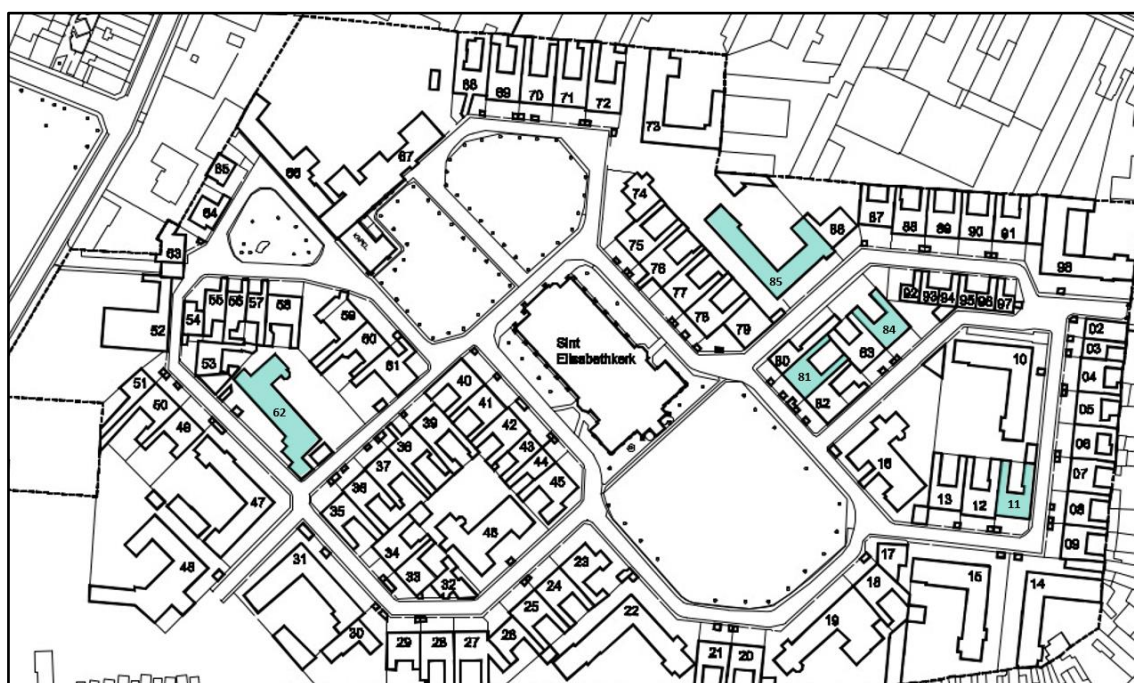


Projectfiche 7: Groot begijnhof, Sint-Amandsberg

Gegevens

Gebouwtype	huis 81 : gesloten bebouwing huis 11 en 84: halfopen bebouwing convent 62: vrijstaand convent 85: halfopen bebouwing
Functie vóór renovatie	alle begijnhofhuizen: woning convent 62: polyvalente ruimte, feestzaal convent 85: kantoren vzw sociale sector
Functie na renovatie	alle begijnhofhuizen: woning convent 62: polyvalente ruimte, feestzaal convent 85: kantoren vzw sociale sector
Bescherming	Beschermd als monument en als stadsgezicht sinds 1994 (aanduidingsobject ID 8939, besluit ID 2669), erkend als UNESCO werelderfgoed sinds 02-12-1998
Vloeroppervlak verwarmde ruimte na renovatie	huis 11: 184 m ² huis 82: 189 m ² huis 84: 187 m ²
Vermindering transmissieverliezen door renovatie	huis 11: 1.3 MWh/jaar huis 82: 0.1 MWh/jaar huis 84: 0.5 MWh/jaar
EPC-kengetal vóór renovatie	niet gekend
EPC-kengetal ná renovatie	niet gekend



Figuur 1. Situering van de drie woningen en twee conventen waar metingen werden uitgevoerd.



Figuur 2. Voorgevel van convent 85.



Figuur 3. Interieur van de feestzaal in convent 62.



Figuur 4. Voorgevel van woning nr. 11 (foto M. Lynen).



Figuur 5. Inkomdeur van woning nr. 11 (foto M. Lynen).



Figuur 6. Voorgevel van woning nr. 82 (foto M. Lynen).

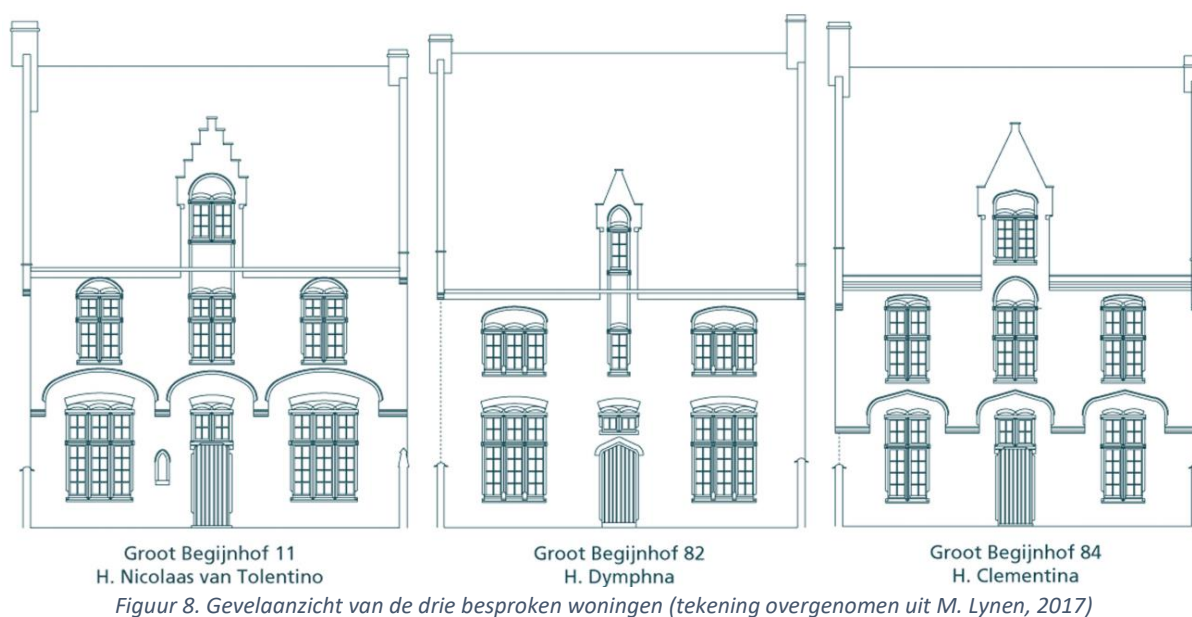


Figuur 7. Voorgevel van woning nr. 84 (foto M. Lynen).

