

Duurzaam bouwen

Comfort-, energetische en economische vergelijking aan de hand van case studies

Marjan Verbruggen

promotor :
dr. ir. Steven VAN PASSEL

co-promotor :
De heer Frederic ANG

Woord vooraf

Deze eindverhandeling kwam tot stand als sluitstuk van mijn opleiding master in de Toegepaste Economische Wetenschappen met afstudeerrichting beleidsmanagement aan de Universiteit Hasselt. Ik heb gekozen voor het thema "Duurzaam bouwen". Dit deed ik met het oog op de toekomst, aangezien ik al geruime tijd interesse had in dit onderwerp en het tevens interessant is op privé-vlak met het oog op toekomstig bouwen.

Tijdens de voltooiing van dit werk kon ik rekenen op de steun en hulp van verschillende mensen. Graag zou ik van deze gelegenheid gebruik willen maken hen te bedanken.

Vooreerst wil ik mijn promotor Prof. Dr. Steven Van Passel bedanken voor zijn deskundige begeleiding en opbouwende kritiek. Verder zou ik ook graag een woord van dank willen richten tot de begeleider Frederic Ang voor zijn steun en motivatie.

Ik wil eveneens Griet Verbeeck, doctor ingenieur-architect en Stefan Van Loon, technisch adviseur van Passiefhuis-Platform vzw bedanken vanwege hun bereidheid om hun professionele visie over duurzaam bouwen met mij te delen. Ook mevrouw Rebecca Meuleman, product manager van Wienerberger en de families Henz en Baert ben ik dankbaar voor hun hulp bij de uitwerking van de gevalstudies. Mijn dank gaat tevens uit naar Roger Mercken, hoogleraar Accountancy en Bedrijfskunde, wiens deskundigheid een grote hulp is geweest bij het uitvoeren van de economische evaluatie.

Tot slot bedank ik mijn ouders, grootouders en vriend voor hun geduld, advies en morele steun die ik de voorbije vier jaar gekregen heb. Zonder hen zou ik er nooit in geslaagd zijn deze opleiding succesvol af te ronden.

Samenvatting

Het onderwerp "klimaatverandering" is in de laatste jaren niet meer uit de actualiteit weg te denken. Steeds vaker wordt België getroffen door natuurrampen met ingrijpende gevolgen. Deze worden gelinkt met de globale temperatuurstijging die het gevolg zou zijn van de toenemende hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer. Opmerkelijk is dat de verwarming van gebouwen hierbij een aanzienlijk aandeel inneemt. Dit komt omdat het merendeel van het Belgische woningbestand bestaat uit conventionele woningen met een beperkte isolatielaag zonder energie-efficiënte installaties. Vervolgens brengt dit hoge stookkosten voort.

Het doel van deze masterproef is na te gaan of duurzaam bouwen een goede strategie kan zijn voor de problematiek van de klimaatverandering en het enorme energieverbruik door de gebouwde omgeving. Er zal concreet ingegaan worden op enkele duurzame bouwtechnieken, namelijk het passiefhuis en de lage-energiewoning. Hieromtrent is het essentieel om na te gaan of deze vormen van duurzaam bouwen wel efficiënt zijn en of deze renderen. Dit leidt tot de volgende centrale onderzoeksvraag:

"Hoe onderscheiden het passiefhuis en de lage-energiewoning zich ten opzichte van een conventionele woning en is het bouwen van passiefhuizen economisch rendabel ten opzichte van een lage-energiewoning?"

In eerste instantie wordt er met behulp van een diepgaande literatuurstudie een onderscheid gemaakt tussen de conventionele woning, de lage-energiewoning en het passiefhuis. Een conventionele woning is een standaardwoning gebouwd volgens de gangbare praktijk van een specifiek land in een bepaalde periode die voldoet aan de wettelijk vereiste minimale energienormen. De tweede vorm van duurzaam bouwen, meer bepaald de lage-energiewoning, is een woning gebouwd volgens bijzondere ontwerpcriteria gericht op het minimaliseren van het energieverbruik van de woning. Tot slot kan men het passiefhuis definiëren als een verfijning van de lage-energiewoning met een comfortabel binnenklimaat in zowel de winter als de zomer. Het passiefhuis wordt

IV

gekenmerkt door een doorgedreven isolatie, een uitstekende luchtdichtheid en een efficiënt ventilatiesysteem.

Vervolgens worden de verschillende constructiestandaarden van duurzaam bouwen met elkaar vergeleken op verschillende niveaus. Er vindt namelijk een vergelijking plaats naar de wettelijk vereiste minimale energienormen, de initiële kost en jaarlijkse energiebesparing, de terugverdientijd en andere componenten zoals de leefbaarheid. Hieromtrent is de bestaande wetenschappelijke literatuur echter dubbelzinnig. Daarom is het van belang om zowel de leefbaarheid, de energetische efficiëntie, alsook de financiële rendabiliteit van het passiefhuis ten opzichte van de lage-energiewoning, respectievelijk de conventionele woning grondiger te onderzoeken.

Het onderzoek toont aan dat het passiefhuis zowel tijdens de winter als de zomer gekenmerkt worden door een goed thermisch comfort. Hiertegenover blijkt dat er bij de lage-energiewoning geen constant binnenklimaat op de gewenste temperatuur gewaarborgd kan worden en dat bijverwarming van de woning noodzakelijk is. Deze vorm van duurzaam bouwen loopt tevens een verhoogd risico op zomerse oververhitting, maar dit kan gereduceerd worden door het treffen van bijkomende passieve maatregelen zoals het plaatsen van een verwijderbare buitenzonwering langs de zuidzijde van de woning.

Er kan tevens een significante vermindering in de energievraag bereikt worden door het bevorderen van lage-energiewoningen en passiefhuizen. Hierbijkomend leidt de bouw van meer duurzame gebouwen rechtstreeks tot een reductie van de CO₂-emissies in de atmosfeer. Het passiefhuis realiseert echter een grotere jaarlijkse energiebesparing en CO₂-reductie dan de lage-energiewoning.

Ondanks het gunstige binnenklimaat en het aanzienlijke energiebesparingpotentieel van het passiefhuis, leidt de lage-energiewoning op het gebied van de financiële rendabiliteit tot een beter resultaat. De meerkosten van het passiefhuis zijn niet in verhouding tot de besparingen op de energiekosten, wanneer dit vergeleken wordt met de lage-energiewoning.

Als algemene conclusie geldt dat duurzaam bouwen een efficiënte strategie is voor de klimaatproblematiek aangezien deze rechtstreeks leidt tot een reductie van het energieverbruik van de gebouwde omgeving. Er kan vastgesteld worden dat passiefhuizen en lage-energiewoningen energiezuiniger zijn dan conventionele woningen. Aangezien het merendeel van het Belgische woningbestand bestaat uit conventionele gebouwen, zou de bouw van meer lage-energiewoningen al een hele vooruitgang zijn. Om echter een doorbraak van passiefhuizen te verwezenlijken, zal de overheid haar financiële tegemoetkoming moeten herzien. Concreet zal ze de ontwikkeling van duurzame bouwconcepten moeten stimuleren aan de hand van extra subsidies.

Inhoudsopgave

WOORD VOORAF	II
SAMENVATTING	III
INHOUDSOPGAVE	VI
LIJST MET FIGUREN	X
LIJST MET TABELLEN	X
LIJST MET BIJLAGEN	XI
1 INLEIDING	- 1 -
1.1 KLIMAATVERANDERING	- 1 -
1.2 HET KLIMAATBELEID	- 2 -
1.3 ENERGIEZUINIG BOUWEN	- 4 -
1.4 ONDERZOEKSVRAGEN	- 6 -
1.4.1 <i>Centrale onderzoeksvraag</i>	- 6 -
1.4.2 <i>Deelvragen</i>	- 6 -
2 LITERATUURSTUDIE: VORMEN VAN DUURZAAM BOUWEN	- 9 -
2.1 DE CONVENTIONELE WONING	- 9 -
2.1.1 <i>Beschrijving</i>	- 9 -
- <i>Thermische isolatie-eisen</i>	- 9 -
- <i>Maximum E-peil</i>	- 10 -
- <i>Binnenklimaateisen</i>	- 10 -
2.2 DE LAGE-ENERGIEWONING	- 11 -
2.2.1 <i>Beschrijving</i>	- 11 -
2.2.2 <i>Subsidies en fiscale voordelen</i>	- 13 -
2.3 HET PASSIEFHUIS	- 13 -
2.3.1 <i>Beschrijving</i>	- 13 -
2.3.2 <i>Technische aspecten van een passiefhuis</i>	- 14 -
2.3.2.1 <i>Passieve maatregelen</i>	- 15 -

VII

A) Isolatie	- 15 -
B) Luchtdicht bouwen	- 17 -
C) Passieve warmtewinsten	- 17 -
2.3.2.2 <i>Actieve maatregelen</i>	- 19 -
A) Ventilatie	- 19 -
B) Energiezuinige huishoudapparaten en verlichting	- 21 -
C) Hernieuwbare energie	- 22 -
2.3.3 <i>Passiefhuiscertificaat</i>	- 24 -
2.3.4 <i>Subsidies en fiscale voordelen</i>	- 25 -
2.3.5 <i>Passiefhuizen in de praktijk</i>	- 25 -
2.4 VERGELIJKING PASSIEFHUIS MET TRADITIONELE WONING EN LAGE-ENERGIEWONING	- 27 -
2.4.1 <i>Wettelijk vereiste minimale energienormen</i>	- 27 -
2.4.2 <i>Comfortevaluatie</i>	- 27 -
2.4.3 <i>Energetische evaluatie</i>	- 29 -
2.4.4 <i>Economische evaluatie</i>	- 30 -
2.4.5 <i>Besluit</i>	- 36 -
3 MATERIAAL EN METHODEN	- 37 -
3.1 SELECTIE CASE-STUDIES	- 37 -
3.2 COMFORTEVALUATIE	- 38 -
3.3 ENERGETISCHE EVALUATIE	- 39 -
3.4 ECONOMISCHE EVALUATIE	- 39 -
4 CASE STUDIES	- 45 -
4.1 PASSIEF RENOVATIEPROJECT, TONGEREN	- 45 -
4.1.1 <i>Beschrijving</i>	- 45 -
4.1.2 <i>Technische aspecten van de woning</i>	- 45 -
4.1.2.1 <i>Passieve maatregelen</i>	- 46 -
4.1.2.2 <i>Actieve maatregelen</i>	- 48 -
4.1.3 <i>Werking van de woning in de praktijk</i>	- 49 -
4.1.4 <i>Comfortevaluatie</i>	- 50 -
4.1.5 <i>Energetische evaluatie</i>	- 51 -
4.1.6 <i>Economische evaluatie</i>	- 51 -
4.2 LAGE-ENERGIERENOVATIEPROJECT, HEVERLEE	- 55 -

VIII

4.2.1	<i>Beschrijving</i>	- 55 -
4.2.2	<i>Technische aspecten van de woning</i>	- 56 -
4.2.2.1	<i>Passieve maatregelen</i>	- 56 -
4.2.2.2	<i>Actieve maatregelen</i>	- 57 -
4.2.3	<i>Werking van de woning in de praktijk</i>	- 57 -
4.2.4	<i>Comfortevaluatie</i>	- 57 -
4.2.5	<i>Energetische evaluatie</i>	- 58 -
4.2.6	<i>Economische evaluatie</i>	- 59 -
4.3	PASSIEF KANTOOR SD WORX, KORTRIJK	- 62 -
4.3.1	<i>Beschrijving</i>	- 62 -
4.3.2	<i>Technische aspecten van het gebouw</i>	- 63 -
4.3.2.1	<i>Passieve maatregelen</i>	- 63 -
4.3.2.2	<i>Actieve maatregelen</i>	- 63 -
4.3.3	<i>Werking van het gebouw in de praktijk</i>	- 64 -
4.3.4	<i>Comfortevaluatie</i>	- 65 -
4.3.5	<i>Energetische evaluatie</i>	- 66 -
4.3.6	<i>Economische evaluatie</i>	- 66 -
4.4	LAGE-ENERGIEKANTOOR OXFAM FAIRTRADE, GENT	- 71 -
4.4.1	<i>Beschrijving</i>	- 71 -
4.4.2	<i>Technische aspecten van het gebouw</i>	- 71 -
4.4.2.1	<i>Passieve maatregelen</i>	- 72 -
4.4.2.2	<i>Actieve maatregelen</i>	- 72 -
4.4.3	<i>Werking van het gebouw in de praktijk</i>	- 73 -
4.4.4	<i>Comfortevaluatie</i>	- 74 -
4.4.5	<i>Energetische evaluatie</i>	- 75 -
4.4.6	<i>Economische evaluatie</i>	- 75 -
4.5	VERGELIJKING FINANCIËLE RESULTATEN	- 80 -
5	DISCUSSIE	- 86 -
5.1	COMFORTEVALUATIE	- 86 -
5.2	ENERGETISCHE EVALUATIE	- 88 -
5.3	ECONOMISCHE EVALUATIE	- 89 -
6	CONCLUSIE	- 93 -

7	LIJST VAN GERAADPLEEGDE WERKEN	- 99 -
8	BIJLAGEN	- 106 -

Lijst met figuren

Figuur 1: <i>Emissie van broeikasgassen per gas</i>	- 3 -
--	-------

Lijst met tabellen

Tabel 1: <i>EPB-eisen in Vlaanderen</i>	- 11 -
Tabel 2: <i>Richtwaardes voor de passiefhuisstandaard vergeleken met de conventionele woning</i>	- 16 -
Tabel 3: <i>Stappenplan Bostoet naar passiefhuis met bijbehorende kosten en besparing</i>	- 32 -
Tabel 4: <i>Gevoeligheidsanalyse van de terugverdientijd naar de groei van de energiekosten</i>	- 35 -
Tabel 5: <i>Overzicht case studies</i>	- 38 -
Tabel 6: <i>Beschouwde discontovoeten</i>	- 41 -
Tabel 7: <i>Beschouwde energieprijsscenario's</i>	- 43 -
Tabel 8: <i>Wandopbouw en U-waarden passiefhuis Tongeren</i>	- 47 -
Tabel 9: <i>Vergelijking energieverbruik voor/na renovatie</i>	- 51 -
Tabel 10: <i>Componenten van de aardgasprijs voor passiefwoning Tongeren in 2009</i>	- 52 -
Tabel 11: <i>Investeringsuitgave en -besparingen voor passiefwoning Tongeren, exclusief premies</i>	- 53 -
Tabel 12: <i>Sensitiviteitsanalyse van de investeringsmaatstaven exclusief premies</i>	- 53 -
Tabel 13: <i>Investeringsuitgave en -besparingen voor passiefwoning Tongeren, inclusief premies voor 2009</i>	- 54 -
Tabel 14: <i>Sensitiviteitsanalyse van de investeringsmaatstaven inclusief premies</i>	- 55 -
Tabel 15: <i>Componenten van de aardgasprijs voor lage-energiewoning Heverlee in 2009</i>	- 59 -
Tabel 16: <i>Investeringsuitgave en -besparingen voor lage-energiewoning Heverlee, exclusief premies</i>	- 60 -

Tabel 17: <i>Sensitiviteitsanalyse van de investeringsmaatstaven exclusief premies</i>	- 60 -
Tabel 18: <i>Investeringsuitgave en -besparingen voor lage-energiewoning Heverlee, inclusief premies voor 2009</i>	- 61 -
Tabel 19: <i>Sensitiviteitsanalyse van de investeringsmaatstaven inclusief premies</i>	- 62 -
Tabel 20: <i>Componenten van de aardgas- en elektriciteitsprijs voor SD Worx in 2009</i>	- 68 -
Tabel 21: <i>Investeringsuitgave en -besparingen voor SD Worx, exclusief premies</i>	- 68 -
Tabel 22: <i>Sensitiviteitsanalyse van de investeringsmaatstaven exclusief premies</i>	- 69 -
Tabel 23: <i>Investeringsuitgave en -besparingen voor SD Worx, inclusief premies voor 2009</i>	- 70 -
Tabel 24: <i>Sensitiviteitsanalyse van de investeringsmaatstaven inclusief premies</i>	- 70 -
Tabel 25: <i>Componenten van de aardgas- en elektriciteitsprijs voor Oxfam in 2009</i>	- 77 -
Tabel 26: <i>Investeringsuitgave en -besparingen voor Oxfam, exclusief premies</i>	- 77 -
Tabel 27: <i>Sensitiviteitsanalyse van de investeringsmaatstaven exclusief premies</i>	- 78 -
Tabel 28: <i>Investeringsuitgave en -besparingen voor Oxfam, inclusief premies</i>	- 79 -
Tabel 29: <i>Sensitiviteitsanalyse van de investeringsmaatstaven inclusief premies</i>	- 79 -
Tabel 30: <i>Samenvatting van de resultaten van de economische evaluatie voor renovatieprojecten van particuliere eengezinswoningen</i>	- 81 -
Tabel 31: <i>Samenvatting van de resultaten van de economische evaluatie voor kantoorgebouwen</i>	- 83 -
Tabel 32: <i>Samenvatting van de resultaten van de economische evaluatie voor passieve gebouwen</i>	- 84 -
Tabel 33: <i>Samenvatting van de resultaten van de economische evaluatie voor lage-energiegebouwen</i>	- 85 -

Lijst met bijlagen

Bijlage 1: <i>De maximale U-waarden of de minimale R-waarden</i>	- 106 -
Bijlage 2: <i>Overzicht subsidies en fiscale voordelen 2010</i>	- 108 -
Bijlage 3: <i>Interview Stefan Van Loon</i>	- 112 -

1 Inleiding

1.1 Klimaatverandering

Het onderwerp "klimaatverandering" is in de laatste jaren niet meer uit de actualiteit weg te denken. Geregeld vernemen we in de media dat het aantal natuurrampen steeds toeneemt en zal blijven toenemen in de toekomst. Klimaatcatastrofes worden gelinkt met de globale temperatuurstijging die het gevolg zou zijn van de stijgende hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer. Klimaatexperten van het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007) bevestigen dat de temperatuur op aarde tussen 1906 en 2005 met gemiddeld 0,74°C gestegen is en tegen het jaar 2100 waarschijnlijk nog met 1,1 tot 6,4°C zal stijgen. Naast de stijging van de temperatuur zou in die periode ook de hoeveelheid neerslag wereldwijd toenemen met bijna 20%, wat zou leiden tot een stijging van de zeespiegel van 17cm.

