7	
ruiten 3 Stolker Monusafe 8	0,50	0,30	5,90	2531	5,5	5,00	4,7	0,8	€ 110	€ 17	10,6	
ruiten 4 Ruysdeal folie	0,50	0,30	5,90	2531	5,5	5,00	3,6	1,9	€ 140	€ 21	7,5	
ruiten 5 enkel 3M Thinsulate	0,50	0,30	5,90	2531	5,5	5,00	3,6	1,9	€ 140	€ 21	7,5	
ruiten 6 1x Acrylplaat	0,50	0,30	5,90	2531	5,5	2,70	1,8	3,7	€ 60	€ 9	1,2	
ruiten 7 2x Acrylplaat	0,50	0,30	5,90	2531	5,5	1,80	1,2	4,3	€ 120	€ 18	2,1	
ruiten 8 achterzetkozijn HR++	0,50	0,30	5,90	2531	5,5	1,10	0,4	5,1	€ 200	€ 30	2,9	
ruiten 9 1x Acrylaat	0,50	0,30	5,90	1955	4,2	2,70	1,9	2,3	€ 60	€ 9	1,9	
ruiten 10 achterzetkozijn HR++	0,50	0,30	5,90	1955	4,2	1,10	0,8	3,5	€ 200	€ 30	4,3	

In de bovenstaande tabel is overal dezelfde ruitafmeting genomen van 30 cm x 50 cm.

De laatste twee entries zijn met een iets lagere binnen temperatuur zoals bij gangen van het gebouw die minder warm gestookt worden dan de kantoorruimtes.

Ofschoon de gas tarieven aan de hoge kant is, op basis van de langere termijn schatting, kan gesteld worden dat de toepassing van Acrylaatplaten in één enkel stookseizoen zijn terugverdiend op de energierekening.

Echter, acrylplaten zijn geen meerwaarde van het gebouw en hebben een tijdelijk karakter.

De kosten van het plaatsen van de HR⁺⁺ ruiten zijn sterk afhankelijk van het gekozen systeem.

⁶ Het aantal graaddagen loopt jaarlijks terug met het warmer worden van het klimaat. Vooral de winter 2023-2024 was extra zacht. Het staat niet vast dat deze trend zal doorzetten als er door de verandering van de algemene windrichting meer noordelijke of oostelijke wind zal ontstaan.

⁷ DE gemiddelde temperatuur is tussen de overdag temperatuur (kantoortijd en de lagere nachttemperatuur. Gezien de slechte isolatie van het gebouw is er een aanmerkelijk verschil tussen de dag en nachttemperatuur. Om het kantoorgebouw 's ochtend rond 08:30 uur op temperatuur te hebben zal de CV al om 06:00 uur op de hoge stand gezet moeten worden.

De toepassing van slanke binnenzijdige kozijnen met HR⁺⁺ glas is wel een duurzame oplossing.

- Om vochtophoping tussen de vaste ruit en de achterzetruit te voorkomen, moet met buitenlucht geventileerd worden.
- Het ventilatiegaatje moet met muskietengaas dichtgezet worden op te voorkomen dat er insecten naar binnen kruipen.

De terugverdientijd zal langer worden wanneer het verwarmingssysteem van het gebouw wordt omgebouwd naar een warmtepomp met een hogere COP dan de huidige gasverwarming. Afhankelijk van het fabricaat kan dit verschillende prijsstellingen hebben.

Achterzetritten HR⁺⁺ in stalen profielen.

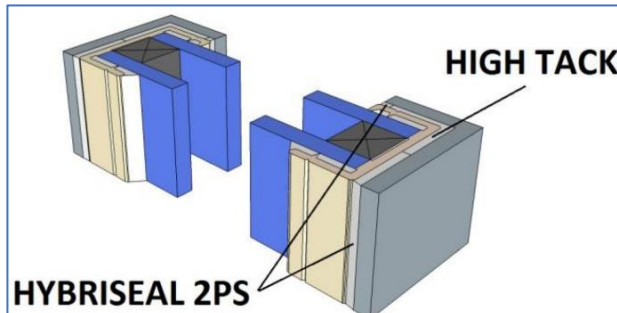
Een meer isolerende oplossing dan de Acrylplaat op een magneetstrip is het plaatsen van een extra stalen kozijn aan de binnenkant met een HR⁺⁺ ruit. Het ontwerp kan van grote glasplaten zijn die beter isoleren dan de kleine ruitjes. Van buitenaf zijn dan ook geen dubbele glasroeden te zien.