Beknopte beschrijving

Het begijnhof is in zijn geheel gebouwd in 1872-1875 naar ontwerp van architect Arthur Verhaegen, een leerling van Jean-Baptiste Béthune. Het is volledig opgevat naar het patroon van de middeleeuwse begijnhoven als een ommuurde stad binnen een stad en overeenkomstig geïnspireerd op de Vlaamse gotische stijl van de 15de eeuw. Het begijnhof telt veertien conventen voor circa dertig begijnen en tachtig huizen.

De drie woningen die bestudeerd zijn, bestaan uit twee verdiepingen van drie traveeën onder een zadeldak, met een dakkapel centraal in de voorgevel (Figuur 4 tot Figuur 7). Het zijn halfopen of gesloten bebouwingen: aan één of beide kanten aanleunend tegen een buurhuis. Ze hebben elk zowel links als rechts van de tuin een aanbouw van één bouwlaag met lessenaardak.



De oorspronkelijke materialen zijn baksteenmetselwerk, natuursteen voor de raamkaders en naaldhout voor het buitenschrijnwerk.

De conventen zijn opgebouwd uit meer bouwlagen en beslaan meerdere vleugels. In dit project werden echter slechts specifieke ruimtes besproken van deze conventen: ze worden dus niet als gebouw in hun geheel beschreven.

In tegenstelling tot de andere projecten werden in het begijnhof geen grote renovatiewerken uitgevoerd tijdens de duur van het project. Wel werden tijdens de laatste decennia in de meeste panden enkele punctuele energiebesparende maatregelen genomen. Zoldervloeren zijn bijna overal geïsoleerd door het inblazen van cellulose tussen de balken. Beslissingen voor ingrepen worden vaak ad hoc genomen aangezien de panden continu bewoond zijn.

Achterzetramen zijn voor het eerst toegepast in de feestzaal van convent 62 in 2018 (houten profielen, enkel glas). In 2020 werden lichte aluminium schuiframen als achterzetraam geplaatst in convent 22, in 2021 gevolgd door houten achterzetramen in convent 85 (hout, dubbel glas). In huis 25 en convent 31 zouden inmiddels ook (voorzien april 2021) achterzetramen geplaatst zijn.

Het begijnhof wordt verwarmd op aardgas. Sommige panden hebben centrale verwarming, andere panden worden verwarmd met aparte gaskachels.

Energiebesparende maatregelen

Uitgevoerd of gepland

Dak

Zoldervloeren zijn bijna overal geïsoleerd door het inblazen van cellulose tussen de balken. Dat is onder andere gebeurd in huis 11 en huis 82, maar niet in huis 84. In sommige huizen waar de zoldervloer niet geïsoleerd is, is het vals plafond van het gelijkvloers we geïsoleerd, bijvoorbeeld met minerale wol achter houten planken. Op die manier creëert men in feite een beschermd volume dat slechts de helft van het huis beslaat en wordt de verdieping quasi een *aangrenzende onverwarmde ruimte*, om in termen van EPB te spreken.

Ramen en deuren

De **oorspronkelijke** houten profielen zijn slank en het enkel glas is met stopverf in een ondiepe sponning geplaatst langs de buitenkant. Vaak zijn de onderregel en de druiplijst vervangen of hersteld omdat ze door inwerking van vocht sterk aangetast waren. De ramen zijn opgedeeld met houten verdeelroeden. De profielen zijn in het algemeen in tamelijk goede staat. Wel zijn ze vaak overschilderd geweest met vrij dikke lagen. Thermisch verbeteren van deze ramen is technisch niet eenvoudig. Het is wel mogelijk om een elastische tochtband aan te brengen in een gefreesd sleufje.

In de linker aanbouw van huis 11 is een groot raam **vervangen** door een nieuw houten raam met dubbel glas; in het bureau op het gelijkvloers is een raamopening vergroot en is het oorspronkelijke raam vervangen door een houten schuifraam met dubbel glas. In de rechtse aanbouw van huis 84 zijn de ramen vervangen door nieuwe houten ramen met dubbel glas.

In de verschillende woningen zijn kleine eenvoudige ingrepen uitgevoerd om tocht door kieren en spleten te verminderen, bv. het aanbrengen van stoffen dichting in de woning op nr. 84.

De keuze om in te zetten op **achterzetramen** is een compromis om behoud van het oorspronkelijke schrijnwerk te combineren met een aanzienlijke verhoging van het comfort en een significante besparing van fossiele brandstof. Het Agentschap Onroerend Erfgoed legt de beheerder op om zoveel als mogelijk het originele schrijnwerk te behouden. In Figuur 9 en Figuur 10 worden als voorbeeld de ramen van het gelijkvloers van convent 85 getoond. De belangrijkste kenmerken zijn:

- Ze zijn ook opgevat als kruisvenster, met een slank vast kader. De bedoeling is dat de oorspronkelijke ramen nog open kunnen, maar in de praktijk lukt dat niet altijd door fouten in de maatvoering of doordat originele vensters dichtgeschilderd zijn.
- Ze hebben geen verdeelroedes in het glas.
- Ze zijn quasi in het vlak van de muur geplaatst, vermoedelijk uit praktische of esthetische overwegingen.
- Ze zijn geplaatst zonder breekwerk, dus gewoon ingeschoven in de raamopening, op de bestaande tablet. De aansluiting is gemaakt met een paslat rondom.
- De vleugels hebben wel een tochtstrip, maar sluiten niet zo goed op de vaste kaders aan als nieuwe ramen, onder meer omdat de sluiting gebeurt met historisch geïnspireerde roterende blokjes.

- Ze zijn bovenaan niet getoogd, hoewel de raamopening zelf wel getoogd is; het verschil wordt, net als aan de randen, opgevangen met houten paslatjes.
- Ze zijn gemaakt uit tropisch hardhout (waarschijnlijk meranti), hoewel dat in deze omstandigheden niet nodig is.