Het broeikaseffect is een natuurlijk fenomeen. Het is een proces van warmteabsorptie dat de aarde tegen extreme temperaturen beschermt. De menselijke activiteiten maken dit echter tot een groot probleem. Sinds de Industriële Revolutie (1750) zorgen de menselijke activiteiten voor een sterke toename in de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer. De concentratie koolstofdioxide (CO₂) steeg sinds deze periode met 31%, de methaanconcentratie (CH₄) met 150% en distikstofoxide (N₂O) met 16% (Watson et al., 2001). De CO₂-concentratie, uitgedrukt in deeltjes per miljoen (ppm) bedraagt ongeveer 387 ppm en is het hoogst in 420.000 jaar tijd (UNEP/GRID-Arendal, 2005). Volgens het KMI (Koninklijk Meteorologisch Instituut, 2009) stuwen de menselijke activiteiten jaarlijks ongeveer 30 miljard ton CO₂ in de Belgische atmosfeer. Dit komt overeen met een gemiddelde van 5 ton CO₂ per persoon. Hierdoor wordt het natuurlijke broeikaseffect versterkt en komt bijgevolg een voor ons leefbaar klimaat onder druk te staan.

1.2 Het klimaatbeleid

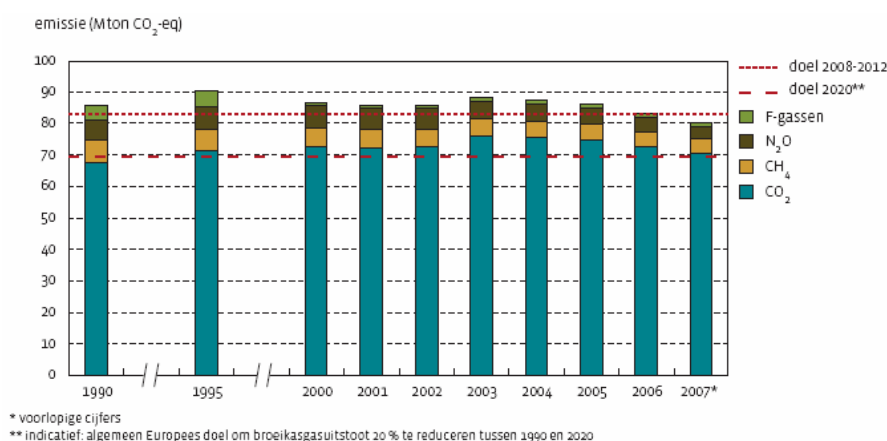
Uit het bovenstaande praktijkprobleem van de klimaatverandering blijkt dat er wereldwijd nood is aan een effectief klimaatbeleid. Het klimaatbeleid heeft twee hoofddoelstellingen, namelijk mitigatie en adaptatie. Mitigatie verwijst naar de maatregelen om de gevolgen van de klimaatverandering te voorkomen. Dit is mogelijk door het reduceren van broeikasgasemissies, CO₂-afvang en -opslag, het voorkomen van ontbossing, en herbebossing. Adaptatie daarentegen betekent dat er maatregelen moeten genomen worden voor de aanpassing aan de gevolgen van de klimaatverandering. In de praktijk is het adaptatiebeleid vooral gericht op het gebied van landbouw, natuur- en waterbeheer (Adaptatie Ruimte & Klimaat, 2007).

In 1979 werd klimaatverandering voor het eerst erkend als een zeer ernstig, mondiaal probleem tijdens de Eerste Wereldklimaatconferentie in Genève (World Meteorological Organization, 1979). In juni 1992 werd tijdens de Conferentie van de Verenigde Naties over Milieu en Ontwikkeling in Rio de Janeiro het Klimaatverdrag goedgekeurd (United Nations Framework Convention on Climate Change UNFCCC, z.d.). Met dit verdrag hebben de op dit moment 192 ondertekenende landen afspraken gemaakt om de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer te stabiliseren op een acceptabel niveau.

Sinds het midden van de jaren negentig werd duidelijk dat de verplichtingen van het Klimaatverdrag niet volstonden om de mogelijke klimaatswijziging tegen te gaan. Daarom werd na jaren van onderhandeling in december 1997 het Klimaatverdrag aangevuld met het Kyoto-protocol. Hierin werden voor alle ondertekenende industrielanden duidelijke verplichtingen omschreven en kreeg elk ondertekenend land afzonderlijk specifieke en bindende reductiedoelstellingen. Deze doelstellingen bepalen welke uitstoot aan broeikasgassen elk ondertekenend land nog mag hebben. Zo is België bijvoorbeeld verplicht om de uitstoot van broeikasgassen met 7,5% te reduceren tegen 2012 in vergelijking met het niveau van het referentiejaar 1990. De doelstelling specifiek voor

Vlaanderen bedraagt 5,2% (Nationale Klimaatcommissie, 2007). Dit komt overeen met een reductie tot 82,463 miljoen ton CO₂-eq^a.

In figuur 1 zien we dat België in 2007 reeds onder de Kyoto-doelstelling van 2008-2012 duikt. In 2007 bedragen de emissies immers 79,7 M ton CO₂-eq of met andere woorden liggen de jaarlijkse emissies 3,4% onder het doel voor de periode 2008-2012. De doelstelling van 2020 beoogt een vermindering van de broeikasgasuitstoot van 20% ten opzichte van het referentiejaar 1990. Onderstaande figuur toont aan dat deze doelstelling nog niet bereikt is. Het is dus vooral belangrijk dat men de geleverde inspanningen de volgende jaren kan doortrekken (Vlaamse Milieumaatschappij, 2008b). In de figuur kan men ook duidelijk zien dat het overgrote deel van de emissies van broeikasgassen bestaat uit CO₂-uitstoot.



Figuur 1: Emissie van broeikasgassen per gas

Bron: Vlaamse Milieumaatschappij, 2008b

^a CO₂-equivalent (CO₂-eq) is een meeteenheid gebruikt om het opwarmende vermogen (global warming potential) van broeikasgassen weer te geven. CO₂ is het referentiegas waartegen andere broeikasgassen gemeten worden. Omdat bijvoorbeeld bij eenzelfde massa gas het opwarmende vermogen van CH₄ 21 keer hoger is dan dat van CO₂, komt 1 ton CH₄ overeen met 21 ton CO₂-equivalenten (Vlaamse Milieumaatschappij, 2008a).

De klimaatproblematiek is een mondiaal rechtvaardigheidsvraagstuk. Hoewel de landen in het noorden het meest bijdragen tot de opwarming van de aarde, zijn het de zuiderse landen die er het grootste slachtoffer van zijn. Het wordt dan ook normaal geacht dat de grootste vervuilers het initiatief nemen en de eigen uitstoot van broeikasgassen in een sneltempo afbouwen. Dit is conform aan de twee belangrijke principes van het internationale klimaatbeleid. Deze luiden 'de vervuiler betaalt' en 'de gezamenlijke maar verschillende verantwoordelijkheid' (Vlaams Overleg Duurzame Ontwikkeling, 2008).

1.3 Energiezuinig bouwen

Wanneer de uitstoot van broeikasgassen per sector vergeleken wordt, kan hieruit worden afgeleid dat in België de verwarming van gebouwen (21,8%), de omvorming van energie (20,8%), de industrie (19,4% + 10,2%) en het transport (18,4%) zorgen voor de grootste uitstoot van broeikasgassen. Deze vier componenten worden ook weleens 'de 4 grote energieverbruikers' genoemd (Vlaams Overleg Duurzame Ontwikkeling, 2008). Opmerkelijk is dat de verwarming van gebouwen een aanzienlijk aandeel inneemt in de uitstoot van broeikasgassen. Dit komt omdat het merendeel van het Belgische woningbestand bestaat uit conventionele woningen met een beperkte isolatielaag zonder energie-efficiënte installaties (Passiefhuis-Platform vzw, 2009). Vervolgens brengt dit hoge stookkosten voort.

De grote mediabelangstelling rond de klimaatproblematiek wijst erop dat de mens zich bewust wordt van zijn ongunstige invloed op het milieu. Stilaan groeit het idee van duurzaam bouwen. Dit kan men definiëren als het zodanig ontwikkelen en beheren van de gebouwde omgeving zodat de schade voor het milieu in alle fasen van het bouwproces, gaande van initiatief- tot beheerfase, zoveel mogelijk beperkt blijft (Centrum Duurzaam Bouwen, 2009).

Volgens Gram-Hanssen en Jensen (2009) zou de bouw van meer duurzame gebouwen tot een reductie van energieverbruik voor het verwarmen en koelen van nieuwe woonwijken

leiden. Dit heeft als gevolg dat de hoeveelheid fossiele brandstof, die door het gebouwde milieu wordt verbruikt, zou verminderen. Hierdoor zou de emissie van CO₂ in de atmosfeer dalen. Dit is essentieel aangezien CO₂ één van de broeikasgassen is die een belangrijke rol in het globale verwarmen speelt.

Chlela et al. (2009) adviseren dat de overheid de gemeenschap zou stimuleren om de Kyoto-doelstellingen te behalen. De overheid heeft als taak om nieuwe lage-energiebouwconstructies en de retroactieve aanpassing van bestaande gebouwen te promoten zodat deze zouden voldoen aan de lage-energicriteria. Hiervoor dient men de ontwikkeling van duurzame bouwconcepten en het gebruik van hernieuwbare energiebronnen aan te moedigen. Er kunnen allerlei beleidsinstrumenten gehanteerd worden zoals de bouwregelgeving, subsidieprogramma's voor de aanwending van energiezuinige technieken, een energiebelasting en de invoering van energieprestatiecertificaten (Organisation for Economic Co-operation and Development OECD, 2005).

Concreet zal in deze eindverhandeling de vraag gesteld worden of een toename van passiefhuizen een oplossing kan bieden aan de problematiek van het enorme energieverbruik door de gebouwde omgeving. Een passiefhuis is een specifieke constructiestandaard voor woongebouwen met een comfortabel binnenklimaat en dit zowel tijdens de winter als de zomer. Het passiefhuis is een verfijning van de lage-energie woning en maakt geen gebruik van een traditioneel verwarmings- of koelsysteem. Het ontwerp is gericht op maximale benutting van passieve technologieën. Door middel van een doorgedreven isolatie en de goede luchtdichting zijn de warmteverliezen van het passiefhuis zeer beperkt (Badescu & Sicre, 2003).

Vaak denkt men dat een passiefhuis ontzettend duur is en het ontwerp ervan veel tijd in beslag neemt (Boon et al., 2004). Hoewel de overheid voor de meeste initiatieven subsidies ter beschikking stelt en dus een gedeelte van de kost op zich neemt, zullen de investeringen van duurzaam bouwen toch nog aanzienlijk zijn. Het doel van dit werk is nagaan hoe economisch rendabel het is om te investeren in passiefhuizen ten opzichte

van andere vormen van energiezuinig wonen. Dit zal onderzocht worden aan de hand van enkele case studies in verband met lage-energiegebouwen en passiefhuizen.

1.4 Onderzoeksvragen

Eerst wordt de centrale onderzoeksvraag geformuleerd die het uitgangspunt zal zijn van dit werk. Vervolgens worden de deelvragen hieruit afgeleid.

1.4.1 Centrale onderzoeksvraag

Uit de probleemstelling leiden we de volgende onderzoeksvraag af:

Hoe onderscheiden het passiefhuis en de lage-energiewoning zich ten opzichte van een conventionele woning en is het bouwen van passiefhuizen economisch rendabel ten opzichte van een lage-energiewoning?

Om een antwoord te kunnen formuleren op deze centrale onderzoeksvraag zal dit onderzocht worden aan de hand van enkele case studies in verband met passiefhuizen en lage-energiegebouwen. Concreet zal per case study een comfort, energetische en economische evaluatie uitgevoerd worden en vervolgens zullen de resultaten tussen de case studies met elkaar vergeleken worden. Aan de hand van de case studies zal worden nagegaan of passiefhuizen een energie-efficiënt aandeel innemen in het concept van duurzaam bouwen.

1.4.2 Deelvragen

Eerst is het belangrijk om een overzicht te geven van de mogelijke vormen van duurzaam bouwen. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de conventionele woning, de lage-energiewoning en het passiefhuis. Dit brengt ons tot de eerste deelvraag:

1. Welke vormen kan men onderscheiden op het gebied van energiezuinig wonen en wat zijn hun voornaamste kenmerken?

Vervolgens wordt er specifiek ingegaan op de analyse van het passiefhuis. Hierbij is het belangrijk te weten wat een passiefhuis is en hoe een passiefhuis kan geconstrueerd worden. Zo komt men tot de tweede deelvraag:

2. Wat is een passiefhuis en welke energiebesparende technieken zijn nodig voor de realisatie van een passiefhuis?

Nauw samenhangend met de eerste deelvraag is het essentieel om de verschillende constructiestandaarden van energiezuinig bouwen met elkaar te vergelijken. Hierbij zal een vergelijking plaatsvinden op verschillende niveaus waarbij vergeleken wordt naar de wettelijk vereiste minimale energienormen, de initiële kost en energiebesparing, de terugverdientijd en andere componenten zoals de leefbaarheid. Dit zal onderzocht worden aan de hand van de derde deelvraag:

3. Wat zijn de voornaamste verschillen tussen de conventionele woning, de lage-energiewoning en het passiefhuis?

Vervolgens is het van belang om een idee te hebben van de leefbaarheid en de luchtkwaliteit in een energiezuinige woning. Daarom wordt er gebruik gemaakt van enkele case studies die beperkt worden tot passiefhuizen en lage-energiegebouwen in Vlaanderen. Per case study zal er een comfortevaluatie uitgevoerd worden. Hierbij worden zowel de binnentemperatuur als de binnenluchtkwaliteit onderzocht. De vierde deelvraag luidt als volgt:

4. Worden passiefhuizen gekenmerkt door een gunstiger binnenklimaat in vergelijking tot een conventionele of lage-energiewoning?

De case studies worden eveneens gebruikt om een energetische evaluatie uit te voeren waarbij de jaarlijkse energiebesparing ten opzichte van een conventioneel gebouw wordt besproken. Deze energiebesparing wordt gerealiseerd aan de hand van de gehanteerde energiezuinige maatregelen. Daarnaast wordt in het onderzoek eveneens de CO₂-reductie

beschouwd aangezien deze factor de rechtstreekse invloed van de aanwezige, energiezuinige technieken weergeeft op het milieu. Dit brengt ons tot de vijfde deelvraag: *5. Is het bouwen van passiefhuizen een adequate manier van energiebesparing in woningbouw vanuit ecologisch perspectief?*

Naast het leefcomfort en de energiebesparing van een energiezuinige woning, wordt het financiële luik beschouwd waarbij men zich de vraag stelt hoe economisch rendabel het is om te investeren in energiezuinige woningen. Concreet zal in de zesde deelvraag de rendabiliteit van passiefhuizen ten opzichte van andere vormen van energiezuinig wonen onderzocht worden aan de hand van een economische evaluatie. Deze bevat een financiële analyse waarbij nagegaan wordt wat de verdisconteerde terugverdientijd van de investering is, alsook de Netto Contante Waarde en de interne opbrengstvoet. Vervolgens zullen de resultaten van de verschillende case studies met elkaar vergeleken worden om hieruit een algemene conclusie te kunnen trekken. Dit brengt ons tot de laatste deelvraag:

6. Is het bouwen van passiefhuizen een adequate manier van energiebesparing in woningbouw vanuit economisch perspectief?

2 Literatuurstudie: Vormen van duurzaam bouwen

Voor de uitwerking van deze eindverhandeling zal in eerste instantie een theoriegericht onderzoek plaatsvinden. Concreet zal er een descriptief onderzoek verricht worden om een antwoord te kunnen geven op de eerste, tweede en derde deelvraag. Deze deelvragen zullen beantwoord worden aan de hand van een literatuurstudie, waarbij een onderscheid gemaakt wordt tussen de conventionele woning, de lage-energiewoning en het passiefhuis.

2.1 De conventionele woning

2.1.1 Beschrijving

Een conventionele woning of standaardwoning kan men definiëren als een woning gebouwd volgens de gangbare praktijk van een specifiek land in een bepaalde periode die voldoet aan de wettelijk vereiste minimale energienormen (Hestnes & Sartori, 2007). De wettelijk vereiste minimale energienormen worden ook wel de Energie-Prestatie-Besluit (EPB)-eisen genoemd. Deze EPB-eisen vloeien voort uit de Kyoto-overeenkomsten en hebben betrekking op de energieprestaties en het binnenklimaat van de woning. Het uitgangspunt is een betere isolatie om minder CO₂ uit te stoten.

De energieprestatieregelgeving is van kracht sinds 1 januari 2006 en legt 3 soorten eisen op:

- ***Thermische isolatie-eisen***

De isolatie-eisen worden bepaald aan de hand van het K-peil en de U-waarden.

De *K-waarde* is een maat voor de warmteverliezen in een gebouw. De waarde drukt het globale warmte-isolatiepeil van een gebouw uit in functie van de compactheid van het

gebouw en het gemiddelde van de verschillende U-waardes van al de onderdelen van het gebouw. Hoe lager de K-waarde, hoe beter het gebouw geïsoleerd is en hoe minder warmte er via de gebouwschil ontsnapt. De EPB-wetgeving bepaalt dat de wettelijke norm in Vlaanderen voor conventionele nieuwbouwwoningen op K45 ligt (Vlaamse Confederatie Bouw, 2005).

De *U-waarde* (uitgedrukt in W/m^2K) is de warmtedoorgangscoefficiënt van een bepaald constructiedeel van een woning (bv., muur, dak en vloer). Deze waarde geeft het warmteverlies aan dat per seconde, per vierkante meter en per temperatuurverschil van 1 °C tussen binnen- en buitenmuur overgaat van de lucht in een binnenruimte naar de buitenlucht. Hoe lager de U-waarde van een constructiedeel, hoe minder warmte er verloren gaat (Centrum Duurzaam Bouwen, 2009). De U-waarde is de inverse van de totale warmteweerstand ($1/R_d$). De U-waarde is een goed criterium om de gebouwschil te beoordelen omdat dit enerzijds de luchtdichtheid en de isolatiewaarde van het gebouw bevat en anderzijds de oriëntatie van het gebouw aangeeft (Passiefhuis-Platform vzw, 2009)^b.

- Maximum E-peil

Het *E-peil* is een maat voor de energiezuinigheid van een gebouw. Het geeft het totale energieverbruik weer van een woning en de vaste installaties ervan. Hoe lager het E-peil, hoe energiezuiniger het gebouw is. De wettelijke norm in Vlaanderen is een E-peil van maximum E100 (Passiefhuis-Platform vzw, 2009). De Europese regelgeving betreffende nieuwbouw wordt echter alsmat strenger waardoor tegen 2010 bouwen naar E-peil van E80 verplicht is. Gemiddeld hebben standaardwoningen een verwarmingsverbruik van 150 kWh/m² per jaar (Bostoen, 2009a).

