

## Energie en kostenanalyse dubbel en driedubbel glas

### ■ Introductie

In de zoektocht naar betere en alternatieve bouwvormen om de doelstellingen voor lagere broeikasgasuitstoot en energieverbruik te behalen worden allerlei nieuwe materialen en methodes geïntroduceerd, zo ook driedubbel glas. De laatste paar jaar is er sprake van het via overheidswege opleggen van driedubbel glas, in plaats van dubbel glas. Er is veel onderzoek gedaan naar dubbel en driedubbel glas, maar geen vergelijking voor het Nederlandse klimaat van verschillende producten d.m.v. energetische berekeningen. Except heeft daarom een klein onafhankelijk onderzoek ingesteld om de verschillende factoren tegen elkaar af te wegen, gebruikmakende van analysesoftware, bestaande LCA data en kennis uit de vakwereld.

### Wat is driedubbel glas?

Driedubbel glas, of drievoudig gelaagd glas, bestaat in een aantal vormen. Veel voorkomend is een standaard dubbelglas eenheid met daaraan toegevoegd een dunne laag extra glas tussen de twee andere lagen en een *spacer*<sup>1</sup>. Driedubbel glas kan hierdoor een hogere isolatiewaarde bereiken dan dubbel glas omdat de extra glasplaat convectie verhindert tussen de twee kamers. De twee kamers die zo ontstaan kunnen, net als bij dubbelglas, vacuüm getrokken worden of gevuld met isolerend gas (dit krijgt de toevoeging 'HR'). In Scandinavië is driedubbel glas al enige tijd op de markt, vanwege de koude winters. Met het gematigde klimaat in Nederland heeft het langer geduurd voordat het product zich op de markt vertoonde. Een driedubbel glas unit hoeft niet dikker te zijn dan een dubbel glas unit, maar weegt wel meer, wat extra kosten m.b.t. fabricage, transport en plaatsing met zich meebrengt.

De *isolatiewaarde* U<sub>glas</sub> is de mate waarin het convectie en geleiding van warmte tegen gaat: hoe lager hoe beter, uitgedrukt in  $m^{-2} K^{-1}$ . Dubbel HR glas heeft een waarde rond de 2, HR+ glas tussen 1.6 en 1.1, en HR++ glas lager dan 1.1. Driedubbel HR glas wordt ook wel aangeduid met HR+++<sup>2</sup>. De *transmissiewaarde* van glas bepaalt de mate van straling die het glas doorlaat, in een component zichtbaar licht en warmte, en komt in een grote variëteit voor.

Experimentele producten met een vulling van aero-gels hebben U waarden van lager dan 0.7 bereikt<sup>2</sup>, en vacuüm gevulde driedubbel glas units in laboratoria waarden van 0.2 en lager<sup>3</sup>. Deze producten zijn momenteel niet algemeen op de markt te verkrijgen.

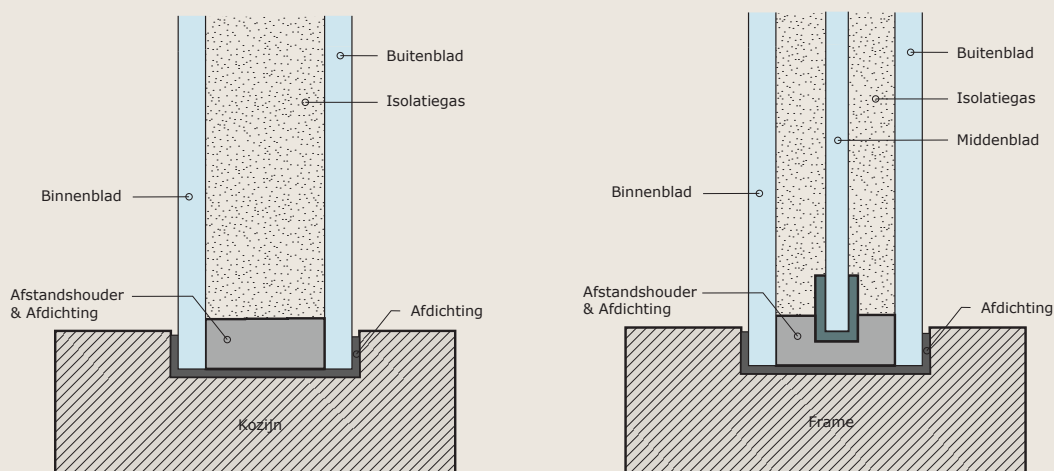


fig. 1

## ■ Onderzoek

Dit onderzoek kijkt naar een aantal doorslaggevende factoren van het toepassen van driedubbel glas ten opzicht van dubbel glas:

- Energetische prestaties (is er minder energie nodig om een huis te verwarmen?)
- Milieubelasting (wegen de extra energie en materialen voor fabricage op tegen eventuele besparing?)
- Kosten (betaalt de investering zichzelf terug?)