In Figuur 11 is een andere variant te zien: aluminium schuiframen. Het visuele effect is anders: de profielen zijn veel slanker en springen dus op zich minder in het oog. Ook hier is de verdeling in vier vlakken behouden, maar als men een vleugel van het oorspronkelijke raam wil openen, moet men de beide glaspanelen naar de andere kant schuiven. Op het voorbeeld in de foto kunnen de onderste vleugels wel niet openen door de plaatsing van een keukenblok. Bovenaan is de spleet met de metselwerkboog gewoon open gelaten.

De bedoeling is om dit soort ingrepen verder te optimaliseren en vervolgens uit te rollen over het hele begijnhof, maar dan wel beperkt tot de leefruimtes van woningen en werkruimtes. Men wil om budgettaire en praktische redenen geen achterzetramen plaatsen in gangen, minder vaak gebruikte ruimtes of slaapkamers. Er wordt onder meer uitgekeken naar de resultaten van dit onderzoek ter ondersteuning van het beslissingsproces.

De plaatsing van de achterzetramen in convent 62 is enigszins anders opgevat dan in convent 85. Hier zijn de originele ramen wel volledig uitgenomen en herplaatst om het herstel van de onderregels mogelijk te maken. Aangezien er condens te verwachten viel, is een condensgootje aangebracht en zijn de afvoergaatjes vrij geboord.



Figuur 9. Voorgevel van convent 85: de linkse twee ramen zijn van het pauzelokaal, de vier ramen rechts van de inkomdeur zijn die van de bibliotheek.



Figuur 10. Detail van een achterzetraam in het pauzelokaal van convent 85. Er is een slank kruisvormig vast kader met vier opengaande vleugels. De onderste regel is dun om het openen van het oorspronkelijke raam niet te hinderen.



Figuur 11. Slanke aluminium schuiframen als nieuwe achterzetramen in convent 22.



Figuur 12. Houten achterzetramen met enkel glas in de feestzaal in convent 62.

Vloeren/plafonds

In sommige panden, waar houten vloeren liggen op het gelijkvloers (de meeste zijn tegelvloeren), zijn die geïsoleerd met minerale wol-platen tussen de balken (bv. in convent 22). In die gevallen bevindt zich een geventileerde kruipkelder onder de vloer.

In het algemeen zijn de bovenste verdiepingen voorzien van **zoldervloerisolatie**. De dakruimtes worden dus niet gebruikt.

In woning 11 is er een verlaagd plafond aangebracht op een houten regelwerk met daartussen glaswol isolatie in de leefruimte, de eetkamer, de keuken, het bureau, de badkamer boven, slaapkamer 1 en 2, bergruimte/slaapkamer 3 en slaapkamer 4.

In woning 84 is eveneens een verlaagd plafond aangebracht op een houten regelwerk met daartussen glaswol of EPS in de leefkamer, de keuken, de badkamer, de inkom en de wasplaats.

Verwarming

Woning 84: hier is centrale verwarming op aardgas met radiatoren, ter vervanging van de vroegere gaskachels.

Niet uitgevoerd of gepland

Dak

Voor zover we weten, zijn de hellende daken (behoudens het aanbrengen van een onderdak), niet voorzien van thermische isolatie. De zolders zijn dan ook overal ongebruikt, tenzij als bergruimte.

Ramen en deuren

De ramen in de woningen zijn voor het overgrote deel nog de oorspronkelijke dennenhouten ramen met enkel glas. Onderregels van de raamvleugels werden soms in eik uitgevoerd. In de woningen of conventen waar achterzetramen geplaatst worden, blijft dit voorlopig ook beperkt tot de leef- en werkruimten: gangen, inkom, keukens en badkamers en eventueel slaapkamers worden voorlopig niet aangepakt.

Muren

De buitenmuren zijn niet geïsoleerd, in de woningen noch in de conventen.

Vloeren

Alle vloeren op volle grond zijn niet geïsoleerd. Ze kunnen langs onder niet bereikt worden en langs boven zouden de historische tegelvloeren uitgebroken moeten worden om dit mogelijk te maken. Men wil ook geen verhoging van de vloerplas, dus als men zou overwegen om de vloer te isoleren, moet dieper uitgegraven worden.

Verwarming

Het hele begijnhof wordt verwarmd met individuele gasketels, voorzover er niet nog oude gaskachels in de huizen staan. Er is tijdens de voorbije jaren een haalbaarheidsstudie uitgevoerd (door de coöperatieve vennootschap Energent) voor het installeren van stadsverwarming, maar gezien de complexiteit zou dat niet rendabel geweest zijn.

Woningen 11 en 82 worden nog verwarmd met gaskachels.

Ventilatie en luchtdichtheid

In het algemeen zijn er geen ingrepen gebeurd voor ventilatie. Verbetering van de luchtdichtheid is vaak door bewoners ad hoc uitgevoerd door het opvullen van kieren en spleten in ramen en deuren.

Metingen

Bevraging comfortervaring bewoners

Voor de drie woningen heeft thesisstudent Maxime Lynen in 2017 een kwalitatieve bevraging gedaan die peilt naar het comfort van de bewoners. Daarnaast heeft ze een kwantitatieve analyse gedaan van antwoorden van 29 van de in totaal 60 aangesproken bewoners van individuele woningen. De conventen werden niet bevroegd, aangezien ze door hun ander gebruik – als werkruimte voor non-profit organisaties – moeilijk te vergelijken zijn. De populatie is in het algemeen wel ouder dan gemiddeld en de respondenten waren grotendeels dames. De bewoners zijn in het algemeen tevreden over hun thermisch comfort, maar hebben wel regelmatig last van tocht. De waarneming ‘te koud’ is ook gelinkt aan sterke afkoeling en hoge windsnelheid buiten en kan dus gelinkt worden aan luchtlekken in de gevels en daken. De scores voor onfrisse, muffe of te vochtige lucht zijn slechter voor ruimtes die buiten het hoofdvolume vallen: de aanbouw links en rechts van de tuin. Daar is mogelijk een invloed van opstijgend grondvocht, en er zijn ook vaak natte ruimtes in ondergebracht (keuken, wasplaats, ...) wat bij afwezigheid van afdoende ventilatie en een klein volume, snel tot hoge vochtgehaltes in de lucht kan leiden. Als gevolg daarvan is condens op koude vlakken ook niet uit te sluiten. Op die plaatsen kan ook verwacht worden dat de vloeren op volle grond kouder staan dan vloeren boven een kelder in het hoofdvolume. Op akoestisch vlak hebben toch heel wat mensen in de woonkamer last van ongewenste geluiden van burens. Hoewel weinig mensen ‘droge lucht’ relevant blijken te vinden, klagen toch veel respondenten over symptomen die met een lage luchtvochtigheid te maken kunnen hebben. Veel respondenten gaven aan dat het isoleren van de zoldervloer het comfort van de verdieping sterk verbeterd heeft.