- Binnenklimaateisen

De binnenklimaateisen vertalen zich in de verplichting van minimale ventilatievoorzieningen en de beperking van het risico op oververhitting tijdens de zomer

^b Overzicht van de maximale U-waarden en minimale R-waarden: zie bijlage 1

in het gebouw. De ventilatievoorzieningen voor woongebouwen moeten voldoen aan de Belgische norm NBN D50-001 van 1991. Voor de ventilatievoorzieningen in niet-residentiële gebouwen moet voldaan worden aan de Europese normering. Op deze manier wordt een gezonde binnenluchtkwaliteit gewaarborgd (De Groof, 2009).

De EPB-eisen verschillen in België van gewest tot gewest. Tabel 1 geeft de minimale EPB-eisen voor nieuwbouwwoningen in Vlaanderen weer in functie van de aard van het gebouw.

Tabel 1: EPB-eisen in Vlaanderen

Bron: Livios, 2009a

	Woongebouwen	Kantoren en scholen	Andere specifieke bestemmingen	Industriële gebouwen
Thermische isolatie	K45 en Umax	K45 en Umax	K45 en Umax	K55 of Umax
Maximum E-peil	E100 E80 van 1/2010	E100	/	/
Binnenklimaat	Residentiële ventilatie en beperking risico op oververhitting	Niet-residentiële ventilatie	Niet-residentiële ventilatie	Niet-residentiële ventilatie

De gemiddelde kostprijs van een conventionele woning bedraagt tussen 800 en 1.000 €/m². De minimumprijs van 800 €/m² is zeer laag en enkel realiseerbaar met behulp van goedkope, sobere en eenvoudige ingrepen (Passiefhuis-Platform vzw, 2009).

2.2 De lage-energie woning

2.2.1 Beschrijving

Een woning die aanzienlijk energiezuiniger is dan de conventionele woning is de lage-energie woning. Een lage-energie woning wordt gedefinieerd als een woning gebouwd

volgens bijzondere ontwerpcriteria gericht op het minimaliseren van het energieverbruik van de woning (Hestnes & Sartori, 2007). Onder deze bijzondere ontwerpcriteria verstaat men een bovengemiddelde isolatie van de volledige buitenschil van de woning en een goede luchtdichtheid. Het isolatiepeil van de lage-energiewoning varieert rond de K30, terwijl het E-peil ongeveer E60 bedraagt (Passiefhuis-Platform vzw, 2009).

Bovendien is de woning voor de aanvoer van verse lucht voorzien van een ventilatiesysteem (eventueel met warmterecuperatie) en streeft men een optimale benutting van passieve warmtewinsten na. Een passieve warmtewinst is de warmte die een woning 'gratis' binnenkomt en dus niet via een verwarmingssysteem wordt geleverd. Zo is de warmte, afgegeven door de zon een voorbeeld van passieve warmtewinst. Passieve zonnwinsten betekenen immers gratis energie voor ruimteverwarming en op mogelijker wijze ook voor de productie van sanitair warm water en elektriciteit. Om dit te kunnen realiseren worden de meeste ramen van de woning naar het zuiden georiënteerd en voorziet men de woning van een isolerende, dubbele beglazing. Deze maatregelen zijn echter niet voldoende om de woning volledig mee te verwarmen. Om de woning te voorzien van een comfortabel binnenklimaat is er nood aan een bijkomend verwarmingssysteem van 4 tot 9 kW. Het verbruik van verwarming voor een lage-energiewoning bedraagt ongeveer 50 kWh/m² vloeroppervlakte op jaarbasis (Livios, 2009b).

De kostprijs van een lage-energiewoning schommelt tussen 1.100 en 1.300 €/m² (Audenaert et al., 2008). Omwille van de bovengemiddelde isolatie en de goede luchtdichtheid van de gebouwschil verbruikt de lage-energiewoning 50 tot 60% minder energie dan een conventionele woning. Dit leidt tot een besparing van de verwarmingskosten, waardoor er een terugverdieneffect ontstaat. De terugverdientijd van de lage-energiewoning schommelt tussen 15 tot 20 jaar. Het lagere energieverbruik leidt eveneens tot een verminderde uitstoot van CO₂ en dus tot een verbetering van het milieu.

2.2.2 Subsidies en fiscale voordelen

Met een lage-energiewoning kan men aanspraak maken op subsidies en fiscale voordelen in België (Livios, 2009c). Zo is er vanaf 2009 een globale E-peilpremie voorzien voor nieuwbouwwoningen met E80 en lager. Deze E-peilpremie bedraagt als volgt:

- E80-E61: 400 € voor E80 + 30 € extra per E-peilpuntverbetering
- E60-E41: 1.000 € voor E60 + 40 € extra per E-peilpuntverbetering
- E40-E0: 1.800 € voor E40 + 50 € extra per E-peilpuntverbetering

Bovendien is er een rechtstreekse vermindering van de onroerende voorheffing voorzien. Deze bedraagt als volgt:

- Lage-energiewoning (E60 tot en met E41): 20% minder onroerende voorheffing gedurende 10 jaar
- Zeer lage-energiewoning (E40 of lager): 40% minder onroerende voorheffing gedurende 10 jaar

2.3 Het passiefhuis

2.3.1 Beschrijving

In mei 1988 ontstond er tijdens de Passive House Conference in Düsseldorf voor het eerst de idee van het passiefhuisconcept. Wolfgang Feist en Bo Adamson stelden zich de vraag hoe comfort kon gemaximaliseerd worden met tegelijkertijd een minimalisatie van het energieverbruik. Zij bepaalden de oorspronkelijke definitie van het passiefhuis: 'A building in which a comfortable interior climate can be maintained without active heating and cooling systems' (Feist, 2006). In 2001 tonen Feist en Adamson aan dat het energieverbruik van een passiefhuis minder dan een kwart bedraagt van het gemiddelde verbruik van een standaard eengezinswoning.

De term passiefhuis staat voor een specifieke, energiezuinige constructiestandaard voor woongebouwen met een comfortabel binnenklimaat in zowel de winter als de zomer. Door

middel van een doorgedreven isolatie van de volledige buitenschil en een goede luchtdichting zijn de warmteverliezen van het passiefhuis zo gering zodat de totale jaarlijkse energievraag voor ruimteverwarming en -koeling slechts maximaal 15 kWh/m².jaar bedraagt. Deze warmte kan geleverd worden door middel van een gebalanceerde ventilatie met een hoge mate van warmterecuperatie. De totale jaarlijkse hoeveelheid primaire energie voor een passiefhuis bestaat uit de energie voor ruimteverwarming, ventilatie, huishoudapparaten en sanitair warm water en bedraagt maximaal 42 kWh/m².jaar of 120 kWh_{prim}/m².jaar (Boonstra et al., 2007).

Een passiefhuis is een specifieke manier van bouwen waarbij men met de hygiënische ventilatielucht de woning kan verwarmen zodanig dat een traditioneel verwarmingssysteem overbodig wordt. Het budget dat men uitspaart door niet te investeren in centrale verwarming of een kachel, kan men gebruiken voor het plaatsen van een betere isolatie, drievoudige beglazing of een betere ventilatie van de woning. In de praktijk blijkt de K-waarde van het passiefhuis te variëren tussen K10 en K20, terwijl het E-peil ongeveer E30 bedraagt (Centrum Duurzaam Bouwen, 2009).

Een passiefhuis kent geen koude wanden, geen koude tocht en heeft een correct ventilatiedebiet. Bij een passiefhuis dient extra veel aandacht en zorg te worden besteed aan het koudebrugvrij bouwen. Een koudebrug is een zwakke schakel in de thermische isolatie in een bepaald constructiedeel waar rechtstreeks contact mogelijk is tussen binnen- en buitenlucht. Op de plaatsen waar de thermische isolatie niet doorloopt of het isolatiemateriaal niet goed op elkaar aansluit, gaat veel warmte verloren. Dit geeft aanleiding tot oppervlaktecondensatie en schimmelvorming (Bouwteamwoning, 2009). Koudebruggen zijn in een passiefhuis niet toegestaan. De bewijsvoering van de afwezigheid van koudebruggen dient te gebeuren door de architect (Passiefhuis-Platform vzw, 2009).

2.3.2 Technische aspecten van een passiefhuis

Het basisidee van het passiefhuis is dat men enerzijds moet proberen om in de winter de warmtewinsten zo groot mogelijk en anderzijds de warmteverliezen zo klein mogelijk te

maken. Deze stelling komt tot uiting in de volgende zes basisprincipes waarop het passiefhuis gebaseerd is. De eerste vier principes (maximale isolatie, luchtdichtheid, passieve warmtewinsten en ventilatie met warmteterugwinning) zijn cruciaal voor het passiefhuisconcept. Om de gevolgen voor het milieu volledig te minimaliseren zijn echter nog twee bijkomende principes nodig, namelijk elektrische efficiëntie en hernieuwbare energiebronnen (Hermelink & Schnieders, 2006). Als aan alle onderstaande richtwaardes wordt voldaan, dan is het gebouw in staat om zonder een traditioneel verwarmingssysteem een zeer comfortabel binnenklimaat te creëren. Concreet spreekt men in dit geval van een 'passiefhuis' (Passivhaus Institut, 2008).

2.3.2.1 Passieve maatregelen

Passieve maatregelen zijn maatregelen die door loutere aanwezigheid het energieverbruik verminderen. Zo worden isolatie, luchtdichtheid en compactheid van de woning als passieve maatregelen gezien. Ook een goede oriëntatie van de woning en het gebruik van passieve energie kunnen binnen deze categorie worden gegroepeerd.

A) Isolatie

De traditionele Vlaamse woning is opgebouwd uit een beperkte isolatielaag, waardoor er veel warmte verloren gaat door dak, ramen, vloeren en muren. Dit brengt hoge stookkosten met zich mee. Het passiefhuis daarentegen is zo goed geïsoleerd dat er slechts een verwarmingsvermogen nodig is van ongeveer 10 W/m², welke makkelijk toegeleverd kan worden via ventilatielucht (Passiefhuis-Platform vzw, 2009).

De parameters aangaande de isolatiekwaliteit zijn de K-waarde, U-waarde, warmtegeleidbaarheid en warmteweerstand. Aangezien de K-waarde en U-waarde reeds besproken werden, zal hier alleen nog de definitie van de andere parameters gegeven worden.

De *warmtegeleidbaarheid* λ , beter bekend als de Lambda-waarde (uitgedrukt in W/mK) geeft aan in welke mate het materiaal de warmte geleidt (Bouwteamwoning, 2009). Concreet geeft deze waarde aan hoeveel warmte er per seconde geleid wordt

door een wand van 1m dikte met een oppervlak van 1m² bij een temperatuurverschil van 1K tussen de twee vlakken van de muur. Hoe lager deze waarde hoe beter het materiaal isoleert en warmteverlies tegenhoudt (Dialogoovzw, 2009).

De *warmteweerstand* R_d (uitgedrukt in m²K/W) is de verhouding tussen de dikte van het gekozen materiaal (in m) en de warmtegeleidbaarheid λ . Hoe groter deze waarde, hoe beter de isolatielaag isoleert. De totale warmteweerstand is niet alleen die van het betreffende isolatiemateriaal, maar de som van de warmteweerstanden van de diverse materialen waaruit de constructie is opgebouwd. De warmteweerstand is het omgekeerde van de U-waarde (1/U) (Dialogoovzw, 2009).

Tabel 2 bevat de prestatie-eisen die zo goed mogelijk dienen gerespecteerd te worden om aan de passiefhuisstandaard te voldoen. Daarnaast zijn tevens de U-waardes voor de conventionele woning opgesomd. Het behalen van een hoog isolatieniveau wil zeggen dat de transmissiewaarden van de gebouwschil voldoende laag worden gespecificeerd. Tevens dient de constructie vrij te zijn van thermische koudebruggen (Hermelink & Schnieders, 2006).

Tabel 2: Richtwaardes voor de passiefhuisstandaard vergeleken met de conventionele woning

	Passiefhuis	Conventionele woning
U-waarde van vloeren, muren, daken	$U < 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = \pm 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
U-waarde van buitenschrijnwerk (frame)	$U_f < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_f = \pm 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
U-waarde van beglazing (glass)	$U_g < 0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_g = \pm 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
U-waarde van het gehele raam (window)	$U_w < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_w = \pm 1,79 \text{ W/m}^2\text{K}$

De warmtegeleidbaarheid λ dient tevens maximaal 0,01 W/mK te zijn. Passiefhuisprojecten tonen aan dat deze waarden kunnen worden bereikt met verschillende bouwwijzen en in alle architecturale vrijheid.

B) Luchtdicht bouwen

De traditionele Vlaamse woning is allesbehalve luchtdicht, wat zorgt voor substantiële warmteverliezen door kieren en spleten. Ongecontroleerde luchtlekken kunnen via deze kieren en spleten zorgen voor een kortsluiting van de ventilatiestromen en de verspreiding van geuren. Daarnaast geven luchtlekken aanleiding tot een overdreven, nutteloos energieverbruik en een onaangenaam tochtgevoel doorheen de woning (Passiefhuis-Platform vzw, 2009).

Het passiefhuis is voorzien van een goede luchtdichting, die essentieel is voor een efficiënte ventilatiewerking. De isolatielaag moet luchtdicht zijn omdat onnodige luchtcirculatie in het isolatiemateriaal zorgt voor warmteverliezen in de winter en opwarming in de zomer. Om een luchtdichte woning te creëren dient men bij buitenmuren in metselwerk de binnenzijde te bepleisteren. Bij de isolatie van daken opteert men best voor een aparte, luchtdichte folie die de functie vervult van lucht- en dampscherm. Hierdoor wordt verhinderd dat woonvocht in de isolatie belandt (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2006).

De *n50-waarde* is een maatstaf voor de luchtdichtheid van een gebouw. De eenheid van luchtdichtheid wordt uitgedrukt in $n50 \text{ h}^{-1}$. Dit getal zegt hoeveel maal per uur de volledige luchtinhoud van de woning door de kieren verloren gaat bij een drukverschil van 50 Pa. De gemiddelde *n50-waarde* in Vlaanderen bedraagt 7,8 volumewisselingen per uur. Passiefhuizen daarentegen eisen een *n50-waarde* van maximaal 0,6 volumewisselingen per uur. Dit is maar liefst 10 tot 12 keer beter. Men raadt aan voor lage-energiewoningen te streven naar minstens een *n50-waarde* van 1 tot 1,5. De luchtdichtheidsgraad van een gebouw wordt gemeten aan de hand van een pressurisatieproef. Door de woning in onder- of bovendruk te brengen, kan men de luchtverliezen per uur berekenen bij een drukverschil van 50 Pa (Dialogo vzw, 2009).

C) Passieve warmtewinsten

Om het verwarmingsverbruik in een passiefhuis te beperken, moet men niet alleen warmteverliezen vermijden, maar moet ook de warmtewinst zo groot mogelijk zijn.

Daarom is een passiefhuis voorzien van superisolerend glas dat tezelfdertijd een grote inval van zonnestrallen toelaat. Bovendien zijn de meeste ramen gericht naar het zuiden zodat er maximaal gebruik wordt gemaakt van de opwarming door directe zonnestraling. De beglazing moet minstens 40% van de warmtevraag voorzien (Passiefhuis-Platform vzw, 2009).

Zoals hierboven vermeld dient de U-waarde van het gehele raam minstens 0,8 W/m²K te zijn. Het is aangewezen om de woning te voorzien van een drievoudige beglazing. Met deze beglazing kan men - afhankelijk van de samenstelling van de gassen in het glas - zelfs een U-waarde bereiken van 0,5 W/m²K. Dit heeft als gevolg dat in het stookseizoen - van november tot maart - de energiebalans van dergelijke ruiten positief is in tegenstelling tot een dubbele lage-energiebeglazing die nettoverliezen heeft in de kern van de winterperiode (Hermelink & Schnieders, 2006). Kortom, de optimale positionering van de ramen in combinatie met externe zonwering zorgen ervoor dat de warmtewinst geoptimaliseerd wordt.

De parameter voor beglazing is de zontoetredingsfactor of *g-waarde* welke gedefinieerd kan worden als een maatstaf van de efficiëntie van zonwering. De *g-waarde* is het totale percentage van de zonne-energie dat door een venster, eventueel met zonwering, naar binnentreedt. De richtwaarde voor de beglazing van het passiefhuis is een *g-waarde* van minimaal 50%, terwijl de *g-waarde* voor een conventionele woning doorgaans ongeveer 18% bedraagt. In een passiefhuis wordt superisolerend glas geplaatst dat toch een grote zontoetreding toelaat door een hoge *g-waarde* (Habitos, 2009).

Hiertegenover staat dat men oververhitting dient te vermijden, bijvoorbeeld door het voorzien van externe, structurele beschaduwing zoals balkons, luifels of buitenzonwering. De kwaliteit van het zomercomfort zal tevens afhangen van het voorzien van nachtkoeling of andere passieve koeltechnieken.

2.3.2.2 Actieve maatregelen

Actieve maatregelen zijn maatregelen die eerst energie moeten gebruiken om vervolgens het totale energieverbruik effectief te kunnen doen dalen. Een actieve maatregel is de ventilatie met warmteterugwinning. Daarenboven wordt het gebruik van energiezuinige huishoudapparaten en van hernieuwbare energiebronnen eveneens als actieve maatregelen gezien.

A) Ventilatie

Het basisidee van de passiefhuisstandaard is om de verse lucht die nodig is voor de hygiënische ventilatie ook te gebruiken voor de verwarming van het gebouw. Dit leidt tot kostenbesparingen aangezien een traditioneel ruimteverwarmingssysteem niet meer noodzakelijk is. De ventilatie wordt continu mechanisch gestuurd door een gecontroleerde balansventilatie welke zorgt voor een optimale luchtkwaliteit. Het systeem van balansventilatie is gebaseerd op het creëren van een evenwicht tussen aan- en afvoer van lucht in de woning. Elektrische ventilatoren zorgen ervoor dat de vervuilde binnenlucht wordt afgevoerd uit de natte ruimtes (badkamer, keuken en toilet), terwijl de verse buitenlucht wordt aangevoerd in de droge ruimtes (leefruimtes, slaapkamers en werkruimtes) (Centrum Duurzaam Bouwen, 2009).

Meestal gaat dit systeem gepaard met een warmterecuperatieapparaat. Deze warmtewisselaar zorgt ervoor dat de warmte van de afvoerlucht wordt overgedragen op de binnenkomende, verse aanvoerlucht. Een bijkomende opportuniteit om de efficiëntie van passiefhuizen te verbeteren is het gebruik van een bodem-lucht warmtewisselaar of grondbuis. De bodem heeft gedurende de winter een hogere temperatuur dan de buitenlucht en gedurende de zomer een lagere temperatuur. Daardoor is het mogelijk om met een grondbuis verse lucht voor te verwarmen in de winter en passief te koelen in de zomer. Een eenvoudige berekening toont aan dat deze aanpak het verwarmingsvermogen van een passiefhuis beperkt tot 10 W/m² (Hermelink & Schnieders, 2006).