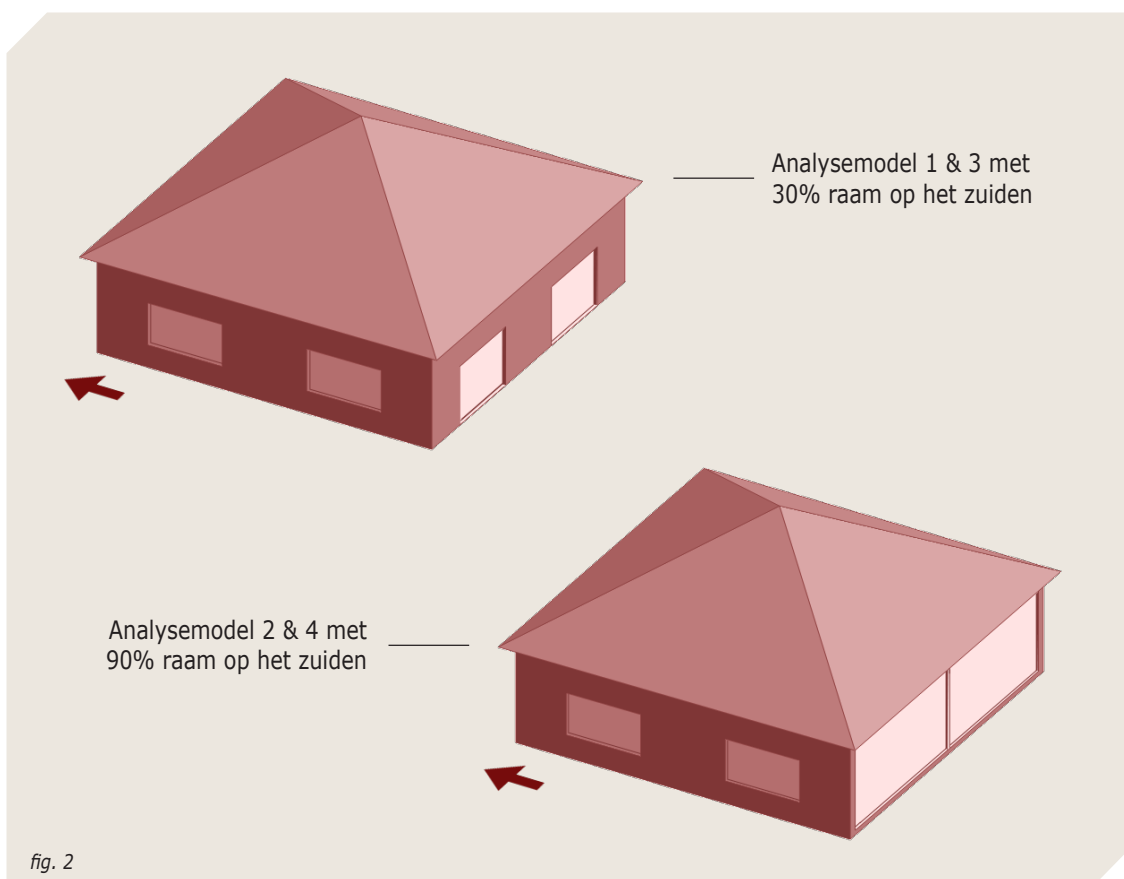
Dit wordt uitgevoerd door energetische en klimatologische computeranalyse toe te passen om deze vragen kwantificeerbaar te maken. Lifecycle analysis geeft inzicht in de energiekosten en milieubelasting van de verschillende producten gedurende fabricage en levensduur en om met elkaar te vergelijken.

### Opzet van het onderzoek

Het onderzoek is opgezet voor woningbouw. Het onderzoek gebruikt als standaard model een 'worst case scenario'; een eenvoudige vrijstaande woning met een kleine vloeroppervlakte. In dit geval een enkele woonlaag van 10x10 meter. Er zijn vier varianten, om de invloed van de grootte van het glasoppervlak op het zuiden en extra wandisolatie als vergelijkend besparende maatregelen naast elkaar te kunnen zetten:

- Variant 1: 10% glas op Noord, 20% Oost & West en 30% op Zuid, 100mm EPS wandisolatie
- Variant 2: 10% glas op Noord, 20% Oost & West en 90% op Zuid, 100mm EPS wandisolatie
- Variant 3: 10% glas op Noord, 20% Oost & West en 30% op Zuid, 140mm HR glaswol wandisolatie
- Variant 4: 10% glas op Noord, 20% Oost & West en 90% op Zuid, 140mm HR glaswol wandisolatie

Variant 1 en 2 hebben gemiddelde nederlandse bouwmaterialen, isolatie en afwerking in dak en wanden, en een gemiddeld activiteitschema van een woonhuis. Variant 3 en 4 hebben een verbeterde wandisolatie, en een 20% verbetering in kieren afdichting. De verwarming van alle varianten geschiedt d.m.v. vloerverwarming met een hoogrendementsketel op gas. Het is gemodelleerd op het Nederlandse klimaat.



Deze woningen zijn vervolgens uitgerust met verschillende glastypes, en met de EnergyPlus energie-algoritmen berekend voor een volledig jaar gebruik. Deze methode levert numerieke waarden op voor onder andere totale energieverbruik gas en elektriciteit, CO2 uitstoot en directe zonnestralingwinst. Het voordeel van het gebruiken van analytische rekenmodellen is het meewegen van allerlei bijkomende factoren als klimaat, infiltratie, gebruikskarakteristieken etcetera. Door middel van regressie-testen kan men zo betrouwbare en herhaalbare experimenten snel uitvoeren. Deze algoritmen nemen niet alle fysische processen in acht, zoals temperatuurgradienten over het glasvlak, en richtingsgevoeligheid van zonne-instraling<sup>4</sup>. Dit zal echter het onderzoek niet in grote mate beïnvloeden.