1. Bij de toepassing van een goede HR⁺⁺ raamisolatie (binnen, achterzetritten) kan/zal op de binnenkant van de buitenste ruiten bij vochtig koud weer condens optreden⁸. Dit is te voorkomen door de ruimte tussen de ruiten licht te ventileren door twee gaatjes beneden. De gaatjes moeten een fijn gaasje hebben zodat er geen insecten in kruipen.
2. De aanbevolen optie is een goede kwaliteit HR⁺⁺ met een dikte van 21-23 mm met Rc waarde 1,0. Dit is vanwege massaproductie een goede en relatief goedkope oplossing waarbij de hele constructie inclusief de enkel glas ruit of een Glas-in-Lood ruit een Rc = 1,2 oplevert. Dat is dan ongeveer 8 x zo goed als het enkel glas. De HR⁺⁺ ruit kan in een speciaal profiel in stalen L en T-profiel gezet worden zodat het er ook weer uitgehaald kan worden.
3. De HR⁺⁺ ruit kan uit 2 x 4mm bestaan met een spouw. Omdat de ruit binnen zit is er geen risico van een grote impact van een vogel die tegen het glas aanvliegt. Bij het bestellen van de ruit moet dit aangegeven worden anders wordt een ruit 5-spouw-*4 geleverd.
4. Wanneer de originele buitenste ruiten opengezet kunnen worden dan moeten de achterzetritten ook die constructie hebben. In dat geval is het helemaal niet mogelijk om de spouw tussen de ramen dampdicht te maken. Omdat de buitenste openzetbare ruiten niet hermetisch afsluiten zal de tussenruimte automatisch iets met buitenlucht geventileerd zijn.
5. Wanneer er een houten kozijn is waar het stoeltjesprofiel in zit gemonteerd dan kan het achterzetraam op het houten kozijn gemonteerd worden.
6. De toepassing van zwarte warm-edge spacers of TGI-spacers verhoogd de isolatiewaarde.

⁸ Dit kan alleen voorkomen worden wanneer de binnenste achterzetruit volledig gasdicht is gemonteerd tijdens droog weer, en via de muur ook geen damp tussen de ruiten kan komen. Dit is bijna niet haalbaar. Wanneer er een kleine opening in de binnenste achterzetruit zit zal daar bij het kouder worden van de lucht tussen de ruiten lucht van binnen worden aangezogen. Het vocht in de arme binnenlucht zal dan condenseren op de koude buitenste ruit. Dit proces zal zich elke nacht herhalen zodat er steeds meer vocht tussen de ruiten komt. Bij het ventileren met koude buitenlucht zal de ingezogen lucht (van buiten) opwarmen en dan niet condenseren. Bij grote ruiten kunnen twee ventilatie gaatjes gemaakt worden.

<https://www.grona.nl/conforglace> heeft HR⁺⁺ achterzetruiten in een dun aluminium profiel. Deze worden met scharnieren op het bestaande kozijn vastgezet, of in een bestaand L of T profiel gelijmd. Het is ook mogelijk om deze ruiten met 2 tot 3 mm speling in de metalen L of T profielen te plaatsen en met een dun kitlijntje dicht te zetten. Het kitlijntje kan met een mes losgesneden worden.

Figuur 17.
Het glas zit in een profiel dat met hightack in het stalen profiel wordt vastgezet. Zonder lijmen of Hybriseal is het glas te verwijderen.

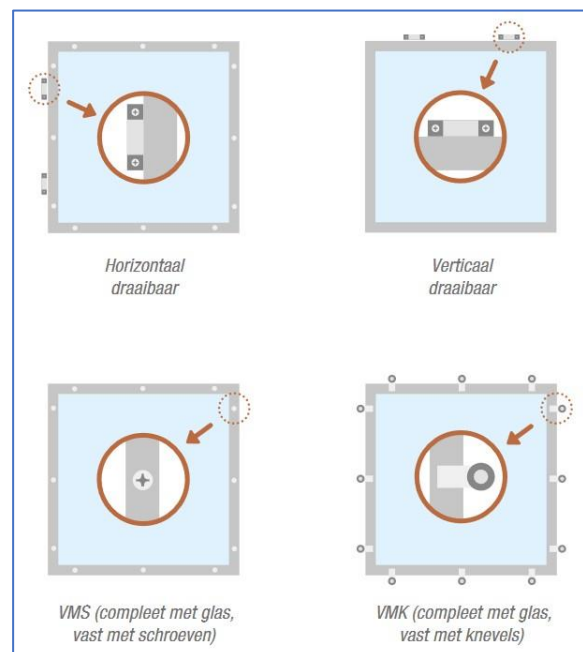
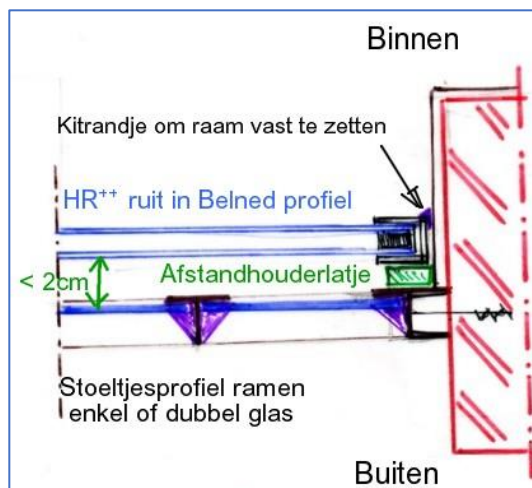