De Belgische norm voor de passiefhuisstandaard vereist een maximale efficiënte gelijkstroomventilator η van 0,45 W/(m³/h) en een minimum warmterecuperatierendement van 75%. Daarnaast schrijft deze norm nog verschillende mogelijkheden van ventilatiesystemen voor: natuurlijke ventilatie, mechanische ventilatie of een combinatie van beide. Op deze wijze kunnen vier types onderscheiden worden: A, B, C en D (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2006).

- *Systeem A: natuurlijke toevoer en natuurlijke afvoer*

Bij systeem A vindt er een natuurlijke aanvoer van verse lucht in de droge ruimtes plaats via toevoerroosters in vensters of muren. Verder zorgen roosters in de binnenmuren of -deuren voor de doorstroming van de lucht. Hiervoor zijn spleten onder de binnendeuren van ongeveer een centimeter ook voldoende. De natuurlijke afvoer van vervuilde lucht in de natte ruimtes gebeurt via verticale afvoerkanalen met afsluitbare roosters.

Het voordeel van dit ventilatiesysteem is de lage kostprijs. Bovendien vergt het systeem weinig onderhoud, verbruikt het geen elektriciteit en is het zeer eenvoudig te plaatsen. Hiernaast bevat het systeem ook enkele nadelen, zoals de beperkte regelbaarheid van het systeem. Daarenboven kunnen grote warmteverliezen optreden bij veel wind en treedt er soms een koudegevoel op bij de roosters.

- *Systeem B: Mechanische toevoer en natuurlijke afvoer*

Bij systeem B blazen elektrische ventilatoren verse lucht in de droge ruimtes en zorgen verticale afvoerkanalen voor de natuurlijke afvoer van de vervuilde lucht. Een voordeel van dit systeem is de mogelijkheid om het systeem te gebruiken voor korte intensieve ventilatie door het debiet van de ventilatoren tijdelijk te verhogen. Bovendien heeft de eigenaar bij een ventilator meer opties voor de plaatsing van de toevoeropeningen. Hoewel dit systeem beter de ventilatienorm behaalt dan systeem A, is systeem B veeleer een theoretisch ventilatiesysteem en wordt het in de praktijk zelden toegepast. Systeem B vereist meer energie dan systeem A.

- *Systeem C: Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer*

Ventilatiesysteem C wordt het meeste gebruikt in een klassieke woning en omvat een natuurlijke toevoer van verse lucht via toevoerroosters in ramen of muren. De vervuilde lucht daarentegen wordt mechanisch afgevoerd via elektrische ventilatoren. Dit type ventilatiesysteem biedt de consument dezelfde voordelen aan als systeem B. Ook verbruikt het meer energie dan systeem A.

- *Systeem D: mechanische toevoer en mechanische afvoer*

Het passiefhuis is voorzien van ventilatiesysteem D waarbij zowel de toevoer van verse lucht als de afvoer van de vervuilde lucht mechanisch met behulp van elektrische ventilatoren gebeurt. Ook dit ventilatiesysteem behoudt dezelfde voordelen als bij systeem B. Indien geopteerd wordt voor een volledige mechanische ventilatie in een luchtdichte woning, kan men dit systeem best combineren met een warmterecuperatieapparaat. Hierbij wordt de aangevoerde, verse lucht verwarmd door de uitgaande lucht. Dit resulteert in minimaal en gecontroleerd ventileren met 70 tot 90 % minder energieverlies, afhankelijk van het rendement van de warmtewisselaar. Men kiest best voor een systeem dat uitgeschakeld kan worden indien de buitentemperatuur te hoog oploopt. Dit systeem verbruikt het meeste energie van de vier ventilatiemogelijkheden (Organisatie voor Duurzame Energie, 2005a).

B) Energiezuinige huishoudapparaten en verlichting

Een onderdeel van de passiefhuisfilosofie is dat efficiënte technologieën eveneens worden gebruikt om elektriciteit voor huishoudelijke apparaten te minimaliseren. Om het totale elektriciteitsverbruik te verminderen kan men best opteren voor energie-efficiënte huishoudapparaten, gekenmerkt door een A+ label (Hermelink & Schnieders, 2006). Enkele voorbeelden hiervan zijn de hotfill (vaat)wasmachine, de droogkast met warmtepomp en de energiezuinige verlichting. In hun totale levensduur zijn deze apparaten vaak de meest economische keuze door de energiebesparing. Daarnaast zorgen energiezuinige verlichting en het beperken van

stand-by verbruik voor een opmerkelijke energiebesparing. Voor het totale energieverbruik van een huishouden wordt gestreefd naar een maximum primair energieverbruik van 120 kWh/m² per jaar. Bovendien is er een gemeentelijke subsidie beschikbaar voor de aankoop van deze toestellen.

C) *Hernieuwbare energie*

In principe moet men eerst investeren in de gebouwschil en vervolgens pas in innovatieve technieken. Het principe 'doe eerst wat je later moeilijk of niet kan verbeteren' wijst erop dat men eerst voor goede isolatie, luchtdichting, ventilatie en passieve warmtewinsten moet zorgen. Vervolgens kan men de gebouwschil eventueel 'upgraden' door investeringen in zonnepanelen of een aansluiting bij een coöperatief windturbineproject waarbij men deelt in de winst (De Coninck en Verbeek, 2005). Wanneer het energieverbruik voor verwarming en elektriciteit met ongeveer 75% is teruggedrongen wordt hernieuwbare energie economisch interessant om in de resterende warmtebehoefte te voorzien. Deze eindverhandeling beperkt zich tot de bespreking van de meest voorkomende duurzame energiebronnen, namelijk de zonneboiler, fotovoltaïsche zonnepanelen en de warmtepomp.

- *Zonneboiler*

Een zonneboiler kan men definiëren als een actief, thermisch zonne-energiesysteem dat gebruikt kan worden voor het opwarmen van sanitair warm water. De zonneboiler is voorzien van een collector die het invallende zonlicht opvangt en dit omzet in warmte die door middel van een warmtetransporterende vloeistof wordt doorgegeven aan een opslagvat. Een warmtewisselaar voorkomt rechtstreeks contact tussen de vloeistof in de collector en het leidingwater in het voorraadvat (Organisatie voor Duurzame Energie, 2005b).

In de zomer en op zonnige winterdagen kan men in het opslagvat een watertemperatuur bereiken van 60 °C. In de winter, bij bewolkt weer, is de energiewinst echter gering en is bijverwarming met een klassieke

warmwaterinstallatie nodig (Dialog vzw, 2009). Doorgaans neemt de zonneboiler op jaarbasis 50 tot 60 % van de totale warmwaterproductie voor zijn rekening (Organisatie voor Duurzame Energie, 2007).

- *Fotovoltaïsche zonnepanelen*

Een fotovoltaïsch zonnepaneel vangt zonlicht op en zet 5 tot 15 % van deze energie rechtstreeks om in elektriciteit. Zonnecellen zijn meestal gemaakt van silicium. Dit silicium bestaat uit twee lagen waartussen de elektrische stroom plaatsvindt. Het omzettingsrendement van een zonnecel geeft aan hoeveel procent van loodrecht invallende directe zonnestraling in elektrische energie wordt omgezet en is afhankelijk van het specifieke type silicium waaruit de zonnecel is opgebouwd. Zo kan men drie types onderscheiden met elk hun specifieke rendementswaarde (zonnecellen van 100 cm²):

- Monokristallijn silicium: 12 - 15 %
- Polykristallijn silicium: 11 - 14 %
- Amorf silicium: 6 - 7 %

Omdat een individuele standaardzonnecel van 100 cm² slechts ongeveer 1,3W aan elektriciteit levert, worden zonnecellen onderling met elkaar verbonden en samen in een zogenaamde PV(photovoltaic)-module geplaatst. Deze PV-module levert niet alleen de bruikbare stroom, maar biedt de cellen tevens mechanische stevigheid en bescherming tegen vocht (Organisatie voor Duurzame Energie, 2005c).

- *Warmtepomp*

Een warmtepomp onttrekt met behulp van een compressor warmte uit een natuurlijke warmtebron – zoals de grond, het water of de lucht – en pompt vervolgens deze natuurlijke warmte op van een laag naar een hoger temperatuurniveau. Deze opgepompte warmte wordt in de woning verdeeld via radiatoren, convectoren, vloerverwarming of luchtkanalen. Hoe geringer het verschil in temperatuur tussen de warmtebron en het verwarmingssysteem, des te minder de oppompenenergie die men verbruikt en des te hoger de winstfactor ligt. Deze winstfactor of COP (Coefficient Of

Performance) geeft de verhouding tussen de geproduceerde warmte en de opgenomen energie weer (Organisatie voor Duurzame Energie, 2005d).

2.3.3 Passiefhuiscertificaat

Een passiefhuiscertificaat is een kwaliteitsverklaring voor passiefhuisprojecten. Deze kwaliteitsverklaring biedt in België momenteel de hoogste onafhankelijke garantie op een energiezuinige gebouwschil. Wanneer een gebouw op basis van hoogwaardige bouwelementen (bv. goede isolatie, luchtdichtheid en superisolerende ramen) de passiefhuisstandaard bereikt, kan een kwaliteitsverklaring worden uitgereikt. Het passiefhuiscertificaat biedt dus zekerheid dat het passiefhuis aan alle kwalitatieve eisen voldoet en bovendien verhoogt het certificaat de marktwaarde van de woning. Daarenboven komt men met dit certificaat in aanmerking voor subsidies, welke in de volgende subparagraaf besproken worden. Hiertegenover staat dat het certificaat een kostprijs heeft van 600 € (Passiefhuis-Platform vzw, 2009).

Het certificaat kan pas worden aangevraagd wanneer het gebouw volledig is afgewerkt. Dit gebeurt door het indienen van een dossier. Vervolgens gebeurt er een grondige controle. Men stelt vast dat bij de indiening van certificatie dossiers vaak dingen foutief berekend worden en dat deze veel te gunstig worden ingeschat. Momenteel gebeurt de controle op basis van facturen en foto's, maar men is van plan om in de toekomst eveneens werfcontroles uit te voeren.

Elk bouwproject dat aanspraak wil maken op een passiefhuiscertificaat wordt getoetst aan drie certificatiecriteria, waaraan cumulatief moet voldaan worden:

- Netto-energiebehoefte voor verwarming $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{jaar}$
- Luchtdichtheid $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$
- Temperatuuroverschrijdingsfrequentie boven $25^\circ\text{C} \leq 5\%$

2.3.4 Subsidies en fiscale voordelen

In de praktijk blijkt de kostprijs van een passiefhuis te variëren tussen 1.300 en 1.600 €/m². Dit is een aanzienlijk bedrag, maar in België kan men met een passiefhuis aanspraak maken op verschillende subsidies en fiscale voordelen zodat de kosten toch enigszins draaglijk worden. Er worden subsidies zowel op federaal, gewestelijk als gemeentelijk niveau verleend. Het bedrag van de subsidies is afhankelijk van het gebruik van hoog rendementsglas voor de ramen en het isolatieniveau van het dak (Audenaert et al., 2008). Van de federale overheid krijgt men gedurende 10 jaar een netto belastingvoordeel van 830 € per jaar. Op gewestelijk niveau krijgt men 10 jaar lang 40% reductie op het kadastrale inkomen in Vlaanderen. In Brussel bedragen de subsidies 100 € per m² voor de eerste 150 m². Indien het een gebouw groter dan 150 m² betreft, bedragen de subsidies 50 € per m² voor het gedeelte groter dan 150 m². In Wallonië bestaat er een vaste premie ter waarde van 6.500 €. Daarnaast zijn er al verscheidene gemeentes in Vlaanderen die een premie uitkeren. De gemeentelijke premie schommelt tussen 1.000 en 9.000 €. Tot slot is er vanaf 2009 een globale E-peil premie voorzien voor nieuwbouwwoningen met E80 en lager (Passiefhuis-Platform vzw, 2009)^c.

2.3.5 Passiefhuizen in de praktijk

In heel Europa wordt de passiefhuisstandaard snel geïmplementeerd. Vooral in Duitsland, Oostenrijk, Zwitserland en Zweden worden de passiefhuisprincipes vaak gehanteerd. Passiefhuis-Platform vzw schat dat het aantal passiefhuisprojecten in Wallonië die momenteel al zijn uitgevoerd of in de steigers staan op 450. Het gaat voornamelijk om woningen, maar er zijn eveneens een 30-tal lopende projecten in de dienstensector. In Vlaanderen schommelt het aantal passiefhuizen in uitvoering of planning rond de 600, waarvan ongeveer 40 tertiaire gebouwen. In totaal resulteert dit op 1.000 geplande passieve gebouwen in België (Passiefhuis-Platform vzw, 2009).

^c Overzicht subsidies en fiscale voordelen: zie bijlage 2.

Nieuwbouw is voor passiefhuizen de meest voor de hand liggende optie, maar het concept kan eveneens toegepast worden bij renovatie van bestaande gebouwen. Renovatie biedt veruit het grootste potentieel voor de integratie van technologieën voor hernieuwbare energie en energie-efficiëntie maatregelen in gebouwen. Er wordt vandaag de dag een verhoogde activiteit vastgesteld in de renovatie en het hergebruik van bestaande gebouwen, aangezien het merendeel van het Belgische woningbestand verouderde gebouwen zijn. De toepassing van nieuwe technologieën en apparatuur in bestaande gebouwen heeft niet alleen een verbetering van het thermisch comfort tot gevolg. Renovatie vertegenwoordigt eveneens een aanzienlijk energiebesparingpotentieel (Dascalaki & Santamouris, 2002).

Ondertussen beperken de realisaties zich niet enkel tot woningen of flatgebouwen. De passiefhuisstandaard wordt nu ook gebruikt voor het definiëren van prestatie-eisen voor dienstengebouwen. Vele projecten zoals scholen, educatiecentra, kinderdagverblijven en kantoorgebouwen worden nu gebouwd volgens de passiefhuisprincipes (Passivhaus Institut, 2008). Dascalaki & Santamouris (2002) onderzoeken de efficiëntie van allerhande passiefhuisprincipes bij de renovatie van bestaande kantoorgebouwen, terwijl Heudorf (2007) zich richt tot de analyse van passiefhuisscholen. In Duitsland zijn reeds sommige scholen gebouwd volgens de passiefhuisprincipes omwille van de klimaatverandering en met het oog op een gerealiseerde energiebesparing.

Door de vele netwerkiniciatieven en financiële prikkels is de vraag naar passiefhuizen exponentieel gegroeid in België, net als in andere Europese landen. Tegenwoordig baseren de opdrachtgevers hun beslissingen in verband met duurzaam bouwen op de beschikbare subsidies en belastingverlagingen en kan elke architect geraadpleegd worden voor het bouwen van een passiefhuis. Hiertegenover staan de vele aannemers die nog steeds de nodige ervaring en praktische informatie ontbreken in verband met duurzaam bouwen. Het Presti 5 onderzoeksproject erkent dit gebrek aan praktische informatie. Hun doel is het verspreiden van goede constructieoplossingen die de kwaliteit van de bouw van passiefhuizen in de toekomst verder kunnen verzekeren. Dit wordt gedaan door het definiëren en het verspreiden van praktische designuitkomsten voor de Belgische bouwsituatie, waarbij zowel ontwerp- als constructie-informatie wordt verstrekt (Hilderson & Mlecnik, 2008).

2.4 Vergelijking passiefhuis met traditionele woning en lage-energiewoning

De derde deelvraag luidt: "Wat zijn de voornaamste verschillen tussen de conventionele woning, de lage-energiewoning en het passiefhuis?". Ter beantwoording van deze deelvraag is het essentieel om de verschillende constructiestandaarden van energiezuinig bouwen met elkaar te vergelijken en na te gaan wat de bestaande wetenschappelijke literatuur schrijft over passiefhuizen en energiezuinige woningen. Hierbij zal een vergelijking plaatsvinden op verschillende niveaus waarbij vergeleken wordt naar de wettelijk vereiste minimale energienormen, de initiële kost en energiebesparing, de terugverdientijd en andere componenten zoals de leefbaarheid.

2.4.1 Wettelijk vereiste minimale energienormen

De energieprestatieregelgeving, ingevoerd in januari 2006, heeft voor elk van de verschillende constructiestandaarden een aantal specifieke normen opgelegd. Zo bepaalt de EPB-wetgeving dat de wettelijke norm voor het isolatiepeil voor conventionele nieuwbouwwoningen in Vlaanderen op K45 ligt, terwijl het E-peil maximum E80 bedraagt. Een lage-energiewoning wordt gekenmerkt door een isolatiepeil van ongeveer K30 en een E-peil van ongeveer E60. In vergelijking met de Vlaamse standaardwoning is dit al een hele vooruitgang. Hiertegenover staat het passiefhuis dat door middel van een doorgedreven isolatie een K-waarde bereikt tussen K10 en K20. In combinatie met een goede luchtdichting van de woning leidt dit tot een E-peil van E30.

2.4.2 Comfortevaluatie

In het CEPHEUS-project (2006) – welke staat voor 'Cost Efficient Passive Houses as European Standards' – werd aan de hand van 221 passiefhuizen in vijf Europese landen onderzoek verricht naar de tevredenheid van bewoners van passiefhuizen. Hierbij duiden de meetresultaten op een grote tevredenheid. Dit komt grotendeels omdat het

passiefhuis zowel tijdens de winter als de zomer een comfortabele binnentemperatuur heeft. Bovendien geven de zeer eenvoudige bediening van de ventilatie, de afwezigheid van tocht en de hoge thermische luchtkwaliteit een comfortabel gevoel in de woning. Daarnaast zijn de kosten voor verwarming extreem laag en worden deze – in tegenstelling tot conventionele gebouwen – nauwelijks beïnvloed door een verdere verhoging van de energieprijzen. Badescu & Sicre (2003) bevestigen eveneens het aangename gevoel in een passiefhuis.

Ook het OFFICE project bevat gelijkaardige resultaten. Het OFFICE project omvat een analyse van enkele renovatieprojecten bij bestaande gebouwen. Hierbij worden enkele passieve technieken (zoals een doorgedreven isolatie, luchtdichtheid, passieve warmtewinsten, efficiënte verwarmings- en koelsystemen) gehanteerd ter verbetering van het energieverbruik en het binnenklimaat van het betreffende gebouw. Er wordt geconcludeerd dat oververhitting een vaak voorkomend probleem is bij bestaande lage-energiegebouwen. Het gebruik van passieve technieken biedt hiervoor een oplossing en leidt tot een significante verbetering van het thermisch comfort van het gebouw. Hierdoor verdwijnt het risico op zomerse oververhitting bijna volledig (Hestnes & Kofoed, 2002).