## ■ Geteste glastypen

Vijf glastypen zijn getest waarvan alles specificaties bekend en gestandaardiseerd zijn voor EnergyPlus berekeningen. Een enkel glas laag is toegevoegd als referentie, en een isolerend glastype voor vergelijking met de normale glastypen voor dubbel en driedubbel glas. "Uglas" is de isolatiewaarde, en "Trans" de transmissiewaarde.

Type:	Enkel	Dubbel	Dubbel HR	Driedubbel	Driedubbel HR
Glas:	6mm helder	6mm/13mm	3mm/13mm	6mm/13mm	6mm/13mm
Vulling:	-	Lucht	Argon	Lucht	Argon
Eigenschappen:	Uglas = 5.36 Trans = 0.351	Uglas = 2.45 Trans = 0.216	Uglas = 1.60 Trans = 0.688	Uglas = 1.21 Trans = 0.303	Uglas = 0.78 Trans = 0.470

## ■ Energetische Calculatie

Onderstaande grafiek (fig.3) laat het totale energieverbruik zien van de analysemodellen voor een compleet jaar met de verschillende glastypen voor 30% en 90% glasbezetting voor de zuidgevel.

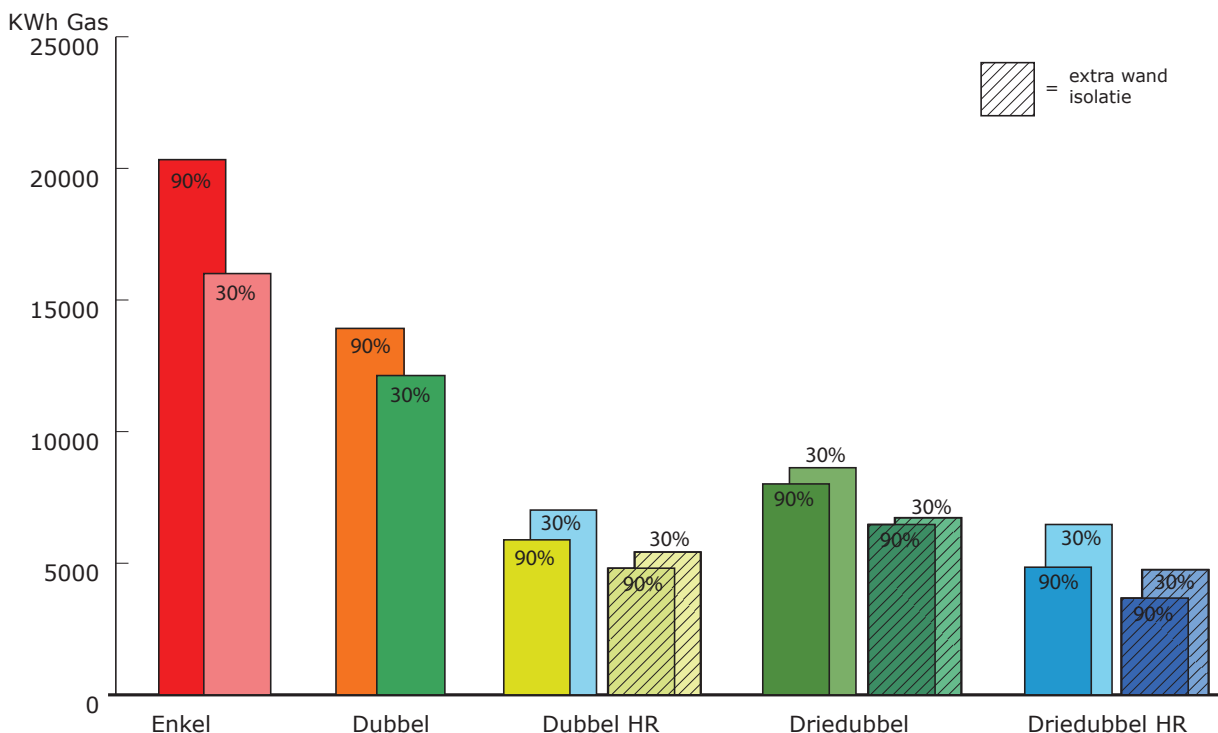
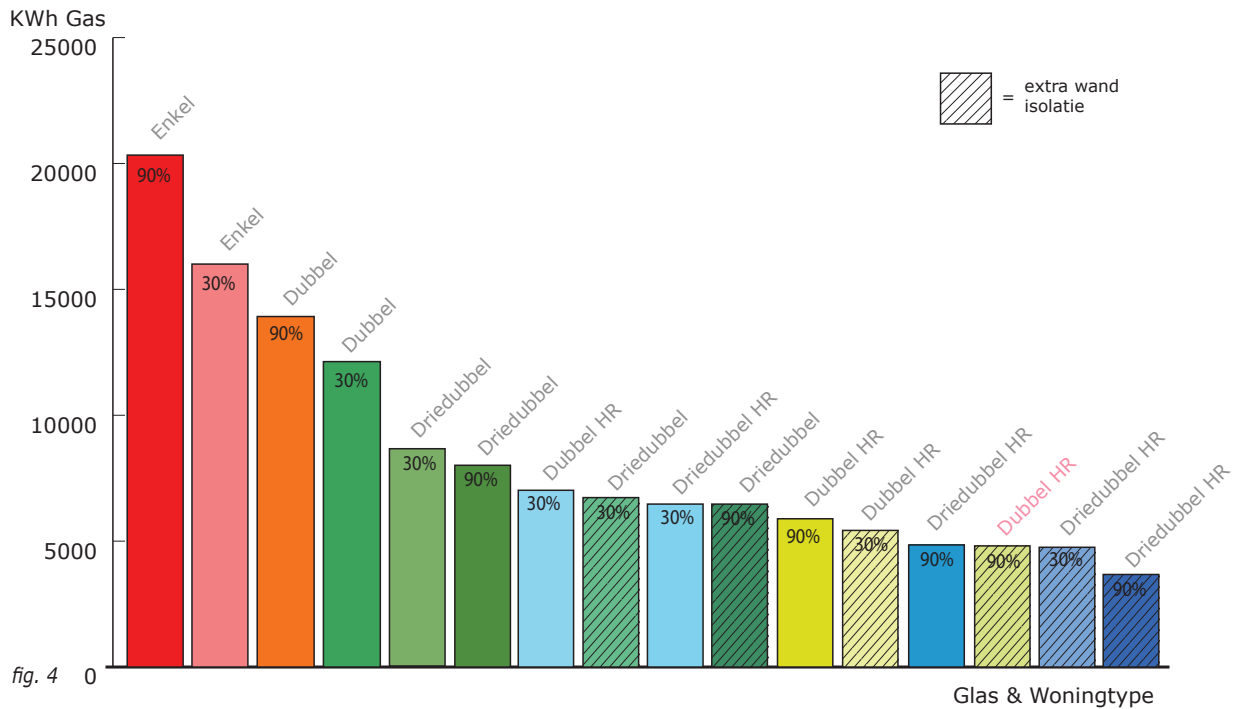
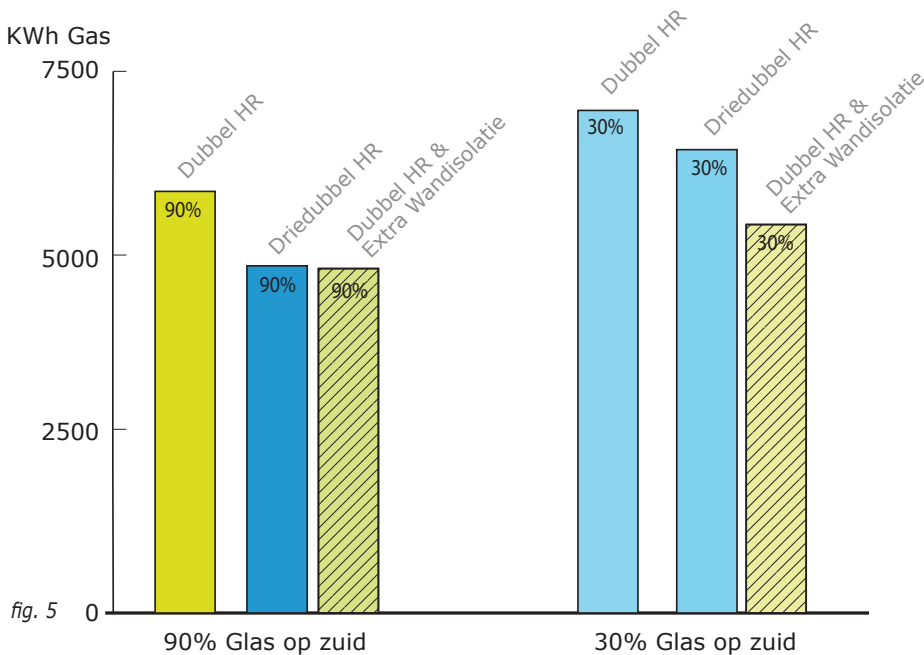


fig. 3



Figuur 4 laat dezelfde resultaten zien, gerangschikt naar prestatie. Zoals we zien is driedubbel glas geen garantie voor een lager energiegebruik, noch automatisch een betere keuze dan een investering in een ander isolatiemiddel. Het is afhankelijk van het soort driedubbel glas, de specifieke omstandigheden, isolatiewaarden van andere constructiedelen en de transmissiewaarden van het glas.



Bovenstaande grafiek toont aan dat een verbeterde wandisolatie een gelijk of groter effect heeft op de energiebesparing van het huis dan het toepassen van driedubbel HR i.p.v. dubbel HR glas.