Woning nr. 11: het bejaarde koppel is in het algemeen tevreden, maar stipt volgende problemen aan:

- Kil en indruk van vochtigheid aan ongeïsoleerde buitenmuren op gelijkvloers;
- Koude vloeren;
- Opstijgend vocht in één muur van het hoofdvolume en in een aanbouw; muffe lucht op die plaats;
- Akoestisch niet goed geïsoleerd van omgeving.

Woning nr. 82: de 88-jarige bewoonster was op het moment van bevraging zeer tevreden over het comfort, met uitzondering van:

- Koude in de onverwarmde ruimtes;
- Algemeen veel tocht door kieren en spleten aan ramen. Dat wordt verholpen door zelf dichtingsstrips te plaatsen. Gelinkt hiermee wordt melding gemaakt van sterke schommelingen naargelang het weer.
- Tocht doorheen de plankenvloer boven een onverwarmde kelder, wat geredieerd wordt met dikke tapijten

Woning nr. 84: het gezin met twee kinderen was op het moment van bevraging middelmatig tevreden. In deze woning was de zoldervloer ook niet geïsoleerd. Opmerkingen waren:

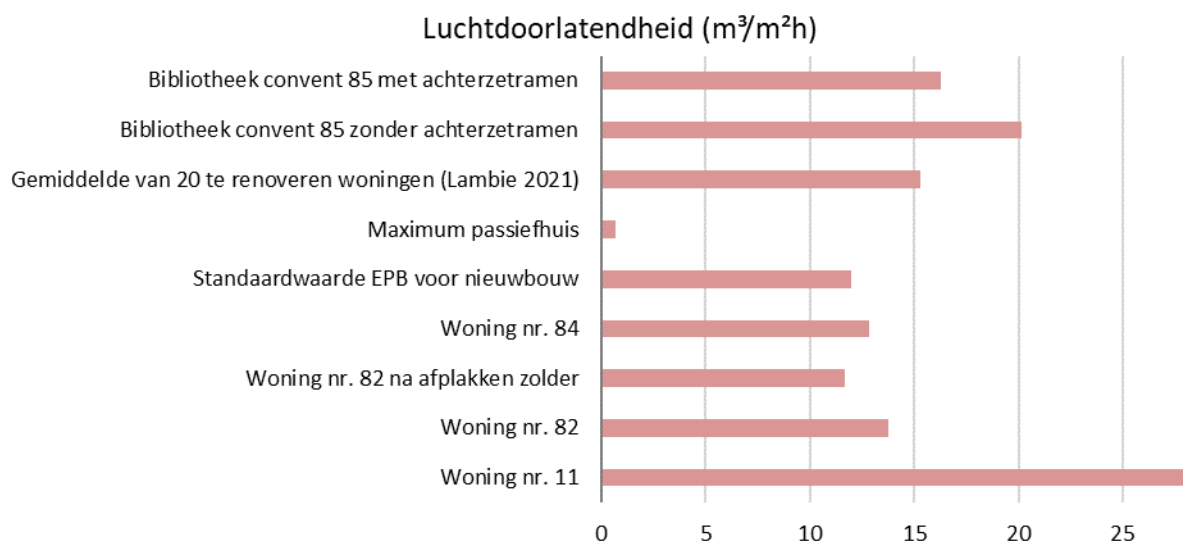
- De verdieping is te koud in de winter en te warm in de zomer;
- Algemeen veel last van tocht;
- Vochtige indruk van de kelder, muffe en onfrisse geur.

Luchtdichtheidsmetingen

Er werden blowerdoortests uitgevoerd in woning nr. 11 op 7 april 2017 en in nummer 82 en 84 op 11 april 2017. Verder werd een gerichte blowerdoortest uitgevoerd op de bibliotheek van convent 85 om de luchtdichtheid van achterzetramen in te schatten.

De proeven werden uitgevoerd volgens de norm NBN ISO 9972:2015. Bij de drie woningen werd de blaasdeur in de achterdeur geplaatst. Bij de bibliotheek werd ze geplaatst in de deur van de muur tegenover de vensters, die uitgeeft op de gang (Figuur 14).

De luchtlekken waren soms zo groot (woning 11) dat de meting volgens de norm niet geldig was, maar de resultaten zijn wel duidelijk en de n50-waarde kan in zo'n geval bekomen worden door extrapolatie (als een drukverschil van 50 Pa niet gehaald wordt). In onderstaande figuur zijn de waarden voor luchtdoorlatendheid van de schil van de drie woningen en van de bibliotheek samen weergegeven met een aantal referentiewaarden.



Figuur 13. Meetresultaten van de luchtdoorlatendheid van de gebouwschil bij 50 Pa drukverschil voor de drie gemeten woningen en voor de bibliotheek van convent 85, weergegeven samen met een aantal referentiewaarden uit regelgeving en literatuur.

Globaal is de luchtdichtheid niet goed, wat ook te verwachten valt op basis van simpele observatie en de klachten over tocht. Bij de berekening van het verliesoppervlak en het beschermde volume werden kelders, zolders en tuinbergingen niet meegerekend. De delen van de aanbouw die verbonden zijn met de woonruimtes wél. Woning nr. 11 is een uitschieter: de verklaring daarvoor kan zijn dat de deur naar de zolder lek is en dat het dak geen onderdak heeft, in tegenstelling tot dat van de andere twee woningen. In het algemeen wordt vermoed dat deuren of luiken naar kelders en zolders en andere aangrenzende ruimtes problematisch zijn, wat trouwens ook is aangetoond bij

nieuwbouw (Laverge 2014). In woning 82 heeft men geprobeerd om de invloed van het zolderluik in te schatten, door de proef te herhalen na het afplakken. Er werd daarbij een verbetering van 17% gemeten.