Heudorf (2007) richt zich tot de analyse van passiefhuisscholen en stelt zich hierbij de vraag of deze gekenmerkt worden met een acceptabele binnenluchtkwaliteit. Deze wordt gemeten aan de hand van de IDA-classificatie, waarbij de CO₂-concentratie wordt uitgedrukt in ppm (parts per million). De resultaten van de studie wijzen op een aanvaardbare tot lage binnenluchtkwaliteit (IDA klasse 3 & 4). De binnenluchtkwaliteit dient dus niet alleen verbeterd te worden in conventionele scholen, maar eveneens in passiefhuisscholen. Door gebruik te maken van een lucht-lucht warmtewisselaar kan men het energieverbruik verminderen en tevens de binnenluchtkwaliteit verbeteren. Ter aanvulling van het mechanisch ventilatiesysteem, kan men er best ook voor opteren om natuurlijk te ventileren. Heudorf concludeert dat het concept 'binnenluchtkwaliteit' onvoldoende in beschouwing wordt genomen. Naast de algemene focus op de energiebesparing dient men eveneens rekening te houden met de luchtkwaliteit in passiefhuizen.

2.4.3 Energetische evaluatie

Een vergelijking van het passiefhuis met een traditionele nieuwbouwwoning levert een energiebesparing van het passiefhuis op van gemiddeld 75% ten opzichte van de Vlaamse nieuwbouw (Passiefhuis-Platform vzw, 2009). Hermelink en Schnieders (2006) wijzen zelfs op een besparing in verwarmingsenergie van 80% in vergelijking met een conventionele nieuwbouwwoning. Ten opzichte van het bestaande Vlaamse woningbestand ligt het energieverbruik van het passiefhuis gemiddeld 85% lager en ten opzichte van een lage-energiewoning is er sprake van ongeveer 50% energiebesparing (Passiefhuis-Platform vzw, 2009). Dit heeft als gevolg dat de bijbehorende energiefactuur van het passiefhuis eveneens een stuk lager ligt dan bij een conventionele woning omdat men onafhankelijker is van de fluctuaties in de prijzen op de energiemarkt. Door de toepassing van de passiefhuisprincipes kan het energieverbruik voor verwarming gereduceerd worden tot minder dan 15 kWh/m²jaar en is het totale energieverbruik voor verwarming, sanitair warm water en elektrische apparatuur beperkt tot 42 kWh/m²jaar (Feist & Adamson, 2001).

In het OFFICE project concluderen Hestnes & Kofoed (2002) dat een renovatie gebruik makend van energie-efficiënte en hernieuwbare energiebronnen rechtstreeks leidt tot een vermindering van het energieverbruik in bestaande gebouwen. De vermindering van het totale energieverbruik uit zich zowel in een thermisch als een elektrisch energiegebruik. Er wordt tevens vastgesteld dat een reductie van de warmteverliezen in het betreffende gebouw een groter effect heeft op het totale energieverbruik dan een maximalisatie van passieve zonnewinsten. Indien er tijdens de renovatie in het bestaande kantoorgebouw efficiënt gebruik gemaakt wordt van allerlei passiefhuisprincipes, dan kan dit resulteren in een jaarlijks energieverbruik kleiner dan 100 kWh/m². Er kan dus gesteld worden dat het energieverbruik van een grondig gerenoveerd gebouw vergelijkbaar is aan dit van een nieuw gebouw, gebouwd volgens de huidige praktijk.

Hestnes en Sartori (2007) benadrukken sterk de efficiëntie van lage-energiewoningen en passiefhuizen. Zij maken gebruik van 60 case studies verspreid over 9 landen. Hieruit besluiten zij dat het ontwerp van lage-energiewoningen en passiefhuizen - gekenmerkt door het gebruik van energie-intensieve materialen en dit zowel in het gebouw als in de

technische installaties - rechtstreeks leidt tot een vermindering van het totale energieverbruik in vergelijking tot de conventionele woning. Dit gebeurt door gebruik te maken van zowel passieve als actieve technologieën.

Gelijklopend met de studie van Hestnes en Sartori concludeert Feist (1996) dat passiefhuizen en lage-energiewoningen meer energie-efficiënt zijn dan conventionele woningen. In de studie wordt aangetoond dat een significante vermindering in de energievraag kan worden bereikt door het bevorderen van lage-energiewoningen en passiefhuizen. Er blijkt eveneens dat deze vormen van duurzaam bouwen initieel een hoger primair energieverbruik hebben dan conventionele woningen, maar dat deze grotendeels wordt terugbetaald tijdens de levensduur. Primaire energie wordt gedefinieerd als de energie-input die nodig is voor de installatie en het onderhouden van alle materialen en bijkomende technische apparatuur. Het is de energie die nodig is geweest nog voordat er één kWh aan totale energie is geproduceerd. Er wordt geconcludeerd dat een stijgende trend in primaire energie gepaard gaat met een dalende trend van het totale energieverbruik.

Moschandreas en Nuanual (2008) daarentegen stellen zich de vraag of duurzame, energiezuinige gebouwen werkelijk beter presteren dan gelijkaardige conventionele gebouwen. Hiervoor bestuderen zij 10 energiezuinige woningen (passief + lage-energie) en 10 conventionele gebouwen en gaan zij de efficiëntie van de woningen na. Zij besluiten dat de etikettering van gebouwen als duurzaam en energiezuinig, gebruik makend van ontwerp en constructieplannen, geen energiezuinige bouwprestaties waarborgen. Zij adviseren dan ook het uitvoeren van een periodieke prestatie-evaluatie van de betreffende gebouwen.

2.4.4 Economische evaluatie

Een passiefhuis is duurder dan een conventioneel huis. Het prijskaartje van het passiefhuis hangt grotendeels af van de compactheidsgraad en de oriëntatie van de woning. Aan een passiefhuis zijn op het gebied van investeringen extra kosten verbonden. Die extra kosten hebben vooral betrekking op de doorgedreven isolatie, de

ventilatie, de driedubbele beglazing met speciaal schrijnwerk en de investering in een luchtdichte woning. Hiertegenover staan de vermeden kosten van de investering in een verwarmingssysteem, welke bij het passiefhuis volledig overbodig is, en de lagere energiefactuur ten opzichte van die van een conventionele woning.

Hermelink en Schnieders (2006) tonen aan dat passiefhuizen een uitgebreid wooncomfort bieden met slechts 15-20% van de warmtevraag van conventionele nieuwbouwwoningen, terwijl de extra investeringskosten voor deze constructiestandaard slechts ongeveer 10% van de totale bouwkosten uitmaken. Deze extra investeringskosten worden verwacht nog aanzienlijk af te nemen in de toekomst. De auteurs wijzen erop dat passiefhuizen een haalbare optie bieden om aan de resterende energievraag te voldoen met behulp van alleen hernieuwbare energiebronnen en dit binnen de grenzen van de beschikbaarheid van hernieuwbare energie en de betaalbaarheid.

Ook Hestnes & Kofoed (2002) concluderen dat de toepassing van passiefhuisprincipes het energieverbruik in vele gevallen doet reduceren tegen aanvaardbare kosten. De resultaten van het OFFICE project hebben alleen betrekking op de renovatie van bestaande gebouwen omwille van een beoogde energiereductie. Er dient echter opgemerkt te worden dat bij de renovatie van een bestaand gebouw omwille van een andere reden dan een energiereductie, de extra kosten van het gebruik van passieve technieken kleiner zijn. In dergelijke gevallen zal de investering meer economisch haalbaar zijn dan wanneer het gebouw gerenoveerd werd uitsluitend voor het beoogde doel van een energiereductie.

Audenaert et al. (2008) daarentegen stellen de economische levensvatbaarheid van passiefhuizen echter in vraag. Daarom voeren zij een economische analyse uit om het potentieel van conventionele woningen, energiezuinige woningen en passiefhuizen met elkaar te vergelijken. Zij komen tot de conclusie dat de kosten van een lage-energiewoning 4 - 7% hoger liggen ten opzichte van de standaardwoning, terwijl die van het passiefhuis 16% hoger liggen. Isolatie en ventilatie zijn de belangrijkste oorzaak van deze meerkost.

Binnen het kader van passief wonen liet Villabouw Bostoen NV in 2009 een onafhankelijke studie uitvoeren die aantoonde dat het isoleren van een passiefhuis voordeliger is dan bij een lage-energiewoning. Dankzij overheidssubsidies en de energiebesparingen die een passiefhuis met zich meebrengt, kost een passiefhuis op maandbasis minder dan een lage-energiewoning. Dit tonen zij aan met behulp van de volgende stappen die opgenomen zijn in tabel 3.

Tabel 3: Stappenplan Bostoen naar passiefhuis met bijbehorende kosten en besparing

Investering	E-peil	Meerkost excl. subsidies	Meerkost incl. subsidies	Jaarlijkse energiebesparing
1. Isolatie (K30)	E70	10.000 €	9.300 €	240 €
2. Luchtdichtheid	E60	15.000 €	13.000 €	480 €
3. Ventilatiesysteem met warmte-recuperatie	E50	20.000 €	17.600 €	720 €
4. Maatregelen tot passiefhuis	E20 – E40	33.500 €	20.700 €	960 €

De eerste stap in de bouw van een lage-energiewoning is het isoleren tot een K-waarde van K30. Hiervoor isoleert men de woning 5 à 10 cm dikker dan bij een conventionele woning en opteert men voor een betere beglazing. Dit brengt een verbetering van het E-peil naar E70 met zich mee en een kostenplaatje van 10.000 €. Dankzij premies die ter beschikking worden gesteld door de overheid wordt de eigen inbreng verlaagd tot 9.300 €. Hiermee kan tot 240 € bespaard worden aan verwarming per jaar.

De tweede stap is een investering van 5.000 € voor betere luchtdichtheid. Hierbij worden kieren en luchtlekken zorgvuldig afgedicht. Dit resulteert in een E-peil van E60. Deze investering kost – met de subsidies reeds afgetrokken – 13.000 € meer ten opzichte van een standaardwoning (15.000 € zonder aftrek van de subsidies). Op jaarbasis levert dit aan verwarming een besparing op van 480 €.

In een derde fase kan men nogmaals 5.000 € investeren voor een ventilatiesysteem met warmterecuperatie. Hierdoor daalt het E-peil tot E50. Via de verrekening van de subsidies komt dit neer op 17.600 € meer ten opzichte van de conventionele woning (20.000 €

zonder aftrek van de subsidies). In deze fase kan in totaal tot 720 € per jaar aan verwarming uitgespaard worden.

Tot slot kan men de woning nog beter isoleren (isolatiediktes van 30 cm), luchtdicht maken en het ventilatierendement verhogen zodat dit een passiefhuis wordt. Het E-peil bereikt hiermee een waarde van E20 tot E40, afhankelijk van de bijverwarming. Dit komt neer op een investeringskost van 33.500 €, waarvan er slechts 20.700 € voor eigen rekening is, dankzij premies en subsidies. Een passiefhuis kan per jaar tot 960 € minder kosten aan energie (Bostoën, 2009b).

In vergelijking met een lage-energiewoning liggen de subsidies voor een passiefhuis duidelijk een stuk hoger. Bovendien is het rendement van een passiefhuis veel groter. Een passiefhuis kan immers een besparing van 90 procent op de energiekost realiseren. Dit kan neerkomen op een bezuiniging tot 100 € per maand ten opzichte van een conventionele woning waarbij de energiekost van een passiefhuis 120 € tot 360 € per jaar zal bedragen in functie van de gekozen bijverwarming en de grootte van de woning (Bostoën, 2009b).

In 2004 heeft het Nederlandse Centrum voor Duurzaam Bouwen een onderzoek verricht omtrent de toen wijdverspreide overtuiging dat passiefhuizen veel duurder zijn dan conventionele woningen. De resultaten van dit onderzoek weerleggen deze aanname en tonen aan dat duurzaam bouwen weldegelijk financieel rendabel kan zijn. Maar het onderzoek toont eveneens aan dat deze positieve financiële aspecten in de praktijk nauwelijks worden gebruikt om duurzaam bouwen te promoten. Hoewel geconcludeerd wordt dat passiefhuizen financieel winstgevend kunnen zijn, beschikt men toch niet over algemene kostenmetingen van duurzame huisvesting die deze conclusie ondersteunen. De redenen voor het gebrek aan gegevens zijn divers. Zo vormen de brede waaier van opties met betrekking tot milieuonderwerpen en huisvesting, alsook de locatie en de omvang van een bepaald bouwproject, voorwaarden die het moeilijk maken om een algemeen beeld in verband met de kosten te krijgen. Daarnaast zijn er nog andere factoren die het verkrijgen van specifieke en correcte metingen tegengaan, welke hier kort worden opgesomd:

- De tijdsperiode: Een focus op de gehele levenscyclus van de woning maakt duurzaam bouwen rendabeler dan een louter focus op de investeringsfase.
- Het niveau van ambitie: Hoe ambitieuzer de mate van duurzaamheid, hoe hoger de kosten.
- De (verborgen) milieukosten: Opname van de kosten die nodig zijn om de negatieve impact van het gebouw op het milieu te voorkomen (de verborgen milieukosten) in plaats van de louter opname van kosten in verband met investeringen in milieubescherpende maatregelen die verder gaan dan de wettelijk opgelegde eisen (milieukosten). Wanneer de kosten van preventie niet in de analyse zijn opgenomen, zal het project als 'te duur' worden beschouwd.
- De fase waarin duurzaam bouwen worden gepland in de agenda: Het denken over de mogelijkheden in een vroeg stadium van een project verlaagt de kosten van duurzaam bouwen, dan wanneer er pas in een latere fase aan gewerkt wordt.
- De voordelen van de invloed op de gezondheid: Door de inclusie van de positieve effecten die duurzaam bouwen heeft op de menselijke gezondheid kan een groter financieel voordeel bereikt worden (Boon et al., 2004).

De conclusie van deze studie - waarbij duurzaam bouwen financieel rendabel *kan* zijn - vormt de basis voor een nieuwe studie uitgevoerd door SenterNovem (Van Hal, 2006). Het doel van dit onderzoek was het genereren van praktische oplossingen voor het probleem dat het potentiële, positieve en financiële rendement van duurzaam bouwen moeilijk te realiseren is. Hierbij wordt de invoering van een labelsysteem dat duurzaamheid in huisvesting vertaalt in een beheersbaar en controlebaar systeem aanbevolen. Het systeem moet duidelijk de mate van duurzaamheid voor elke specifieke woning kunnen identificeren. Dit labelsysteem zou dan als een mijlsteen moeten fungeren voor stimulansen in verband met de winstgevendheid van duurzame huisvesting (Van Hal, 2007).

Audenaert et al. (2008) onderzochten eveneens de terugverdientijd van passiefhuizen. Bij constante energieprijzen leidt een berekening van de terugverdientijd tot de conclusie dat deze voor de lage-energiewoning in vergelijking met de standaardwoning 12,3 jaar is en dat deze 29,9 jaar is voor het passiefhuis. De extra kosten van het passiefhuis zijn niet in verhouding tot de besparingen op de energiekosten wanneer dit vergeleken wordt met de

lage-energiewoning. Pas na 47 jaar is het passiefhuis meer rendabel dan de lage-energiewoning.

Zij voerden eveneens een sensitiviteitsanalyse uit waarbij de invloed van de evolutie van energieprijzen op de terugverdiëntijd berekend werd. Hieruit concludeerden zij dat de terugverdiëntijd van lage-energiewoningen steeds korter is dan die van passiefhuizen en dat deze daalt bij een groei in de energieprijzen. Wanneer men het passiefhuis vergelijkt met de lage-energiewoning blijft de terugverdiëntijd meer dan 20 jaar en dit zolang het groeipercentage van de energieprijzen de 14% niet overschrijdt. Zelfs met een groeipercentage van 25% verdienen passiefhuizen zich slechts op 12 jaar terug in vergelijking tot lage-energiewoningen. Voor een jaarlijkse energieprijzstijging van 9% heeft een passiefhuis 20 jaar nodig om de meerkost te kunnen dekken, in vergelijking tot een standaardwoning. De lage-energiewoning daarentegen doet er 11 jaar over (tabel 4). In het algemeen kan men stellen dat de terugverdiëntijd van een lage-energiewoning 5 à 10 jaar bedraagt, terwijl deze voor het passiefhuis op 20 à 25 jaar uitkomt.

Tabel 4: Gevoeligheidsanalyse van de terugverdiëntijd naar de groei van de energiekosten

Bron: Audenaert, De Cleyn & Vankerckhove, 2008

Annual growth of the energy costs	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%
Low-energy to standard	17	15	14	13	12	12	11
Passive to standard	>100	55	40	33	28	25	23
Passive to low-energy	>100	>100	77	53	42	36	31
Annual growth of the energy costs	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%
Low-energy to standard	11	11	10	9	9	9	9
Passive to standard	22	20	18	18	16	16	15
Passive to low-energy	28	26	24	22	21	20	19
Annual growth of the energy costs	15%	16%	17%	18%	19%	20%	25%
Low-energy to standard	8	8	8	8	8	7	7
Passive to standard	14	14	13	13	12	12	10
Passive to low-energy	18	17	16	16	15	15	12

Ook bij de cash-flowanalyse blijkt de lage-energiewoning veel gunstiger te zijn dan het passiefhuis. Hoewel bij stijgende energieprijzen de impact van het passiefhuis groter wordt, geeft men in deze studie duidelijk de voorkeur aan de lage-energiewoning in plaats van het passiefhuis. Dit is de veiligste keuze omdat de winst bij de lage-energiewoning minder afhankelijk is van de energieprijzen.

2.4.5 Besluit

Zoals zojuist is aangehaald heeft het passiefhuisconcept talrijke voorstanders. Zij benadrukken de efficiëntie van passiefhuizen en zijn van mening dat de toepassing van deze duurzame constructiestandaard financieel rendabel kan zijn. Wanneer men de meerinvestering in de gebouwschil samentelt met de jaarlijkse energiebesparing en deze verspreid over een afbetalingstermijn van 20 à 30 jaar, ligt de prijs van een passiefhuis volgens sommige bronnen doorgaans ongeveer gelijk aan de prijs van een conventionele woning.

Hiertegenover bevat de wetenschappelijke literatuur eveneens tegenstanders die de efficiëntie van passiefhuizen betwisten. Zij concluderen dat de meerkosten van het passiefhuis niet in verhouding zijn tot de besparingen op de energiekosten, wanneer dit vergeleken wordt met lage-energiewoningen. Zij zijn van mening dat de lage-energiewoning tot een gunstiger resultaat zal leiden dan het passiefhuis.