Figuur 18. Rechts. Constructie detail. Bij een houten kozijn kan deze oplossing eenvoudig aangebracht worden. Voor het scharnier(links) en het donkergekleurde klem-palletje (rechts) aan de rechterkant is een breedte van 20 mm nodig.



Ook Belned <https://www.belned.nl/producten/voorzetramen/> heeft dezelfde HR⁺⁺ achterzetramen met scharnieren of schroefjes. In het stoeltjesprofiel of de extra L profielen kan een tapschroef geboord worden. Bij een monument zal dat niet toegestaan zijn. Er is echter geen windbelasting op de ramen, dus kunnen ze met een dun transparant kitrandje vastzetten. Dit is veel minder werk en kan ook makkelijker verwijderd worden.

Figuren 19. Verschillende montage opties van Belned.
Linksboven het scharnier van figuur 18.
Linksonder met schroefjes in het randprofiel.
Onder. Vastzetten van binnen geplaatst raam.



Bij deze opties kan er ook een custom-made stalen L of T (middenstijl) draagprofiel gemaakt worden dat in de muur wordt vastgezet en waar de HR⁺⁺ achterzetruit in wordt geplaatst. Het stalen draagprofiel kan per erg groot/hoog raam in het midden met een T profielen onderbroken worden. De meeste staalbedrijven kunnen dit maken.

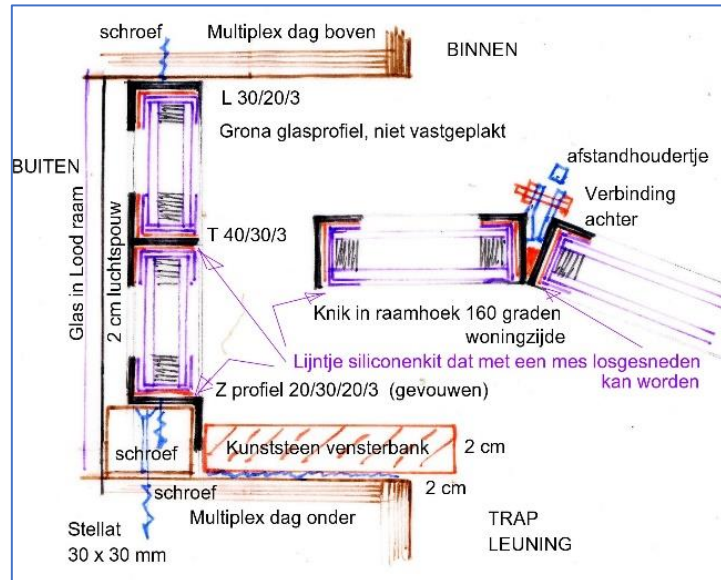
Bij raampartijen met veel kleine ruitjes waar een bocht in de glaswand zit kunnen de L profielen van de grotere ramen onder een hoek tegen elkaar zitten.

Figuur 20. Grona of Belned.

Conforglace 21 mm van AGC direct in staalprofiel gezet.

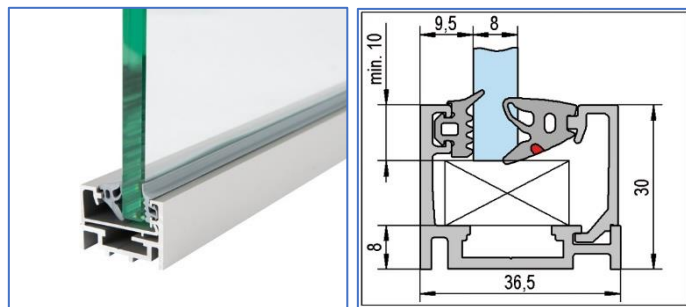
Isolatie waarde HR⁺⁺ 2 x 3 mm Ug = 1,1 (Rc = 0,9).