Bij alle proeven werden ook rooktests uitgevoerd: terwijl de woning in onderdruk stond, werd rook gegenereerd aan de buitenkant, zodat visueel kon vastgesteld worden waar zicht lekken bevonden (Figuur 15). Volgens Lynen konden daarbij geen grote verschillen waargenomen worden tussen de woning onderling, behalve waar ramen echt volledig dichtgeschilderd waren, wat in woning nr. 82 bij sommige ramen gebeurd is (Lynen 2017). De problemen bevinden zich voornamelijk ter hoogte van de aansluiting van de opengaande vleugels, maar toch ook ter hoogte van de aansluiting van de vaste kaders op het metselwerk.

Ondanks de matige score, kan wel gesteld worden dat woningen nr. 82 en 84 niet veel slechter of beter presteren dan de zogenaamde 'waarde bij ontstentenis' die standaard in de EPB-berekening wordt gebruikt voor woningen waar geen meting werd uitgevoerd, en zelfs iets beter dan gemiddelde van 20 te renoveren woningen die gemeten zijn in het kader van een recent doctoraatsonderzoek (Lambie 2021). Nieuwbouwwoning zijn gemiddeld wel veel luchtdichter.



Figuur 14. Plaatsing van de blaasdeur in de bibliotheek van convent 85.



Figuur 15. Rook die door een slechte aansluiting van de opengaande raamvleugels van buiten naar binnen stroomt.

Als we meer in detail kijken naar de meting van convent 85, kunnen we proberen conclusies te trekken over de verbetering die behaald wordt met de achterzetramen. Met geopende achterzetramen krijgen we een idee van de lekken in de originele toestand: het lekdebiet in die toestand is $1088.9 \text{ m}^3/\text{Pa}\cdot\text{h}$. Met de achterzetramen gesloten vermindert het lekdebiet aanzienlijk met 20%, tot $870 \text{ m}^3/\text{Pa}\cdot\text{h}$. Het blijft wel zeer hoog, ondanks de pogingen om zichtbare openingen af te plakken met tape. Tijdens het meten bleek dan ook dat er nog enkele onvermoede openingen waren, zoals een doorboring voor een deurbel en doorboringen in het plafond ter plaatse van de verlichtingsarmaturen. Het is dus moeilijk om in te schatten welke fractie van het lekdebiet in oorspronkelijke toestand aan de vier ramen te wijten is.

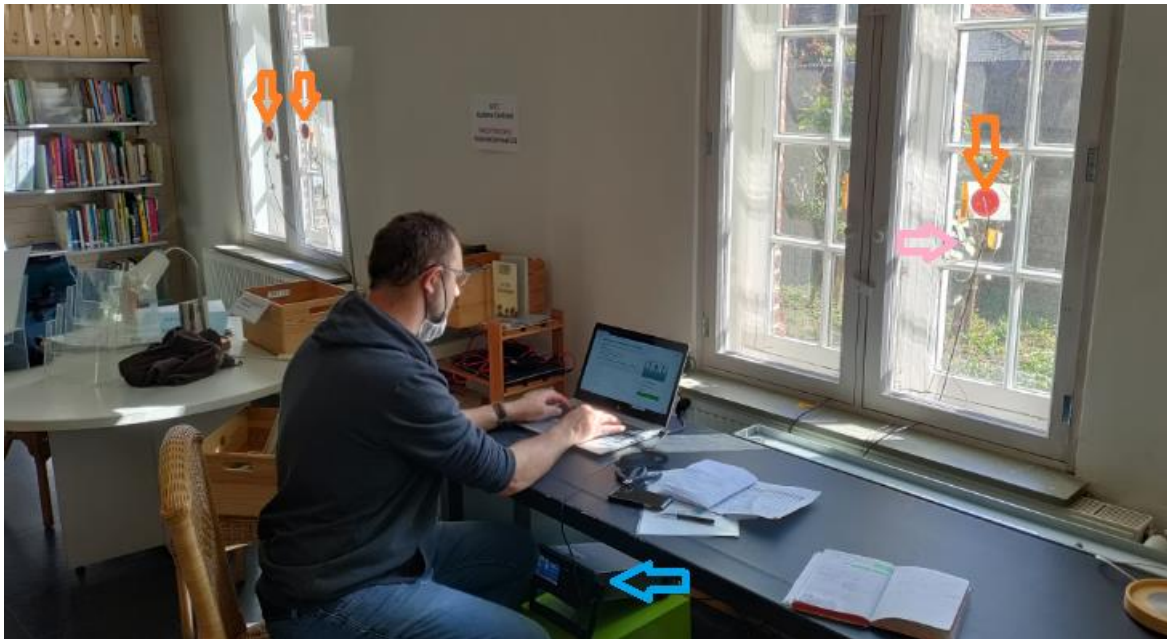
U-waardemetingen

Er werden twee meetcampagnes uitgevoerd om de verbetering van de U-waarde van de ramen door de plaatsing van achterzetramen in te schatten. In beide gevallen werden metingen op het oorspronkelijke raam, met het achterzetraam open, vergeleken met metingen van het gecombineerde systeem van het oorspronkelijk raam plus het achterzetraam, met dat laatste dan uiteraard gesloten.

- van 14-02-2020 tot 21-02-2020 werd gemeten in **convent 62**, waar houten achterzetramen met **enkel glas** zijn geplaatst;
- van 27-04-2021 tot 01-05-2021 werd gemeten in **convent 85**, waar houten achterzetramen met **dubbel glas** zijn geplaatst.

De meting bestaat uit een combinatie van warmtestroommetingen (met toestellen van fabrikanten GreenTeg en Hukseflux) met de meting van oppervlaktetemperaturen en luchttemperaturen binnen, buiten en tussen het originele raam en het achterzetraam. De procedure volgt de norm EN ISO 98691:2014. De meetapparatuur werd steeds geplaatst op het glas, niet te dicht bij de profielen, zodanig dat de invloed van de aansluitingen aan de rand niet te groot zijn. De resultaten van deze proeven vertonen doorgaans een vrij grote variatie, maar die is bij deze tests niet expliciet ingeschat. Wij hebben in convent 85 van beide situaties elk twee metingen gedaan, waarvan de resultaten in goede overeenstemming zijn met elkaar. De gemiddelde resultaten zijn weergegeven in

Tabel 1.