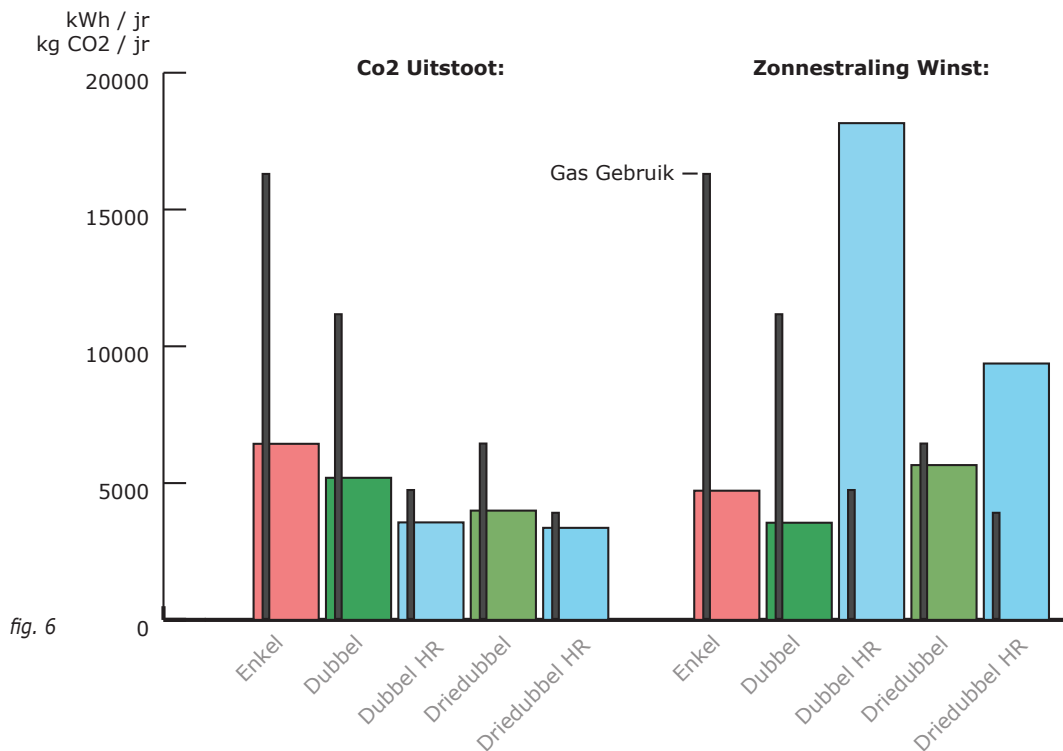


fig. 6

De linkerzijde van Figuur 6 laat het gas gebruik t.o.v de CO2 uitstoot zien. We kunnen zien dat CO2 en gasgebruik direct aan elkaar gerelateerd zijn, maar de besparingen in gasgebruik t.o.v. CO2 uitstoot worden getemperd door andere vormen van energiegebruik in de woning zoals water en elektriciteit. Dit betekent dat maar een beperkt deel van de CO2 uitstoot van een huis bepaald wordt door de hoeveelheid verstoekt gas voor de verwarming.

De rechterzijde van figuur 6 laat de grote verschillen in energiewinst door middel van zoninstraling voor de verschillende glastypen zien voor het huis met 90% glasopening op het zuiden. Dit is gerelateerd aan de verschillende transmissiewaarden van de glastypen, want glastypen met een hogere transmissiewaarde laten meer licht en warmte door. De winsten van zoninstraling in de wintermaanden hebben een directe afname van het gasgebruik ten gevolge, die in zich dezelfde orde grootte bevindt. Dit verklaart waarom het dubbele HR glas beter presteert in het energiegebruik dan het driedubbele glas, ondanks de hogere isolatiewaarde van het driedubbele glas.

De CO2 reducties die gehaald worden door het toepassen van Driedubbel HR glas ipv Dubbel HR glas zijn 200kg per jaar, oftewel 5.5%. Dat is gelijk aan ongeveer 1/40e van de belasting van een gemiddelde auto per jaar.