Omdat de wetenschappelijke literatuur in verband met passiefhuizen dubbelzinnig is, waarbij er zowel voor- als tegenstanders zijn, lijkt het in dit opzicht van belang om deze materie grondiger te onderzoeken. Deze eindverhandeling tracht een antwoord te bieden op deze problematiek door onderzoek te verrichten aan de hand van case studies.

3 Materiaal en methoden

3.1 Selectie case-studies

Teneinde de beantwoording op de drie laatste deelvragen mogelijk te maken, wordt er overgegaan tot een toegepast en correlatieel onderzoek. Het gaat hier meer bepaald over een evaluatieonderzoek naar de rendabiliteit van energiezuinige woningen. Hierbij zullen enkele case studies in verband met passiefhuizen en lage-energiegebouwen bekeken worden. Deze worden echter beperkt tot energiezuinige gebouwen in Vlaanderen. Er worden case studies van zowel kantoorgebouwen als particuliere eengezinswoningen uitgevoerd. Het is vooral de bedoeling om de voor- en nadelen van de gevalsstudies tegenover elkaar af te wegen om zo tot een globale conclusie te komen in verband met energiezuinige woningen. In de praktijk vormt nieuwbouw voor passiefhuizen de meest voor de hand liggende optie, maar de passiefhuisprincipes kunnen ook op renovatieprojecten toegepast worden. Daarom zijn er eveneens gevalsstudies opgenomen waarbij de aanwending van energiezuinige technieken leiden tot een transformatie van een conventionele woning naar een passiefhuis. Er werd gekozen voor het opnemen van renovatieprojecten omdat men zo de resultaten na de renovatie zorgvuldig kan vergelijken met deze van voor de renovatiewerken.

Tabel 5 bevat een overzicht van de opgenomen case studies. Er worden twee renovatieprojecten van particuliere eengezinswoningen in beschouwing genomen. Het project te Heverlee is een goed voorbeeld van een lage-energiewoning, terwijl de woning te Tongeren een passiefhuis is. Daarnaast maakt men tevens een onderscheid tussen een lage-energiekantoor - zijnde het Oxfam Fairtrade gebouw in Gent - en een kantoorgebouw te Kortrijk volgens de passiefhuisprincipes.

Tabel 5: Overzicht case studies

	Lage-energie	Passief
Particuliere woning	Renovatieproject, Heverlee	Renovatieproject, Tongeren
Kantoorgebouw	Gebouw Oxfam Fairtrade, Gent	Gebouw SD Worx, Kortrijk

Concreet zal per gevalsstudie een beschrijving gegeven worden van het betreffende gebouw, alsook een overzicht van alle aanwezige passieve en actieve maatregelen. Daarnaast zal de werking van het gebouw in de praktijk weergegeven worden en zal een comfort , energetische en economische evaluatie uitgevoerd worden.

3.2 Comfortevaluatie

Ter beantwoording van de vierde deelvraag "Worden passiefhuizen gekenmerkt door een gunstiger binnenklimaat in vergelijking tot een conventionele of lage-energie woning?" wordt er per case study een comfortevaluatie uitgevoerd. Deze heeft tot doel om een idee te hebben van de leefbaarheid en de luchtkwaliteit in een energiezuinige woning. Daarom zal hierbij de binnentemperatuur gedurende het hele jaar in de woning onderzocht worden en zullen de betreffende resultaten onderling met elkaar vergeleken worden. Er wordt een comforteis verondersteld van 20 – 25 °C.

Ook de binnenluchtkwaliteit wordt geanalyseerd aangezien deze een directe invloed heeft op de gezondheid van de mensen die in het gebouw vertoeven. Hiervoor wordt de IDA-classificatie gehanteerd, welke een Europees classificatiesysteem is van de binnenluchtkwaliteit. Tot een CO₂-concentratie van 800 ppm kunnen we spreken van een hoge luchtkwaliteit (IDA klasse 1), tot 1.000 ppm van een matige (IDA klasse 2) en tot 1.400 ppm van een aanvaardbare (IDA klasse 3). Hoger dan 1.400 ppm is de lucht van lage kwaliteit (IDA klasse 4) (Centrum Duurzaam Bouwen, 2009). Aangezien informatie aangaande de binnenluchtkwaliteit in de meeste case studies niet ter beschikking is,

wordt hieraan maar beperkte aandacht besteed. Alleen bij het passief renovatieproject te Tongeren wordt deze kort besproken.

3.3 Energetische evaluatie

De vijfde deelvraag "Is het bouwen van passiefhuizen een adequate manier van energiebezuiniging in woningbouw vanuit ecologisch perspectief?" wordt onderzocht gebruik maken van een energetische evaluatie. Hierbij zal allereerst de jaarlijkse energiebesparing per case study besproken worden die gerealiseerd wordt aan de hand van de gehanteerde energiezuinige maatregelen. Daarnaast wordt ook de CO₂-reductie per case study beschouwd aangezien deze factor de rechtstreekse invloed van de aanwezige, energiezuinige technieken weergeeft op het milieu. Ook hier zijn niet voor elke case study de nodige gegevens beschikbaar. Alleen bij het Oxfam kantoor en het kantoorgebouw van SD Worx wordt de CO₂-reductie besproken.

3.4 Economische evaluatie

Naast het leefcomfort en de energiebesparing van een energiezuinige woning, wordt het financiële luik beschouwd waarbij men zich de vraag stelt hoe economisch rendabel het is om te investeren in energiezuinige woningen. Bij de economische evaluatie wordt nagegaan hoeveel het project kost en wordt een kosten-batenanalyse uitgevoerd. Bij het laatste worden de private kosten en baten tegen elkaar afgewogen. In dit geval weegt men dus de additionele investeringskosten voor de lage-energiewoning of de passiefhuisstandaard tegen de latere energiebesparingen af. Voor de projecten in verband met kantoorgebouwen gebeurt de analyse exclusief 21% BTW. Voor de particuliere projecten wordt rekening gehouden met het BTW-tarief. Omdat het hier om renovatieprojecten gaat, bedraagt het BTW-tarief in dit geval 6%.

Per gevalsstudie zal nagegaan worden wat de verdisconteerde terugverdientijd van de investering is, alsook de Netto Contante Waarde en de interne opbrengstvoet. Vervolgens zullen deze resultaten tussen de case studies onderling met elkaar vergeleken worden teneinde een antwoord te bieden op de laatste deelvraag "Is het bouwen van passiefhuizen een adequate manier van energiebezuiniging in woningbouw vanuit economisch perspectief?".

De **terugverdientijd** (payback period) van een conventionele investering is een populaire evaluatiemaatstaf en wordt gedefinieerd als de tijd die nodig is om de oorspronkelijke investering (uitgaande kasstromen) terug te verdienen via de inkomende kasstromen van het project. De terugverdientijd bij constante netto inkomende kasstromen vinden we via de volgende formule (Mercken, 2004):

$$\text{Terugverdientijd} = \frac{\text{Initiele investering}}{\text{Jaarlijkse besparing}} \quad \text{(formule 5.1)}$$

Het nadeel van de terugverdientijd is dat deze geen rekening houdt met de tijdswaarde van geld. Dit wil zeggen dat één euro die we momenteel bezitten meer waard is dan één euro die we later zullen ontvangen. De reden hiervoor is dat de huidige euro belegd kan worden en zo een interestinkomen kan opleveren, terwijl dit met die euro van later niet kan. Daarom moeten toekomstige opbrengsten of besparingen verdisconteerd worden vooraleer deze kunnen vergeleken worden met kasstromen van nu. Dit gebeurt aan de hand van de netto contante waarde.

Bij de **Netto Contante Waarde** (Net Present Value)-methode berekent men de huidige waarde van de kasstromen van het project door die kasstromen te verdisconteren tegen een gekende discontovoet r . Indien de NCW negatief is, wordt het project verworpen, in het andere geval wordt het project aanvaard (Mercken, 2004). Met behulp van formule 5.2 kan de NCW berekend worden.

$$\text{NCW} = a_{n-r} * K - I_0 \quad \text{(formule 5.2)}$$
$$a_{n-r} = \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r}$$

In bovenstaande formule staan K , I_0 en n voor respectievelijk de constante jaarlijkse kasstroom, de initiële investeringsuitgave en de gebruiksduur. De Coninck en Verbeeck (2005) beschouwen een gebruiksduur van 40 jaar omdat zij veronderstellen dat één generatie doorgaans gedurende 40 jaar eenzelfde huis bewoond. De woning wordt meestal de daaropvolgende generatie gerenoveerd of afgebroken. Deze analyse zal daarom een gebruiksduur van 40 jaar in beschouwing nemen bij de berekening van de netto contante waarde.

De discontovoet r wordt bepaald aan de hand van de langetermijnrente (Obligation Lineaire Obligatie, OLO) op tien jaar. Dit is een nominale rentevoet en houdt tevens rekening met de inflatie. Omdat het moeilijk is om één waarheidsgetrouwe discontovoet aan te duiden, zal hiervoor een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd worden op basis van de OLO's van de periode 1990 tot 2009, gepubliceerd op de website van de Nationale Bank van België. Er zullen vier nominale discontovoeten in beschouwing worden genomen, welke zijn samengevat in tabel 6. De hoogste rentevoet dateert van 1990, terwijl de laagste die van 2005 is. Daarenboven wordt eveneens een gemiddelde discontovoet beschouwd, die het gemiddelde is van alle discontovoeten in de periode 1990 tot 2009. De keuze voor een scenario zonder discontovoet houdt verband met de langetermijnvisie, waarbij duurzaam bouwen gerelateerd wordt aan de impact op het milieu en op de toekomstige generaties. Als de discontovoet daalt, dan betekent dit immers dat gebeurtenissen in de toekomst meer gewicht krijgen (Tirez, 2007).

Tabel 6: Beschouwde discontovoeten

Hoogste discontovoet (OLO van 1990)	10,01%
Gemiddelde discontovoet	5,57%
Laagste discontovoet (OLO van 2005)	3,43%
Scenario zonder discontovoet	0%

Om de jaarlijkse energiebesparing te berekenen, wordt het energieverbruik van het project vermenigvuldigd met het aardgas- of elektriciteitstarief voor 2009. Deze tarieven worden berekend per project afhankelijk van het verbruik en de netbeheerder. De

eenheidsprijs voor aardgas en elektriciteit (€/kWh) is de som van een aantal vaste componenten zoals energie, distributie, transmissie en heffingen. De energiecomponent vormt de prijs die de leverancier aan de klant aanrekent. Deze bestaat uit de kostprijs en de onkosten voor de leverancier, vermeerderd met een bepaalde winstmarge. Deze kan berekend worden aan de hand van de V-test op de website van VREG (Vlaamse Reguleringsinstantie voor de elektriciteits- en gasmarkt). De transmissiekost is de vergoeding voor het vervoer van de energie over het vervoernet en de distributiekost is de vergoeding die de distributienetbeheerder krijgt voor het vervoer van energie over zijn net naar de eindafnemer. Het distributie- en het transmissietarief vormen samen de nettarieven voor het vervoer van energie en worden bepaald door de Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas (CREG). Tot slot bestaat de component heffingen uit een energiebijdrage, een federale bijdrage en een toeslag voor beschermde klanten. Deze heffingen worden bepaald door IVEG.

Aangezien de kosten-batenanalyse wordt uitgevoerd gedurende een gebruiksduur van 40 jaar, dient men rekening te houden met de groei van de aardgas- en elektriciteitsprijzen zodat de kostenberekeningen zo goed mogelijk corresponderen met de werkelijkheid. Vanwege onzekerheden in verband met de lange termijnevolutie van de energieprijzen, zal een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd worden om de impact van de veronderstellingen op de resultaten te onderzoeken. Daarom zullen verschillende energiescenario's ontwikkeld worden met allerlei groeicijfers tussen 0% en 20%. Achten et al. (2009) veronderstellen de volgende vier scenario's voor de toekomstige energieprijzen: 0% - 1,87% - 5,87% - 10,0%. Het energiescenario van 0% is zeer conservatief omdat er geen stijging van de energieprijzen wordt verondersteld. De groeicijfers 1,87% en 5,87% zijn gebaseerd op een studie van Devogelaer & Gusbin (2006). Het scenario van 10% is gebaseerd op de prijsverhoging die zich heeft voorgedaan tussen 2000 en 2005. Uit de evolutie van de prijzen van de afgelopen jaren blijkt duidelijk dat dit scenario heel waarschijnlijk is voor de toekomst en bijgevolg een trend vormt. Audenaert et al. (2008) deden eveneens een sensitiviteitsanalyse met betrekking tot de groei in energieprijzen. Omdat zij in hun studie groeicijfers tot en met 25% opnemen, lijkt het voor deze studie ook relevant om nog een extreem groeicijfer van 20% in beschouwing te nemen. Er dient echter wel opgemerkt te worden dat de energieprijsstijgingen enkel verrekend worden op de energiecomponent van het aardgastarief. De andere prijsonderdelen zijn alleen maar

onderhevig aan inflatie. Tabel 7 geeft een overzicht van de beschouwde energieprijsscenario's.

Tabel 7: Beschouwde energieprijsscenario's

Conservatief	0%
Laag	1,87%
Gemiddeld	5,87%
Trend	10%
Extreem	20%

Daarnaast zal de **interne opbrengstvoet** (IOV, Internal Rate of Return) voor elk energiegroeicijfer berekend worden. Dit is de maximale discontovoet die gebruikt kan worden opdat de netto contante waarde nog positief is (Mercken, 2007). Door de netto contante waarde in formule 5.2 gelijk te stellen aan nul, kan de interne opbrengstvoet berekend worden.

Aangezien de terugverdientijd toch een belangrijke evaluatiemaatstaf is, maar geen rekening houdt met de tijdswaarde van geld, wordt tot slot een variant hiervan beschouwd. De **verdisconteerde terugverdientijd** (DPB, discounted payback) van een conventioneel project is de tijd die nodig is om de contante waarde van de kasstromen van negatief naar positief te brengen. De verdisconteerde terugverdientijd is een maatstaf voor de duurtijd om de investeringsuitgave, met inbegrip van het vereiste rendement, terug te verdienen. Conventionele projecten met een verdisconteerde terugverdientijd die kleiner is dan de levensduur van het project worden aanvaard, andere worden verworpen. Indien de methode gebruikt wordt om projecten te rangschikken, zullen projecten met een korte verdisconteerde terugverdientijd worden verkozen boven die met een langere verdisconteerde terugverdientijd (Mercken, 2007). Met behulp van formule 5.3 kan de verdisconteerde terugverdientijd berekend worden.

$$DPB = \frac{\ln\left(\frac{K}{K - r * I_0}\right)}{\ln(1 + r)}$$

(formule 5.3)

De economische evaluatie zal telkens in eerste instantie een sensitiviteitsanalyse uitvoeren van de investeringsmaatstaven, waarbij de financiële steunmaatregelen buiten beschouwing worden gelaten. Vervolgens wordt een tweede gevoeligheidsanalyse uitgevoerd inclusief de ontvangen premies. De premies worden bekomen via de website van het Vlaamse Energieagentschap die een premiemodule ter beschikking stelt waarmee kan worden nagegaan welke financiële steunmaatregelen verkregen kunnen worden. De bedoeling van deze twee sensitiviteitsanalyses is om de rendabiliteit van energiezuinige gebouwen te onderzoeken en hierbij na te gaan welk aandeel de ontvangen subsidies hierin hebben.

4 Case studies

4.1 *Passief renovatieproject, Tongeren*

4.1.1 Beschrijving

Nieuwbouw vormt voor passiefhuizen de meest voor de hand liggende optie, maar de passiefhuisprincipes kunnen eveneens bij renovatieprojecten toegepast worden. De passiefwoning in Tongeren vormt een uitstekend voorbeeld van hoe de aanwending van energiezuinige technieken tot een efficiënte transformatie leidt van een conventionele woning naar een passiefhuis. De toepassing van passiefhuisprincipes bij renovatie vertegenwoordigt in feite het grootste besparingspotentieel en het is bijgevolg uiterst belangrijk dat hierbij even wordt stil gestaan.

De woning is een rijwoning gelegen in het centrum van Tongeren die gebouwd is in 1850. De eigenaars besloten om in 2006 de woning te renoveren omwille van gezondheidsredenen. Hiervoor werd het architectenbureau Fhw Architectes gecontacteerd. Door de renovatie naar passiefhuisstandaard werd de woning aangepast naar de hedendaagse comfortnormen en werd de vloeroppervlakte van de woning verhoogd van 130 m² naar 180 m². De eigenaars benadrukken wel dat de beslissing om passief te renoveren vooral uit gezondheidsoverwegingen voor hun zoon is genomen en niet uit financiële overwegingen, het beperken van het energieverbruik of de impact op het milieu.

4.1.2 Technische aspecten van de woning

Er worden zowel actieve als passieve energiezuinige technieken toegepast die bijdragen tot een verlaagd energieverbruik van de woning.

4.1.2.1 Passieve maatregelen

De bestaande gefragmenteerde achterbouw werd afgebroken en vervangen door een nieuwe achterbouw, opgetrokken in houtskeletbouw, met een hogere compactheid. Onder compactheid verstaan we het feit dat een zo groot mogelijk inwendig bouwvolume met een zo klein mogelijk uitwendige buitenoppervlakte gedekt wordt. Deze buitenoppervlakte (wand, vloer, dak, glas) is de oppervlakte waarlangs de warmte kan verdwijnen en wordt de warmteverliesoppervlakte genoemd (Centrum Duurzaam Bouwen, 2009). De verhouding tussen het inwendig bouwvolume en het ommantelend oppervlak wordt de compactheidsgraad genoemd, welke zo hoog mogelijk dient te zijn. De bijbehorende compactheidsgraad voor de woning bedraagt 1,8 wat een goede waarde is. De woning werd tevens voorzien van een nieuwe dakconstructie, bestaande uit houten I-liggers en geïsoleerd met ingeblazen cellulose. De keuze voor de houtskeletstructuur, de cellulose-isolatie en de leembepoestering binnenin de woning gebeurde vanuit ecologische overwegingen.

De bestaande voorgevel van de woning uit 1850 is opgebouwd uit natuursteen en heeft een dikte van 50 cm. Aanvankelijk zou de voorgevel aan de buitenzijde geïsoleerd worden, maar dit werd stedenbouwkundig niet toegelaten. Daarom was men genoodzaakt de isolatie aan de binnenzijde van de constructie te voorzien. Er werd geopteerd voor een houtskeletstructuur, welke ingeblazen werd met cellulose-isolatie. Tabel 8 biedt een overzicht van de wandopbouw met de bijbehorende U-waarden. De nieuwe U-waarden liggen ruimschoots onder de bestaande U-waarden en voldoen aan de passiefhuisnormen.