Figuur 16. Impressie van de meetopstelling in convent 85 voor U-waarde van de situatie mét achterzetramen. De oranje peilen duiden de fluxmeters aan, de roze pijl de (zeer kleine) temperatuursensors en de blauwe peil het data-acquisitiesysteem.

Tabel 1. Gemeten U-waardes van beglazing in originele ramen met en zonder achterzetramen in twee verschillende conventen.

	U-waarde origineel raam	U-waarde mét achterzetraam	Verbetering
Convent 62 (feestzaal)	5.7 W/m ² K*	2.1 W/m ² K	63%
Convent 85 (bibliotheek)	5.7 W/m ² K	1.0 W/m ² K	82%

* De eigenlijke meting van deze situatie bleek niet betrouwbaar: waarde hernoemen van convent 85, die consistent is met literatuur.

We merken dat de verbetering zeer substantieel is: zelfs een achterzetraam met enkel glas leidt tot een reductie van 63% van de warmteverliezen. Uiteraard presteert de combinatie van origineel raam plus achterzetraam niet hetzelfde als één modern raam dat in een geïsoleerd spouw geplaatst is. Zo weten we uit getuigenissen van de beheerder dat er op sommige momenten nog condens kan ontstaan op het originele raam op momenten dat de lucht van de binnenruimte behoorlijk vochtig is en de buitentemperatuur laag. Het is ook normaal dat het binnenoppervlak van het originele raam kouder wordt als er achterzetramen geplaatst zijn, omdat het niet meer rechtstreeks in contact staat met het (verwarmde) binnenklimaat.

Men zou in eerste instantie een schatting van de verbetering van de thermische prestaties kunnen maken op basis van de aparte U-waardes van beide achter elkaar geplaatste types beglazing, plus de warmteweerstand van de lucht tussen het originele en het toegevoegde raam. Die laatste neemt voor luchtsponwen breder dan 2 cm nauwelijks meer toe met de breedte omwille van convectieve effecten. Vanuit bouwfyfisch oogpunt heeft het dus weinig zin om de achterzetramen zo ver naar de binnenkant te plaatsen. In Tabel 2 zijn de resultaten van zo'n berekening weergegeven. Je ziet echter meteen dat de situatie dan iets te negatief wordt ingeschat, omdat de profielen in het algemeen beter isoleren dan het glas. En zeker bij de originele ramen is het belang van de profielen zeer groot.

Tabel 2. Vergelijking van berekende U-waarden van de gecombineerde glaslagen met de gemeten U-waarden. De eerste regel toont de waarden van het originele glas + nieuw enkel glas; de tweede regel toont de waarden van het originele glas + nieuw dubbel glas.

	U-waarde origineel glas (W/m ² K)	U-waarde toegevoegd glas (W/m ² K)	Warmte-weerstand origineel glas (m ² K/W)	Warmte-weerstand toegevoegd glas (m ² K/W)	Warmte-weerstand luchtsponw (m ² K/W)*	Totale U-waarde berekend (W/m ² K)	Totale U-waarde gemeten (W/m ² K)
Convent 62	5.7	5.6	0.010	0.014	0.18	2.75	2.1
Convent 85	5.7	1.2	0.010	0.668	0.18	1.17	1.0

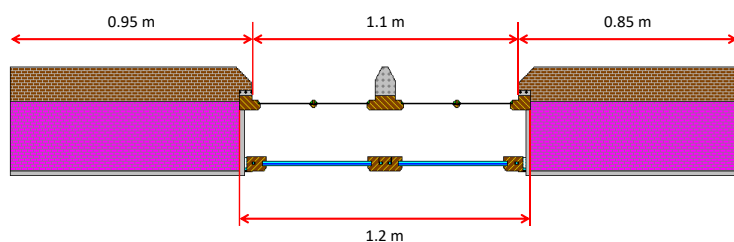
* Gebaseerd op EN ISO 6946:2017

Om de complexe wisselwerking tussen glas en profielen beter te kunnen analyseren, werd een simulatie gemaakt, die in de volgende paragraaf besproken wordt.

2D simulaties van stationair warmtetransport

Het softwarepakket BISCO werd gebruikt om een berekening te maken van de invloed van de aansluitingen aan de muur en van de profielen. Bij zo'n berekening wordt abstractie gemaakt van verliezen door infiltratie en wordt gekeken naar geleiding en convectie aan de buiten- en binnenoppervlakken. Waar onze metingen van de U-waarde in situ vooral de U-waarde van het glas (U_g) oplevert, geeft deze berekening een idee van de U-waarde van het raam als geheel (U_w), inclusief de aansluitingen.