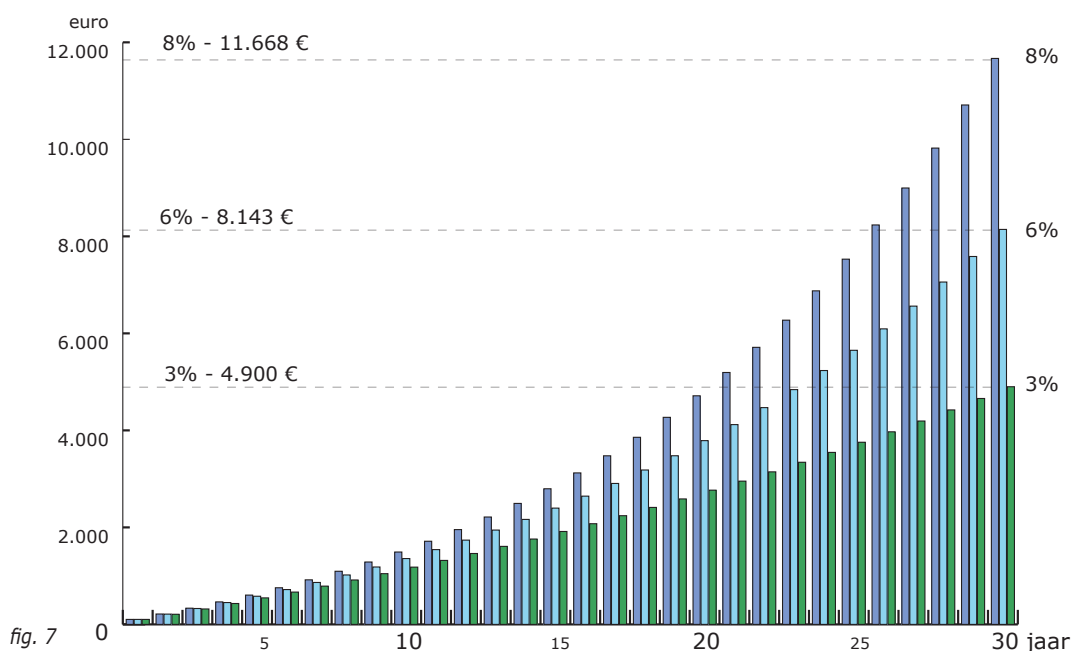
## ■ Kosten Calculatie

Voor het totale kostenplaatje moeten we kijken naar de opbrengst over de gebruiksduur van het product, en de aanschaf en installatiekosten. We vergelijken hier de Dubbel HR en Driedubbel HR met elkaar over een periode van 30 jaar, voor het huis met 90% zuidglas bezetting (37m<sup>2</sup> glasoppervlak). We gaan hier uit van 45 euro/m<sup>2</sup> geplaatst voor Dubbel HR glas en 125 euro/m<sup>2</sup> voor driedubbel<sup>6</sup>.

Kosten geplaatst dubbel:	1665 euro
Kosten geplaatst driedubbel:	4625 euro

**Kostenverschil: 2960 euro**

De besparing in energiekosten worden berekend met inachtneming van 3% en 6% prijsstijging van de gasprijs per jaar. Het basisverschil in jaar 0 is 103 euro kostenbesparing per jaar<sup>7</sup>, wat volgt uit het verschil in gasgebruik tussen de producten, vermenigvuldigd met de gasprijs. Figuur 7 laat de opbouw van besparingen zien voor verschillende geprojecteerde prijsstijgingen van energiekosten.



Totale besparing over 30 jaar is in alle gevallen 3500 m<sup>3</sup> gas. Met een rentepercentage van 4% wordt de *contante waarde* van de besparingen als volgt:

De totale besparing in energiekosten met 3% stijging per jaar na 30 jaar: 1510,84 €  
 De totale besparing in energiekosten met 6% stijging per jaar na 30 jaar: 2510,64 €  
 De totale besparing in energiekosten met 8% stijging per jaar na 30 jaar: 3597,51 €

Return On Investment (ROI) is de periode waarin een investering zichzelf terug betaalt. De ROI voor 3% en 6% energiekostenstijging is meer dan de levensduur van het product, en voor 8% meer dan 26 jaar. Dit is een zeer lage ROI, en voldoende voor investering door de consument of private partijen. Dit zou in de toekomst omlaag kunnen gaan zodra de prijs van driedubbel glas daalt.

## ■ Belasting levenscyclus

Gebruikmakend van een Life Cycle Analysis (LCA) kunnen we inzien wat de verschillen in energie en milieu-belasting zijn voor de gehele levenscyclus van een product, inclusief fabricage, transport, etc. Dit is uiteraard in mate afhankelijk van de toepassingslocatie en afkomst van het product, maar met vergelijkbare data kunnen we een inschatting maken van de te verwachten resultaten.

### LCA Berekening<sup>9</sup>:

**Dubbel HR:** 547 MJ niet-hernieuwbare energie  
29 kg CO<sub>2</sub>eq = **151.9 kWh/m<sup>2</sup>**

**Driedubbel HR:** 837 MJ niet-hernieuwbare energie  
40 kg CO<sub>2</sub>eq = **232.5 kWh/m<sup>2</sup>**

Het verschil in totale levenscyclus belasting van drievoudig gelaagd glas ten opzichte van dubbel glas is 80.6 kWh voor een enkele vierkante meter en bijna 3000 kWh voor het gehele huis. Met een winst van meer dan 1000 kWh per jaar aan energiebesparing bij het gebruik maken van drievoudig gelaagd glas is deze extra investering in levenscycluskosten binnen drie jaar terugverdiend. De extra CO<sub>2</sub> productiekosten van 11 kg voor driedubbel HR glas zijn binnen enkele maanden terugverdiend door de 200kg /yr efficiencywinst t.o.v. dubbel Hr glas.

Deze LCA berekening gaat er van uit dat de twee producten uit dezelfde fabriek komen, en op dezelfde locatie worden afgeleverd. Dit zal in realiteit niet het geval zijn. Driedubbel glas wordt geleverd door een zeer select aantal glasproducenten, en komt vaak uit het buitenland. Transport is vaak een grote factor in de totale LCA milieu en energiekosten berekeningen. Bij productkeuze dient dit laatste deel traject meegerekend te worden, zeker als het driedubbele glas uit Zweden komt.

## ■ Conclusies

Deze resultaten hebben enkel betrekking op een specifiek klimaat en experiment. Drievoudig gelaagd HR glas presteert beter dan goed geïsoleerd dubbel glas en over de levensduur van het product wint het zijn eigen levenscyclus energiekosten meerdere malen terug, mits:

- ... De primaire energieopwekking van de woning op gas geschiedt volgens de standaard hier gebruikt. Met een nul-energiehuis bijvoorbeeld zal een andere (minder gunstige) karakteristiek zichtbaar worden.
- ... Indien directe zon-instraling gebruikt wordt als vorm van energiewinst, en de transmissiewaarde van het driedubbel glas lager is dan van dubbel glas, kan het de energiewinst van de zon belemmeren.
- ... Het driedubbel glas van hoge kwaliteit is. Er zijn driedubbel glassoorten die slechter presteren dan (veel goedkoper) dubbel HR glas.