Tabel 8: Wandopbouw en U-waarden passiefhuis Tongeren

Dakopbouw hoofdbouw	Zinken dakbedekking	-	Vroeger: U=5,5 W/m²K Nu: U=0,111 W/m²K
	Bebordering	2,2 cm	
	Gebetumiseerde zachte vezelplaat	2,2 cm	
	Houten spanten + cellulose isolatie	36 cm	
	Intelligent damp scherm	-	
	Latwerk	4,8 cm	
	Gipskartonplaat	1,25 cm	
Muuroopbouw voorgevel	Oorspronkelijke gevel in natuursteen	50 cm	Vroeger: U= 3,14 W/m²K Nu: U= 0,135 W/m²K
	Buitenpleisterwerk	1,5 cm	
	Houtskeletstructuur + cellulose isolatie	28 cm	
	Intelligent damp scherm	-	
	Houtvezelisolatieplaat	6 cm	
	Lemen binnenpleisterwerk	2 cm	
Kelderplafond	Bestaande vloer	2 cm	Vroeger: U=2,2 W/m²K Nu: U= 0,165 W/m²K
	Houtvezelplaat	4 cm	
	OSB platen	2,2 cm	
	Balken + cellulose isolatie	24 cm	
	Houtvezelcementplaat	1,8 cm	

De voorgevel mocht door stedenbouwkundig opgelegde eisen niet gewijzigd worden waardoor de bestaande raamopeningen behouden werden. Het buitenschrijnwerk werd wel vervangen door passiefhuisschrijnwerk met drievoudige beglazing. De ramen werden dieper in de gevel geplaatst om een goede aansluiting met de nieuwe binnenisolatie mogelijk te maken en zo koudebruggen te vermijden. Deze worden eveneens vermeden doordat de binnenisolatie aan de voorgevel ononderbroken van de vloerplaat van het gelijkvloers tot het dak werd geplaatst.

Doordat de achtergevel van grote glasoppervlakken voorzien is, die zuidelijk georiënteerd zijn, kan men profiteren van passieve zonnepanelen. Hierdoor wordt het verwarmingsverbruik van de woning beperkt. Om oververhitting te voorkomen is de woning voorzien van een natuurlijke zonwering. Voor de beschaduwing van de ramen op het gelijkvloers en de eerste verdieping werden er roestvrijstalen kabels gespannen waarop vegetatie kan groeien. Op de tweede verdieping zorgt de beschaduwing van de zonnecollectoren eveneens voor externe zonwering.

In de woning werd bijzonder veel aandacht besteed aan het luchtdicht maken van de gebouwschil door het aanbrengen en zorgvuldig afplakken van luchtdichtheidsfolies. Door

het doorzagen van de vloeraansluitingen aan de voorgevel, heeft men de problematiek omtrent de luchtdichtheid aan de voorgevel voor een groot deel kunnen oplossen doordat het dampscherm nu immers continu kan doorlopen (met uitzondering van de ramen). De luchtdichtheidsgraad van de woning werd gemeten aan de hand van een pressurisatieproef, welke een n50-waarde opleverde van $0,57 \text{ h}^{-1}$. Dit resultaat voldoet dus aan de norm van het maximaal toegelaten infiltratievoud zijnde $0,6 \text{ h}^{-1}$ voor passiefbouw.

4.1.2.2 Actieve maatregelen

De woning wordt gekenmerkt door een balansventilatiesysteem met warmteterugwinning. Er werd geopteerd voor het mechanische ventilatiesysteem D, maar er is ook mogelijkheid voor natuurlijke ventilatie door het kantelen van de ramen. De woning bevat tevens een grondbuis die deels onder de achterbouw van de woning geplaatst is wegens plaatsgebrek. De verse lucht wordt via de grondbuis voorverwarmd in de winter of voorgekoeld in de zomer. Na doorgang door de grondbuis wordt de lucht door de warmtewisselaar in het ventilatietoestel gestuurd, welke zorgt voor de hoofdverwarming van de woning. De lucht wordt met behulp van drie onafhankelijke circuits verspreid naar drie verschillende zones in de woning:

- zone 1: leefruimtes aan de zuidkant, een zone sterk beïnvloed door zonnewinsten.
- zone 2: ruimtes aan de noordkant op het gelijkvloers en de verdieping, een zone zeer afhankelijk van interne warmtewinsten.
- zone 3: ruimtes op de tweede verdieping, een zone beïnvloed door zonnewinsten en door opstijgende warmte vanuit de onderliggende verdiepingen.

Door de pulsiekanalen van elk circuit te voorzien van verwarmingsbatterijen, kan men eveneens decentraal naverwarmen.

Boven de ramen van de tweede verdieping zijn zonnecollectoren bevestigd met een oppervlakte van 8 m^2 . Deze worden ingezet voor zowel het aanleveren van het warm water voor de verwarmingsbatterijen, als voor de productie van sanitair warm water. Bovendien beschikt de woning over een pelletkachel in de leefruimte, die ingeschakeld

wordt wanneer de zonnecollectoren onvoldoende warm water voorzien. Deze pelletkachel geeft 15% directe warmte af, terwijl de overige warmte naar de wateropslagtank wordt overgebracht. De kachel gaat aan of uit afhankelijk van de behoefte aan warm water, rekening houdend met de bijkomende inregeling die de uren aangeeft waarin de kachel niet hoeft te werken. Voor elk van de hierboven genoemde onafhankelijke zones kan een aparte inregeling voorzien worden afhankelijk van het gebruik en de comfortbehoeftes. In de badkamer werd er ter aanvulling van de verwarming nog een bijkomend verwarmingselement geplaatst.

Bovendien past men het principe van regenwaterrecuperatie toe. Hierbij wordt het regenwater dat opgevangen werd door het dak van de hoofdbouw afgevoerd naar 5 regenwatertanken die geplaatst zijn in de kelder. Alvorens het water naar de watertanken loopt, moet dit worden gefilterd met behulp van een regenwaterfilter die aan de voorgevel in een plantenbak geïntegreerd is. De regenwatertanken voorzien de toiletten en de wasmachine van water.

Tot slot wordt in de woning geopteerd voor energiezuinige LED-verlichting en huishoudelijke toestellen. Om het elektriciteitsverbruik van de wasmachine te verminderen werd er aan de wasmachine een aquamixtoestel verbonden. Dit toestel mengt warm met koud leidingwater tot de gewenste temperatuur voor een specifiek wasprogramma bereikt wordt. Op deze manier gebruikt de wasmachine geen elektriciteit voor het zelf opwarmen van water.

4.1.3 Werking van de woning in de praktijk

Bij de bespreking van de werking van het gebouw in de praktijk wordt een onderscheid gemaakt tussen de winter- en de zomersituatie.

In de winter zorgen de grote, zuidelijk georiënteerde glasoppervlakken voor de creatie van passieve zonnwinsten waardoor de verwarmingsbehoefte gereduceerd wordt. Aangezien de achtergevel van de bestaande hoofdbouw opgebouwd is uit metselwerk en bijgevolg een hoge inertie bezit, draagt deze eveneens bij tot een vermindering van de

verwarmingsbehoefte. Wanneer in de winter de zonnestralen op de muur vallen, kan ze de warmte ervan accumuleren en afgeven aan de aangrenzende ruimte. Het ventilatiesysteem zal in de winter worden ingezet als hoofdverwarming. Op de pulsiekanalen zijn er verwarmingsbatterijen voorzien die de lucht verder kunnen opwarmen vooraleer ze de ruimte wordt ingeblazen. Tot slot voorziet de pelletkachel voor de nodige naverwarming in de leefruimte.

In de zomer is de externe zonwering een essentiële vereiste om oververhitting te voorkomen. Voor de beschaduwing van de ramen wordt gebruik gemaakt van natuurlijke vegetatie en de specifieke plaatsing van de zonnepanelen. Indien de woning toch te veel opwarmt, kan ze afgekoeld worden door gebruik te maken van ventilatie. Zoals daarnet is aangehaald zijn er hiervoor twee mogelijke opties: ofwel natuurlijke ventilatie via het kantelen van de ramen, ofwel nachtelijke mechanische ventilatie.

4.1.4 Comfortevaluatie

De gegevens voor de comfort- en energetische evaluatie volgen uit de meetresultaten van het LEHR project, welke de afkorting is voor 'Low Energy Housing Retrofit'. Concreet gaat het over een follow-up committee dat drie onderzoeksteams groepeert, namelijk: Passiefhuis-Platform vzw, Architecture et Climat – UCL en CSTC-WTCB-BBRI. Deze onderzoeksteams hebben gedurende anderhalve maand (eind oktober – midden december) metingen uitgevoerd in de woning.

Bij een veronderstelde comforteis van 20 – 25 °C blijkt dat de woning zowel tijdens de winter als de zomer hieraan grotendeels voldoet. De doorgedreven isolatie, de goede luchtdichtheid en de efficiënte ventilatiewerking zorgen ervoor dat de woning gedurende het hele jaar een comfortabel binnenklimaat heeft.

Wanneer de CO₂-concentratie van de woning in beschouwing wordt genomen, kunnen hierbij pieken van 700 tot 1.000 ppm vastgesteld worden, wat volgens de IDA-classificatie (de Europese classificatie van de binnenluchtkwaliteit) overeenkomt met

klasse 1 en 2. We kunnen hieruit concluderen dat de passiefwoning een matige tot hoge luchtkwaliteit bevat.

4.1.5 Energetische evaluatie

Bij de energetische evaluatie kan geconstateerd worden dat er gedurende het hele jaar aanzienlijke zonnewinsten gerealiseerd worden. Door de toepassing van de passiefhuisprincipes is de specifieke verwarmingsbehoefte na de renovatie sterk gereduceerd tot 10 kWh/m²j.

Wanneer het jaarlijks energieverbruik van de woning voor de renovatie (275 kWh/m²j) vergeleken wordt met deze na de renovatie (12 kWh/m²j), kan besloten worden dat de energiebehoefte na de renovatie met ongeveer 94% verminderd is (tabel 9). Wegens een gebrek aan gegevens omtrent de CO₂-reductie is het onmogelijk om deze in deze case study te bespreken.

Tabel 9: Vergelijking energieverbruik voor/na renovatie

GEBRUIK	kWh/m²j	kWh/j
Verwarmingsbehoefte na renovatie	10	1.800
Energieverbruik voor renovatie (verwarming + warm water)	275	35.750
Energieverbruik na renovatie (verwarming + warm water)	12	2.160

4.1.6 Economische evaluatie

De gegevens in verband met de economische evaluatie volgen uit persoonlijke contacten met de familie Henz.

Voor de economische evaluatie zal alleen rekening gehouden worden met de meerkost van de renovatiewerken die zorgen voor een verminderd verwarmingsgebruik. De initiële bouwkost in 1850 is voor de economische evaluatie niet relevant. Tabel 11 biedt een overzicht van de samenstelling van de totale investeringskosten die in totaal 67.800 € bedragen (inclusief BTW). Indien men dit verrekent tot een oppervlakte van 180 m², geeft dit een kostprijs van 376,67 €/m². Door de toepassing van de passiefhuisprincipes realiseert de woning na de renovatiewerken een jaarlijkse energiebesparing voor verwarming en sanitair warm water van 33.590 kWh/jaar ten opzichte van de situatie voor de renovatie. Er is echter geen sprake van een elektriciteitsbesparing aangezien de beschouwde investeringen alleen maar betrekking hebben op de verwarming van het sanitair warm water. Door de jaarlijkse energiebesparing te vermenigvuldigen met een aardgastarief van 0,069444 €/kWh (zie tabel 10) realiseert men een aardgasbesparing van 2.332,64 €/jaar. Omdat men opteert voor renovatie van een bestaande woning in plaats van nieuwbouw, kan men profiteren van een verlaagd BTW-tarief, welke uiteindelijk de keuze voor renovatie goedkoper maakt dan het bouwen van een passieve nieuwbouw. Voor renovatie bedraagt de BTW immers 6% ten opzichte van 21% voor nieuwbouw. Omdat het hier om een particuliere eengezinswoning gaat, zijn alle bedragen inclusief 6% BTW.

Tabel 10: Componenten van de aardgasprijs voor passiefwoning Tongeren in 2009

	Aardgas
Energie	0,038194 €/kWh
Nettarieven	0,017361 €/kWh
Heffingen	0,001837 €/kWh
Prijs excl. BTW	0,057392 €/kWh
Prijs incl. BTW	0,069444 €/kWh

Voor de berekening van de terugverdientijd die geen rekening houdt met de tijdswaarde van geld, wordt gebruik gemaakt van formule 5.1. Door de investeringsuitgave van 67.800 € te delen door de jaarlijkse investeringsbesparing van 2.332,64 € bekomt men een terugverdientijd van 29,1 jaar zonder subsidie.

Tabel 11: Investeringsuitgave en -besparingen voor passiefwoning Tongeren, exclusief premies

Investerings uitgave excl. Premies (€)			67.800
Ontwerpkosten		20.000	
Kosten van installatie		8.500	
Renovatiekosten mbt. energiebesparingen (isolatie, luchtdichtheid, ventilatie)		27.500	
Kosten mbt. duurzaam bouwen:		11.800	
• Grondbuis	2.800		
• Zonnecollectoren	8.000		
• Pelletkachel	1.000		
Investeringsbesparingen (€/jaar)			2.332,64
Aardgasbesparing		2.332,64	
Terugverdientijd excl. Premies (jaar)			29,1

Voor de berekening van de NCW, de verdisconteerde terugverdientijd en de interne opbrengstvoet wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar de verschillende discontovoeten en de energieprijstijgingen met een veronderstelde gebruiksduur van 40 jaar. Tabel 12 bevat de resultaten van de economische analyse voor het passiefhuis in Tongeren, waarbij geen rekening gehouden wordt met premies. Uiteindelijk leiden slechts 5 van de 20 scenario's tot een positieve NCW. De initiële investering rendeert slechts na een minimale termijn van ongeveer 25 jaar en enkel in het geval van een discontovoet gelijk aan nul.

Tabel 12: Sensitiviteitsanalyse van de investeringsmaatstaven exclusief premies

Discontovoet / Energieprijsstijging	Netto contante waarde (€)				Verdisconteerde terugverdientijd				IOV
	0%	3,43%	5,57%	10,01%	0%	3,43%	5,57%	10,01%	
0%	25.505,55	-17.440,91	-30.711,78	-45.009,93	29,1	/	/	/	1,69%
1,87%	26.666,73	-16.814,20	-30.250,22	-44.726,31	28,7	/	/	/	1,75%
5,87%	29.150,52	-15.473,64	-29.262,94	-44.119,63	28,0	/	/	/	1,89%
10%	31.715,04	-14.089,51	-28.243,56	-43.493,25	27,3	/	/	/	2,02%
20%	37.924,52	-10.738,12	-25.775,34	-41.976,57	25,7	/	/	/	2,40%

Tabel 13 biedt een overzicht van de premies die men ontvangen heeft van de Federale overheid, de Vlaamse overheid, de stad Tongeren en de netbeheerder. Hier bovenop ontvangt men van de Vlaamse overheid tevens een korting van 40% op de onroerende voorheffing voor een verlaagd E-peil en een renovatiepremie die afhankelijk is van de ouderdom en het kadastraal inkomen van de woning en het inkomen van de bewoners. Deze premies zijn echter niet opgenomen in de economische analyse omdat er te weinig informatie is om deze premies mee in beschouwing te nemen. Ook de premies van de netbeheerder met betrekking tot isolatie, hoge rendementsbeglazing en de grondbuis worden buiten beschouwing gelaten omdat deze premies per m² berekend worden en hiervan niet alle gegevens ter beschikking zijn. In totaal bedragen de ontvangen premies die beschouwd worden 19.560 €. Indien men deze in mindering brengen van de initiële investeringsuitgave van 67.800 €, resulteert dit in een investeringsbedrag van 48.240 €. De ontvangen premies doen de terugverdientijd dalen tot 20,7 jaar.

Tabel 13: Investeringsuitgave en -besparingen voor passiefwoning Tongeren, inclusief premies voor 2009

Investeringsuitgave excl. Premies (€)			67.800
- Premies:			- 19.560
Belastingsvermindering Federale overheid:		16.060	
• Zonnecollectoren	3.200		
• Isolatie (muur, dak)	2.780		
• Hoogrendementsbeglazing	660		
• Grondbuis	1.120		
• Passiefhuiscertificaat	8.300		
Premie Vlaamse overheid:		500	
• Dakisolatie	500		
Premie Tongeren:		250	
• Zonnecollectoren	250		
Premies netbeheerder:		2.750	
• Verbouwing volgens passiefhuisstandaard	2.000		
• Ventilatiesysteem met warmterecuperatie in bestaande woning	150		
• Zonnecollectoren	600		
= Investeringsuitgave incl. Premies (€)			48.240
Investeringsbesparingen (€/jaar)			2.332,64
Aardgasbesparing		2.332,64	
Terugverdientijd incl. Premies (jaar)			20,7

Tabel 14 bevat de resultaten van de economische analyse wanneer de premies in beschouwing genomen worden. Hieruit blijkt dat de bijkomende financiële maatregelen 5 extra rendabele scenario's opleveren. De verdisconteerde terugverdientijd bedraagt nu minimaal 18 jaar en is gemiddeld 8 jaar korter dan deze in tabel 12. In de tabel blijkt tevens dat de interne opbrengstvoet toeneemt naarmate de energieprijzen stijgen.

Tabel 14: Sensitiviteitsanalyse van de investeringsmaatstaven inclusief premies

Disconto- Voet Energie Prijs- stijging	Netto contante waarde (€)				Verdisconteerde terugverdientijd				IOV
	0%	3,43%	5,57%	10,01%	0%	3,43%	5,57%	10,01%	
0%	45.065,55	2.119,09	-11.151,78	-25.449,93	20,7	36,6	/	/	3,73%
1,87%	46.226,73	2.745,80	-10.690,22	-25.166,31	20,4	35,8	/	/	3,81%
5,87%	48.710,52	4.086,36	-9.702,94	-24.559,63	19,9	34,0	/	/	3,97%
10%	51.275,04	5.470,49	-8.683,56	-23.933,25	19,4	32,4	/	/	4,15%
20%	57.484,52	8.821,88	-6.215,34	-22.416,57	18,3	29,2	/	/	4,59%

4.2 Lage-energie renovatieproject, Heverlee

4.2.1 Beschrijving

De woning te Heverlee is een eengezinswoning waarbij de toepassing van allerhande duurzame technieken ervoor gezorgd heeft dat deze een transformatie onderging van een conventionele woning tot een lage-energie woning. De woning is een halfopen bebouwing met een bewoonbare oppervlakte van 397,96 m², die dateert van 1957. In 1993 besloot de familie Baert deze woning aan te kopen en grondig te renoveren. De renovatiewerken werden gespreid over een periode van 7 jaar en vanaf 2004 kon men voor het eerst genieten van de gerealiseerde energiebesparingen als gevolg van de renovatiewerken. De bedoeling was om een optimaal energieverbruik te realiseren zonder gebruik te maken van dure en ingewikkelde technieken.