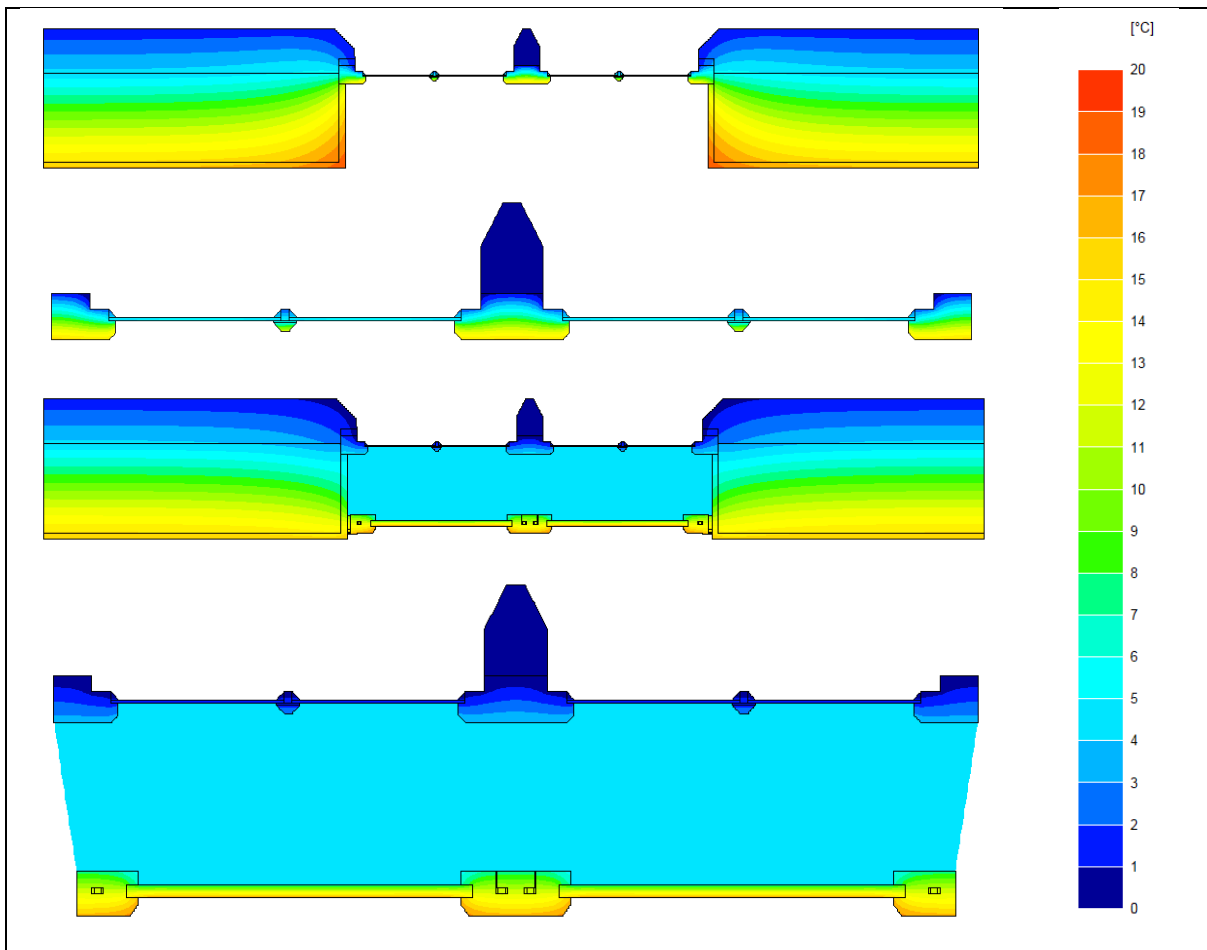
Drie berekeningen werden uitgevoerd: (1) enkel het originele raam, (2) het originele raam plus achterzetraam met enkel glas en (3) het originele raam plus achterzetraam met dubbel glas. De maatvoering werd daarbij gebaseerd op een opmeting van ramen in de bibliotheek van convent 85 (Figuur 17). In de figuur lijkt de muur opgesplitst in twee lagen, maar dat is niet zo: de verschillende kleur van de buitenste 10 cm komt overeen met het gedeelte van de muur dat vochtig verondersteld wordt en daardoor een hogere warmtegeleiding (λ -waarde) heeft (berekening gebaseerd op NBN B62-002). De U-waarde van de massieve muur op zich is gelijk aan $1.49 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (berekening volgens NBN EN ISO 6946).



Figuur 17. Geometrie van een raamopening met achterzetraam voor de 2D stationaire thermische simulatie.

De buitentemperatuur wordt denkbeeldig op 0°C gezet en de binnentemperatuur op 20°C . In onze berekeningsmethode worden de bijkomende warmteverliezen verrekend als supplementaire verliezen van het raam (totale warmtedoorgang U^*_w). Daarvoor wordt het raam ook steeds apart gesimuleerd (zonder muur, U_w), naast uiteraard de berekeningen van het systeem muur-raam (U_{tot}). De resulterende temperatuurverdeling voor de verschillende gevallen zijn weergegeven in Figuur 18.

De resultaten voor U_w , U^*_w en de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt voor de aansluiting muur-raam Ψ , zijn weergegeven in Tabel 3. Het originele raam heeft een U_w die een stuk lager ligt dan die van het glas alleen ($5.7 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$), aangezien de muur uiteraard beter isoleert dan het enkel glas. De aansluiting met het raam leidt dan ook tot een belangrijke lineaire koudebrugwerking ($0.713 \text{ W}/\text{mK}$). Als je een achterzetraam plaatst, wordt de invloed van de randen kleiner: de beide gecombineerde ramen hebben namelijk een warmteweerstand die minder sterk verschilt van die van de muur. De bekomen resultaten voor U^*_w kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden als representatieve U-waarden voor een berekening met EPB-software, waarin dan de relatieve verbetering van deze interventie in het totale energieverbruik van een gebouw ingeschat kan worden.



Figuur 18. Simulatiere resultaten van temperatuurverdeling van achtereenvolgens: de muur met oorspronkelijk raam, het oorspronkelijke raam apart, de muur met toegevoegd achterzetraam (dubbel glas) en het systeem origineel raam + achterzetraam apart.

Tabel 3. Numerieke resultaten van de simulatie voor de drie beschouwde gevallen.

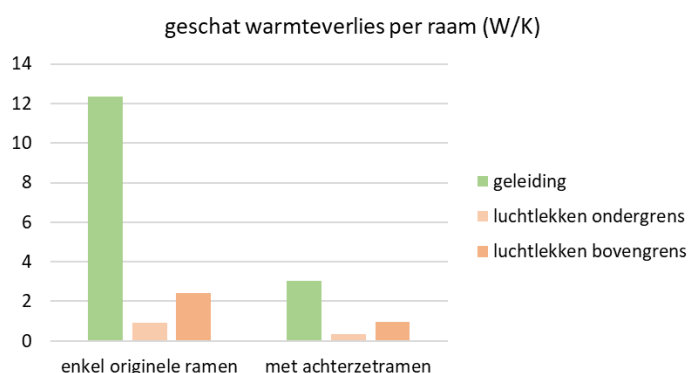
	U_w (W/m ² K)	Ψ (W/mK)	U^*_w (W/m ² K)
Origineel raam	4.7	0.713	4.9
Met achterzetraam enkel glas	2.2	0.188	2.2
Met achterzetraam dubbel glas	1.1	0.159	1.2

Aangezien we weten (o.a. uit de bevraging van bewoners) dat er ook een belangrijke invloed is van luchtlekken in de toestand zonder achterzetramen, en mogelijk ook nog in de toestand mét achterzetramen, is het nuttig om daar een schatting van te maken. We kunnen dat niet nauwkeurig doen, aangezien we wel een meting hebben van de verbetering van de luchtdichtheid door plaatsing van de achterzetramen in convent 85, maar niet echt van de originele ramen op zich, noch van de achterzetramen.