Al deze factoren zijn afhankelijk van orientatie, ventilatie, interne belastingen, en andere constructie materialen<sup>9</sup>.

### Nadelen:

- Driedubbel glas is aanzienlijk zwaarder dan dubbel glas. Dit verhoogt transport en plaatsingskosten en kan als oorzaak van meer letsel onder bouw personeel dienen. Glas tillen is met dubbel glas reeds een probleem.
- De terugverdientijd (ROI) is zeer hoog door de aanzienlijk hogere aanschafkosten van driedubbel glas, en de beperkte energiewinst.
- De energetische winsten van driedubbel glas zullen afnemen naarmate de isolatie van de rest van het gebouw wordt verbeterd, of indien er minder glasoppervlak wordt gebruikt.
- Enkel de hoog-rendement versies van de glassoorten behalen winsten, en in Nederland is het reeds standaard om dubbel glas met een U waarde van 1.1 te leveren, beter dan het dubbel glas gebruikt in dit experiment.
- Bij toepassen van drievoudig glas moet goed opgelet worden of het een daadwerkelijke hogere energieprestatie behaalt. Ook is de transmissiewaarde van groot belang. Glastypes die zon weren doen de winst duidelijk dalen, ondanks hogere isolatiewaarden.
- In veel gevallen is er meer energie te besparen door andere maatregelen zoals het slim plaatsen van openingen of het isoleren van de wanden dan door het toepassen van drievoudig gelaagd glas.

**Voordelen:**

- Drievoudig gelaagd glas heeft een betere geluidsisolatie dan dubbel glas, wat als bijkomend voordeel kan dienen in overlastgebieden<sup>10</sup>.
- Goed driedubbel glas heeft minder last van condensvorming dan dubbel glas.

**■ Lange termijn overwegingen**

De vraag of een overheid specifieke oplossingen moet voordragen, of zich enkel moet richten op het vaststellen van prestatienormen is hier aan de orde. Het opleggen van een bepaald product als vereiste kan de prestatie van bepaalde toepassingen aan de ondergrens van het toepassingspectrum verbeteren. Echter, het kan ook het functioneren van meer innovatievere toepassingen in de weg zitten. In sommige gevallen zijn ontwerpwijzigingen bijvoorbeeld een effectievere oplossing voor energiebesparing dan het toepassen van een specifiek technisch product zoals driedubbel glas. Ook kan de kwaliteit van aangeboden producten uiteen lopen, waardoor bijvoorbeeld slecht driedubbel glas vele malen slechter presteert dan goed dubbel glas, en het doel gemist wordt. Hierbij zullen de hogere kosten voor drievoudig gelaagd glas een grote (landelijke) financiële, energetische en broeikasgasuitstoot verliespost worden. Ook zijn er nieuwe driedubbel glas technologieën in ontwikkeling met hogere isolerende capaciteiten dan huidige producten. Beleid baseren op een technologie in ontwikkeling is niet aan te raden.

Met de ontwikkeling dat passief-huis en nul-energie bouwen steeds prevalenter wordt, en het mogelijk is deze vormen van bouw toe te passen zonder driedubbele beglazing, zal de balans van verlies en winst duidelijk verschuiven. Wat bij een normale woning een winst kan zijn, kan bij nieuwe bouwvormen leiden tot een reductie in totale energiebesparing voor de gehele levenscyclus. Ook worden de kosten onnodig verhoogd, middelen die op andere plaatsen nuttiger kunnen worden ingezet.

Except is van mening dat stimulatie enkel moet geschieden op prestatieniveau, en dat het daarin verplicht stellen van bepaalde producten of productgroepen de uiteindelijke prestatie vaak niet ten goede zullen komen.