Bij een smalle gebogen raamconstructie kan met meerdere aan elkaar geschakelde rechte ramen aan de binnenzijde een bocht gemaakt worden.



7. Een andere vlakglas optie is een Vacuümglas ruit met Rc waarde 2,0 en dikte 8,3 mm. Dit is aanzienlijk duurder dan de HR⁺⁺ oplossing. De hele constructie levert dan een Rc = 2,2 op. Het aluminium klik-profiel met rubberpakking komt in 8 mm en 10 mm. Het is de vraag of de 8,3 mm in het 8 mm klikprofiel past. **Duur.**

Figuur21. Aluminium profiel met kliksluiting dat in stalen L profiel past.
www.glaskoning.nl



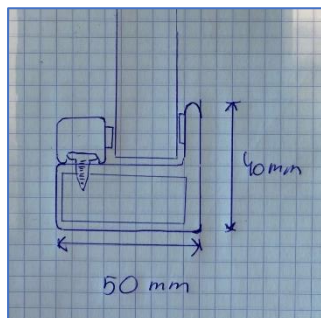
8. Het glas of de Belned/Grona moet ingemeten/besteld worden als de extra binnen kozijnen gemaakt/geplaatst zijn. Grona leverancier geeft aan dat ze niet het plaatsen van de ramen of kozijnen doen.
9. Blecks stalen deuren profiel met geschroefd klemlatje in stalen kozijn. Slanke stalen kozijnen me HR⁺⁺ glas. Toepassing van Coforglas profielen van 21 mm.
De Blecks ramen oplossing is dat zij het metalen profiel pasmaken in de dag van de ramen. Bij de Belned/Grona optie moet men eerst het stalen raamwerk laten maken, zelf inmeten en bestellen. Er is geen gedetailleerd onderzoek gedaan naar de kosten.

Bij Blecks zijn de kosten voor één raam ongeveer 1200,- per m² exclusief BTW en inclusief inmeten en montage (prijspeil jaar 2022).

Figuur 22. Een 40 mm smal stalen kozijn optie is van Blecks.

Het HR⁺⁺ glas wordt vastgezet met een glaslat type kokerprofieltje dat in het dragende profiel wordt geschroefd.

Figuur 23. Het kozijn wordt op maat gemaakt.



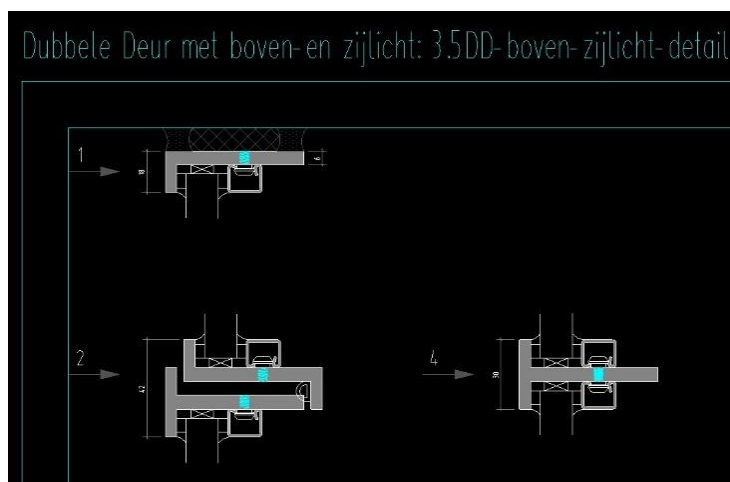
Figuur 24.

Detail uit CAD-tekening van Blecks binnendeuren. In plaats van enkel glas komt er dan HR⁺⁺ glas.

Detail 1 is rand aan sluiting.

Detail 4 is midden bij een recht raam.

Detail 2 kan bij een midden-knik.



De negatieve invloed van het stalen kozijn (slecht isolerend) op de isolatiewaarde van het HR⁺⁺ glas is wel aanwezig, doch beperkt. Een grote ruit moet minimaal 2x4 mm dik zijn; bij het bepalen van de ruitgrootte moet het gewicht worden meegenomen en de eenvoud van het plaatsen.