We zijn dus aangewezen op enkele schattingen. Stel dat van het totale lekdebiet van de bibliotheek (zonder achterzetramen) tussen 1/4 en 2/3 te wijten zou zijn aan kieren en spleten van de oorspronkelijke ramen, dan zou een raam tussen 68 en 182 m³ lucht doorlaten per uur bij een drukverschil van 50 Pa. De ramen zijn oost georiënteerd. Vermoedelijk staat de gevel daar dus meestal in onderdruk en krijg je doorheen het jaar vooral *exfiltratie* van binnenlucht naar buiten toe. In de EPB-software wordt het verliesdebiet over het ganse jaar geschat op 2.5% van het debiet bij 50

Pa; dat zou hier dus tussen 2.72 en 7.28 m³ per uur zijn voor één raam. Rekening houdend met de warmtecapaciteit van lucht en het oppervlak van een raam, zou dat een continu verlies betekenen van 0.91 tot 2.42 W/K. Dit kunnen we nu plaatsen tegenover de geleidingsverliezen, die met $U^*_w=4.9$ W/m²K en een raamoppervlakte van 2.52 m² begroot kunnen worden op 12.3 W/K. In de oorspronkelijke situatie zijn de geleidingsverliezen zo groot dat de luchtlekken dus maar ongeveer 7 tot 16% van het totale warmteverlies bedragen.

Voor de situatie mét achterzetramen zijn we weerom verplicht een ruwe schatting te maken van de bijdrage van de ramen op het totale lekdebiet van 870 m³/h. We weten dat dit veel lager moet liggen dan de debieten van de originele ramen. We kiezen als redelijke ondergrens 1/8 van het gemeten totaal en als bovengrens 1/3. Dat levert geschatte warmteverliezen per raam van 0.36 tot 0.97 W/K. Dat staat tegenover geleidingsverliezen van 3.0 W/K. Het totale warmteverlies daalt dus zeer sterk, maar het relatieve belang van luchtlekken neemt toe: 11 tot 24% van het totaal. In Figuur 19 zijn die resultaten grafisch weergegeven.



Figuur 19. Vergelijking van de warmteverliezen van de ramen door geleiding en convectie (op basis van 2D simulatie) met de warmteverliezen door luchtlekken (op basis van blowerdoortest, gebruik makend van vuistregels en schattingen).

Indien men meer gedetailleerd de prestaties van de ramen zelf wil meten, zou men bijvoorbeeld luchtdichtheidsmetingen kunnen doen op aparte ramen. Dit is technisch mogelijk, maar niet eenvoudig, en valt buiten het doel van deze studie.

Verbruiksgegevens

Uit de gasfacturen van 2021 kon het jaarlijks verbruik van de de drie voorgaande jaren gehaald worden. Dat werd dan telkens genormaliseerd volgens de graaddagenmethode en gemiddeld. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 4. In de laatste kolom zijn tevens de berekende besparingen opgenomen voor vermindering van transmissieverliezen.

Tabel 4. Gemiddelde verbruiksgegevens voor de drie bestudeerde huizen in het begijnhof.

	genormaliseerd gemiddeld jaarlijks gasverbruik (MWh)	karakteristiek jaarlijks gasverbruik (kWh/m ² j)	geschatte besparing door isolatie (MWh/j)
woning 11	13.4	80	1.3
woning 81	42.9	269	0.1
woning 84	35.9	201	0.5

Schatting impact en besluit

Aangezien de reeds uitgevoerde isolatiemaatregelen vrij beperkt zijn, zijn de verwachte besparingen in energieverbruik in dit project relatief beperkt. Het werkelijke verbruik is dan ook niet laag: één van de drie woningen scoort goed, terwijl de andere twee het hoogste karakteristiek verbruik hebben van de hele groep van de cases.

De situatie is echter heel specifiek. Het gaat om werelderfgoed en het origineel schrijnwerk is in vrij goede staat, zodat vervanging eigenlijk geen optie is. De ruimtes onder de daken zijn niet in gebruik: zoldervloerisolatie is dus een verstandige keuze. Maar de behaalde warmteweerstand blijft beperkt. Het zou zeker mogelijk zijn om daar een stukje verder in te gaan.

De keuze om meer en meer te investeren in achterzetramen is zowel vanuit energetisch oogpunt als uit oogpunt van behoud van erfgoed toe te juichen. We hebben duidelijk kunnen vaststellen dat de vermindering van warmteverliezen zeer groot is, wellicht zelfs groter dan wanneer men de ramen zou vervangen. De achterzetramen verhelpen ook een ander probleem, namelijk de tocht door kieren en spleten van de originele ramen.

Om verder te gaan met energiebesparing, moet men ook overwegen om de muren aan de binnenzijde te isoleren en om de mogelijkheden voor vloerisolatie meer in detail te bestuderen. Ideaal gezien verbetert men de luchtdichtheid ook, maar daarbij moet men dan ook oog hebben voor ventilatie.

Referenties en bijlages

Maxime Lynen, Comfort in een beschermd monument met woonfunctie. Casestudie Groot Begijnhof Sint-Elisabeth in Sint-Amandsberg, Master thesis, UAntwerpen, Faculteit Ontwerpwetenschappen, 2017

C. Delmez en C. Delmotte, Proefverslag. Détermination de la perméabilité à l'air d'un bâtiment, PMTI 039/1/FR, PMTI 039/2/FR en PMTI 039/3/FR, WTCB, 2017 (bijlage 7-1)

C. Delmez en C. Delmotte, Proefverslag. Bepaling van de luchtdoorlatendheid van een gebouw, WTCB (HVAC-00-30-01/NL), meting in convent 85 met achterzetramen open, 2017 (bijlage 7-2)

C. Delmez en C. Delmotte, Proefverslag. Bepaling van de luchtdoorlatendheid van een gebouw, WTCB (HVAC-00-30-02/NL), meting in convent 85 met achterzetramen gesloten, 2017 (bijlage 7-2)

Heijmans Nicolas, Simulation numérique des doubles fenêtres du cloître St Amandsberg Projet Erfgoedenergieloket (2013-2047), onuitgegeven rapport, WTCB, 2021 (bijlage 7-4)