## ■ Referenties

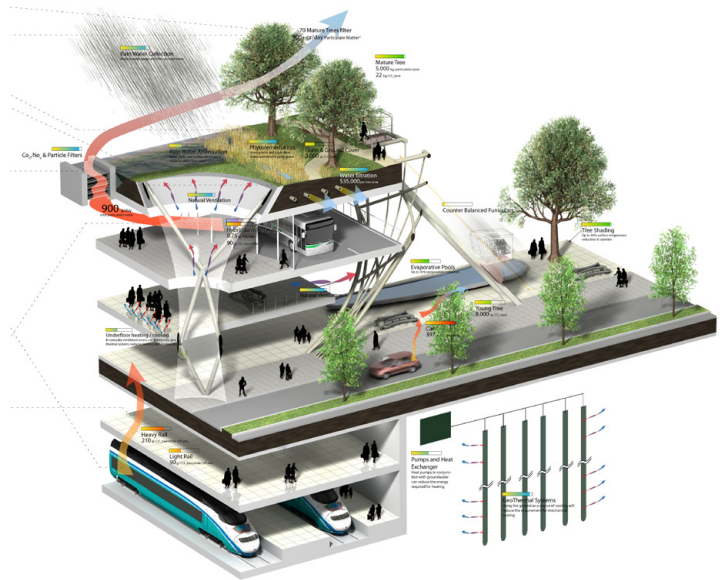
- 1) *US Patent 4149348, Stanley J. Pyzewski, July 1977*
- 2) *Super insulating aerogel glazing - SCHULTZ J. M, Solar Energy Materials and Solar Cells, 2005, vol. 89, no 2-3 (221 p.)*
- 3) *Triple vacuum glazing : Heat transfer and basic mechanical design constraints, by Manz, Brunners, Wullschleger, Solar Energy, 2006, vol. 80, no12, pp. 1632-1642*
- 4) *Evaluation of predictive models for the angle-dependent total solar energy transmittance of glazing materials, by Karlsson Rubin & Roos, Solar energy, 2001, vol. 71, no1, pp. 23-31*
- 5) *The Environmental Performance of Public Procurement: Issues of Policy Coherence By Nick Johnstone, Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD 2003*
- 6) *Cost for a project with more than 1000m2 glass surface. Price is an average of three market sources, February 2009*
- 7) *Caloric value gas: 31,65 MJ/m<sup>3</sup>, Gas price 0,72 per m<sup>3</sup> euro incl. tax: Eneco 10-Feb-2009, Gasprofile 1, Region 1*
- 8) *LCA data from: Energy Manual (Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer) - 2008 Birkauer Verlag, p 262*
- 9) *THE EFFECT OF GLAZING TYPE AND SIZE ON ANNUAL HEATING AND COOLING DEMAND FOR SWEDISH OFFICES by Helena Bülow-Hübe, 1998, [http://aesl.hanyang.ac.kr/resource/misc/hbh\\_retcc98.pdf](http://aesl.hanyang.ac.kr/resource/misc/hbh_retcc98.pdf)*
- 10) *Prediction of sound transmission loss through multilayered panels by using Gaussian distribution of directional incident energy, by Kang, Hyun-Ju; Ih, Jeong-Guon; Kim, Jae-Seung; Kim, Hyun-Sil, The Journal of the Acoustical Society of America, Volume 107, Issue 3, March 2000, pp.1413-1420*

---

**Dit document is opgesteld door Tom Bosschaert i.s.m. Except Architectuur, Stedenbouw, Consultancy & Presentatie. Meer informatie over Except is te vinden op: [www.except.nl](http://www.except.nl)  
Contact informatie: [tom@except.nl](mailto:tom@except.nl)**

Dit document is © 2009 Except. Niets uit dit document mag worden opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, of delen uit dit document gebruikt afzonderlijk van de rest, hetzij elektronisch, mechanisch of op enige andere manier zonder voorgaande schriftelijke toestemming van de auteur. Geen rechten mogen worden ontleend aan de informatie in dit document.

## Denktank Duurzame Samenleving



### Wat is Except?

Except is een duurzaamheids denk-tank die doet, een architectenbureau dat onderzoekt, een media bureau dat adviseert. Onze kernfunctie is het oplossen van complexe problemen in de samenleving op duurzame en geïntegreerde wijze door middel van ontwerp, onderzoek en advies.

### Wie is Except?

Except verzamelt kennis van vele vakgebieden door gelieerde experts en een aantal werknemers die zich op verschillende plaatsen in de wereld bevinden, mondiaal samenwerken en teams kunnen samenstellen die precies de juiste kennis en ervaring bezitten. Wij dagen onze medewerkers en partners uit om verder te denken, het totale traject te begrijpen en voortdurend van elkaar te leren en te experimenteren.

### Wat doet Except?

Except werkt aan stedenbouw, planning en architectuur, we werken met overheden en gemeentes aan beleid en innovatie, we werken met bedrijven om bijvoorbeeld corporate social responsibility programma's te implementeren op een geïntegreerde wijze. Naast dit alles onderzoekt Except autonoom en in opdracht naar oplossingen voor energiewinning, transportproblematiek, voetgangersgebieden en stedelijke vernieuwing. We denken over mensen, maken mooie dingen en plekken die mensen aanspreken en eigen willen maken en inspireren, zodat ze langer gebruikt worden en een eigen bestaan op kunnen bouwen.

Except ontwerpt met de nieuwe Nuts en oude gebouwen, decentrale energie en afvalverwerking, nul-energie gebouwen, sociale integratie en veiligheid. We ontwikkelen strategische plannen voor de gebouwde omgeving en verzinnen oplossingen voor problemen zoals de verlaten bedrijventerreinen.

### Waar werkt Except aan?

Wij doen dit alles in hecht teamverband met verschillende partijen en stroomlijnen de communicatie door heldere informatie visualisatie en ontwikkel processen aan te bieden aan de opdrachtgever.

We hebben onder andere gewerkt aan Masterplanning voor Shanghai, Gebiedsontwikkeling in Boston, Educatieve Musea en overheidsgebouwen in de VS, Privé woningen, nul-energie mixed-use gebouwen, Corporate responsibility programma's, informatie visualisatie, film en media productie, stedelijke verdichting en stedelijke agricultuur. Except ontwikkelde in 2001 een algen fabriek voor integrale regioversterking in Australië, en in 2005 geïntegreerde verticale stedelijke kasbouw (vertical farms) in China.

In 2007 won Pelli Clarke Pelli Architects de grootste architectuurwedstrijd van de laatste 10 jaar met behulp van Except's advies en informatie visualisatie, voor de Transbay transportterminal in San Francisco.

Uitgebreide informatie over ons, onze projecten en onderzoek is te vinden op [www.except.nl](http://www.except.nl).