4.2.2 Technische aspecten van de woning

De energiebehoefte van de woning wordt geminimaliseerd door de toepassing van zowel actieve als passieve maatregelen. Door de efficiënte hantering van allerlei energiebesparende technieken op het vlak van duurzaam bouwen, bereikt de woning een E-peil van E64.

4.2.2.1 Passieve maatregelen

Bij de renovatie werd er vooral geopteerd voor een grondige isolatie van de volledige gebouwschil. Voordat de renovatie plaatsvond, werd de gebouwschil van de woning gekenmerkt door een kwaliteitslabel D. De thermische kwaliteit van de woning was met andere woorden ondermaats. De warmtedoorgangscoefficiënt van de gebouwschil voor de renovatie bedroeg $1,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, terwijl deze als gevolg van de renovatie daalde tot $0,81 \text{ W/m}^2\text{K}$. De verbetering van de thermische kwaliteit leidde tot een kwaliteitslabel C. Door de woning grondig te isoleren, realiseert men een energiebesparing van 31,1%.

Om het verwarmingsgebruik in de woning te beperken, probeert men de passieve zonnewinsten zoveel mogelijk te maximaliseren. Daarom is de woning noord/zuid-georiënteerd, waarbij de leefruimtes zich langs de zuidkant bevinden.

Voordat de renovatiewerken van start gingen, bevatte de woning houten ramen met een dubbele beglazing. De U-waarde van het buitenschrijnwerk bedroeg $2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, terwijl deze van de beglazing $3,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ bedroeg. Door de vervanging van het buitenschrijnwerk door PVC-ramen daalt de U-waarde tot $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Er werd eveneens geopteerd van hoogrendementsbeglazing, waardoor de U-waarde daalt tot $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Het voordeel van de plaatsing van de nieuwe ramen is dat deze bijzonder doeltreffend zijn wat betreft thermische eigenschappen, luchtdichtheid en regendichtheid.

4.2.2.2 Actieve maatregelen

De woning is voorzien van een thermische zonneboiler die zorgt voor de verwarming van het sanitair warm water. De zonneboiler bevat een opslagvat voor warm water van 190 liter en een collector van 4 m² die zuidelijk georiënteerd is op het dak. Een evaluatie van de energieprestatie van de zonneboiler levert een kwaliteitslabel B op aangezien de jaarlijkse energiebehoefte per persoon 726 kWh bedraagt. De zonneboiler is bijgevolg een goed systeem die leidt tot een daling in het energieverbruik voor warm water van 33%. Om het waterverbruik verder te verminderen maakt men gebruik van een spaardouchekop en waterbesparende toestellen.

Er is eveneens een condenserende aardgasketel aanwezig die dient voor de verwarming van de woning en eventuele bijverwarming van de zonneboiler. Indien er onvoldoende energie door de zon geleverd wordt, wordt deze ingeschakeld voor de bijverwarming van het sanitair warm water. De globale energieprestatie van de aardgasketel voor de verwarming van de woning wordt bepaald door het rendement van de verschillende elementen waaruit deze bestaat. Concreet dient er rekening gehouden te worden met het productie-, distributie-, afgifte- en regelrendement. Op grond van deze rendementen kan men het globale rendement van de installatie bepalen dat 94,8% bedraagt. Hierdoor wordt de condenserende aardgasketel gekenmerkt door het kwaliteitslabel A+.

4.2.3 Werking van de woning in de praktijk

Om de temperatuur zowel tijdens de zomer als de winter op een aanvaardbaar niveau te houden, is de woning voorzien van een grondige isolatielaag van de buitenschil. Aangezien de leefruimtes in de woning zuidelijk georiënteerd zijn, kan men profiteren van passieve zonnewinsten.

4.2.4 Comfortevaluatie

De gegevens voor de comfort- en energetische evaluatie volgen uit de energieaudit, uitgevoerd in 2007 door 2B-SAFE en persoonlijke contacten met de familie Baert.

Het thermisch comfort in de woning wordt beoordeeld aan de hand van de binnentemperatuur van de woning. Uit de meetgegevens blijkt dat gedurende de winter de temperatuur in de woonkamer eerder laag is. 's Avonds en in het weekend bedraagt de temperatuur gemiddeld 21 °C, maar hierbuiten is deze doorgaans 17 °C. De woning loopt tevens het risico van zomerse oververhitting. Bij een hittegolfzomer kan de temperatuur in de woning immers oplopen tot pakweg 32 °C. De energieaudit toont aan dat er een temperatuuroverschrijdingsfrequentie van 9,7% wordt gerealiseerd bij een maximale boventemperatuurgrens van 25 °C. Deze overschrijdingsfrequentie is nog net aanvaardbaar, daar de norm stelt dat bij een waarde hoger dan 10% bijkomende maatregelen genomen moeten worden om het zomercomfort te waarborgen. In de energieaudit komt men eveneens tot de vaststelling dat de binnentemperatuur afhankelijk is van de buitentemperatuur. Er kan met andere woorden geen constant binnenklimaat op de gewenste temperatuur gewaarborgd worden.

Om de woning tegen zomerse oververhitting te beschermen, is het toch aangewezen om gebruik te maken van een verwijderbare buitenzonwering langs de zuidzijde van de woning. Deze voorkomt dat de hoogstaande zon in de zomer de woning kan binnendringen en bijgevolg heel de woning opwarmt. In de winter verwijdert men de buitenzonwering zodat de laagstaande zon tot diep in de woning kan binnentreden en zo de woning kan opwarmen. Op deze manier kan men optimaal profiteren van passieve zonnewinsten.

4.2.5 Energetische evaluatie

Voor de renovatiewerken had de woning een aanzienlijk energieverbruik van 27.750,29 kWh/jaar. De renovatie liet het energieverbruik echter dalen tot 17.760 kWh/jaar, waardoor een energiebesparing van 9.847,29 kWh/jaar of 35,48% gerealiseerd werd.

4.2.6 Economische evaluatie

De gegevens in verband met de economische evaluatie volgen uit persoonlijke contacten met de familie Baert.

Tabel 16 toont dat de initiële meerinvestering van de renovatiewerken 15.907 € (inclusief BTW) bedraagt. Dit bedrag bevat de kosten van de energie-audit, alle renovatiekosten met betrekking tot energiebesparingen (isolatie en plaatsing hoogrendementsbeglazing) en de kosten van de condenserende gasboiler en zonneboiler. Daarnaast wordt er een jaarlijkse energiebesparing van 9.847,29 kWh/jaar gerealiseerd ten opzichte van de situatie voor de renovatie. Er is echter geen sprake van een elektriciteitsbesparing aangezien de beschouwde investeringen alleen maar betrekking hebben op de verwarming van het sanitair warm water. Door de jaarlijkse energiebesparing te vermenigvuldigen met een aardgastarief van 0,053220 €/kWh (zie tabel 15) geeft dit een aardgasbesparing van 524,07 €/jaar. Omdat men opteert voor renovatie in plaats van nieuwbouw, kan men profiteren van een verlaagd BTW-tarief van 6%. Omdat het hier om een particuliere eengezinswoning gaat, zijn alle bedragen inclusief 6% BTW.

Tabel 15: Componenten van de aardgasprijs voor lage-energiewoning Heverlee in 2009

	Aardgas
Energie	0,029935 €/kWh
Nettarieven	0,012768 €/kWh
Heffingen	0,001280 €/kWh
Prijs excl. BTW	0,043983 €/kWh
Prijs incl. BTW	0,053220 €/kWh

Voor de berekening van de terugverdientijd die geen rekening houdt met de tijdswaarde van geld, maken we gebruik van formule 5.1. Door de investeringsuitgave van 15.907 € te delen door de jaarlijkse investeringsbesparing van 524,07 € bekomt men een terugverdientijd van 30,4 jaar zonder subsidie.

Tabel 16: Investeringsuitgave en -besparingen voor lage-energiewoning Heverlee, exclusief premies

Investeringsuitgave excl. Premies (€)			15.907
Kosten energieaudit		500	
Renovatiekosten mbt. energiebesparingen:		7.300	
• Isolatie (muur, vloer, dak)	4.500		
• Hoogrendementsbeglazing	2.800		
Kosten mbt. duurzaam bouwen:		8.107	
• Condenserende gasboiler	4.284		
• Zonneboiler	3.823		
Investeringsbesparingen (€/jaar)			524,07
Aardgasbesparing		524,07	
Terugverdientijd excl. Premies (jaar)			30,4

Tabel 17 bevat de resultaten van de economische analyse voor de lage-energiewoning in Heverlee, waarbij geen rekening gehouden wordt met premies. Uiteindelijk leiden slechts 5 van de 20 scenario's tot een positieve NCW. De initiële investering rendeert slechts na een minimale termijn van ongeveer 26 jaar en enkel in het geval van een discontovoet gelijk aan nul.

Tabel 17: Sensitiviteitsanalyse van de investeringsmaatstaven exclusief premies

Discontovoet Energieprijsstijging	Netto contante waarde (€)				Verdisconteerde terugverdientijd				IOV
	0%	3,43%	5,57%	10,01%	0%	3,43%	5,57%	10,01%	
0%	5.055,76	-4.592,93	-7.574,47	-10.786,80	30,4	/	/	/	1,45%
1,87%	5.322,55	-4.448,94	-7.468,42	-10.721,64	30,0	/	/	/	1,52%
5,87%	5.893,24	-4.140,92	-7.241,58	-10.582,25	29,2	/	/	/	1,67%
10%	6.482,48	-3.822,90	-7.007,36	-10.438,32	28,4	/	/	/	1,81%
20%	7.909,21	-3.052,86	-6.440,25	-10.089,84	26,7	/	/	/	2,15%

Tabel 18 biedt een overzicht van de premies die men ontvangen heeft van de netbeheerder, de Vlaamse en de Federale overheid. Hier bovenop ontvangt men van de Vlaamse overheid een renovatiepremie die afhankelijk is van de ouderdom en het kadastraal inkomen van de woning en het inkomen van de bewoners zodat deze niet

berekend kan worden. Voor hoogrendementsbeglazing, dak- en muurisolatie kan men tevens in aanmerking komen voor de premies van de provincie Vlaams-Brabant en de netbeheerder. Deze worden echter buiten beschouwing gelaten omdat deze premies per m² berekend worden en hiervan niet alle gegevens ter beschikking zijn. In totaal bedragen de ontvangen premies die beschouwd worden 7.237,80 €. Indien men deze in mindering brengen van de initiële investeringsuitgave van 15.907 €, resulteert dit in een investeringsbedrag van 8.669,20 €. De ontvangen premies doen de terugverdientijd dalen tot 16,5 jaar.

Tabel 18: Investeringsuitgave en -besparingen voor lage-energiewoning Heverlee, inclusief premies voor 2009

Investeringsuitgave excl. Premies (€)			15.907
- Premies:			- 7.237,80
Belastingsvermindering Federale overheid:		6.362,80	
• Isolatie (muur, vloer, dak)	2.100		
• Hoogrendementsbeglazing	1.120		
• Vervanging oude stookketel	1.413,6		
• Zonneboiler	1.529,20		
• Energieaudit	200		
Premie Vlaamse overheid:		750	
• Dakisolatie	500		
• Zonneboiler	250		
Premie netbeheerder:		125	
• Vervanging condenserende gasboiler	125		
= Investeringsuitgave incl. Premies (€)			8.669,20
Investeringsbesparingen (€/jaar)			524,07
Aardgasbesparing		524,07	
Terugverdientijd incl. Premies (jaar)			16,5

Tabel 19 bevat de resultaten van de economische analyse wanneer de premies in beschouwing genomen worden. Hieruit blijkt dat de bijkomende financiële maatregelen 8 extra rendabele scenario's opleveren. De verdisconteerde terugverdientijd bedraagt nu minimaal 14 jaar.

Tabel 19: Sensitiviteitsanalyse van de investeringsmaatstaven inclusief premies

Disconto- Voet Energie Prijs- stijging	Netto contante waarde (€)				Verdisconteerde terugverdiertijd				IOV
	0%	3,43%	5,57%	10,01%	0%	3,43%	5,57%	10,01%	
0%	12.293,56	2.644,87	-336,67	-3.549,00	16,5	24,8	/	/	5,29%
1,87%	12.560,35	2.788,86	-230,62	-3.483,84	16,3	24,4	/	/	5,39%
5,87%	13.131,04	3.096,88	3,78	-3.344,45	15,9	23,4	40,1	/	5,59%
10%	13.720,28	3.414,90	230,44	-3.200,52	15,5	22,5	36,6	/	5,79%
20%	15.147,01	4.184,94	797,55	-2.852,04	14,6	20,5	30,7	/	6,28%

4.3 Passief kantoor SD Worx, Kortrijk

4.3.1 Beschrijving

Het gebouw van SD Worx is een ecologisch, nieuw kantoorgebouw, gesitueerd in Kortrijk, waar gewerkt is met de meest vooruitstrevende energiebesparende technieken op het vlak van duurzaam bouwen. Het uitgangspunt van het project was om een uiterst energiezuinig en tegelijkertijd een comfortabel kantoorgebouw te bouwen voor haar medewerkers. De gebruikers kunnen op deze manier genieten van een uitstekend thermisch, visueel en akoestisch comfort. Het gebouw is gebaseerd op het concept van compact bouwen waarbij een zo groot mogelijk inwendig bouwvolume met een zo klein mogelijk uitwendige buitenoppervlakte gedekt wordt.

Het bouwproject werd ontworpen door het architectenbureau P. Van De Poel & Partners uit Antwerpen in samenwerking met het adviesbureau Cenergie uit Berchem en houdt rekening met de volgende principes:

- beperking van de koellast van het gebouw
- beperking van het energieverlies
- aanwending van actieve en passieve technieken
- aanwending van een automatische regeling voor het gebouw

4.3.2 Technische aspecten van het gebouw

De energiebehoefte (warmte, koude, elektriciteit) van het kantoorgebouw wordt gereduceerd door zowel actieve als passieve energiezuinige maatregelen, die hierna bondig besproken zullen worden.

4.3.2.1 Passieve maatregelen

Het kantoorgebouw heeft 3 bouwlagen (2 kantoorlagen en een parking/inkom) met een totale verwarmde vloeroppervlakte van 1.350 m². Het gebouw is noord/zuid georiënteerd, waarbij de kantoorruimtes zich langs de noordzijde bevinden. Aan de zuidzijde van het gebouw is er een bufferruimte in glas voorzien die dienst doet als circulatieruimte. Deze zone verbindt de kantoren met elkaar en fungeert als een collector voor zonnewarmte. Indien de binnentemperatuur in deze zone echter te hoog oploopt, dit wil zeggen boven de 24°C uitstijgt, bestaat er de mogelijkheid om de bufferruimte volledig af te sluiten met aluminium lamellen.

De energiebehoefte wordt bovendien gereduceerd door de compactheid van het gebouw en de doorgedreven isolatie. Hierdoor wordt een K-peil van K34 gerealiseerd, wat een zeer goede waarde is voor een kantoorgebouw in het bijzonder vanwege de grote ramen.

4.3.2.2 Actieve maatregelen

Het gebouw is voorzien van 2 grondbuizen die gelegen zijn in het grondwater en gebruikt worden als aanzuigleiding voor de ventilatielucht. In de grondbuizen zijn 2 toezichtputten aanwezig die 40 m uit elkaar gelegen zijn. De koude- en warmtebijdrage door de grondbuizen is echter onvoldoende, zodat naverwarming of nakoeling steeds noodzakelijk is.

Het overgrote deel van de energieproductie wordt voorzien door 2 condenserende aardgasketels van elk 46 kW. De verwarming van het gebouw wordt geleverd door

ventilatie en door radiatoren. De ventilatie wordt voorzien door een luchtgroep met een regeneratieve warmtewisselaar. De pulsie- en extractieventilatoren hebben een elektrisch vermogen van elk 2,1 kW. De warmtewisselaar is uitgerust met 2 accumulatoremassa's waardoor de buiten- en extractielucht afwisselend stroomt. De koelbatterij in de warmtewisselaar is aangepast om ook dienst te kunnen doen als verwarmingsbatterij. Elke zone van het kantoorgebouw is uitgerust met een luchtkwaliteitsensor die ervoor zorgt dat de ventilatielucht in het gebouw vraaggestuurd wordt op basis van de luchtkwaliteit (aanwezigheid aantal personen in de ruimte). Daarnaast maakt men nog gebruik van een koelmachine van 21 kW voor de koeling van de computerlokalen en (indien nodig) de pulsielucht.

In het gebouw wordt gestreefd naar de optimalisatie van verlichting en apparatuur. Voor de verlichting wordt gebruikt gemaakt van aanwezigheidsdetectoren en daglichtsturing. De PC's werden voorzien van energiezuinige schermen.

4.3.3 Werking van het gebouw in de praktijk

In deze paragraaf volgt een bespreking van de werking van het gebouw in een aantal situaties, namelijk het stookseizoen, een zomerdag en een zomernacht.

In het stookseizoen is het vanzelfsprekend dat men de warmteverliezen uit het gebouw zoveel mogelijk wil beperken. Dit wordt bereikt door de aanwezigheid van de doorgedreven isolatie en door het benutten van zoveel mogelijk natuurlijke zonnewarmte. Hieronder verstaan we enerzijds de captatie van zonnewarmte in de bufferruimte. Daarnaast wordt ongeveer 19% warmte van de totale warmtevraag uit de extractielucht gerecupereerd aan de hand van de warmtewisselaar. Vervolgens gaan men de buitenlucht, die via de grondbuizen wordt aangezogen en voorverwarmd, via roosters in de kantoren blazen. Deze lucht wordt dan via doorgangsroosters naar de bufferruimte afgevoerd.

In de zomer is het belangrijk om de koellast van het gebouw te beperken. In deze situatie hebben de grondbuizen een heel andere functie dan in het stookseizoen. De grondbuizen

zorgen hier voor de verkoeling van de ventilatielucht, welke in de kantoren wordt geblazen. De extractieventilator dient uitgeschakeld te zijn en de vervuilde lucht in de kantoren wordt via automatisch gestuurde vensters boven de bufferruimte afgevoerd. Om de binnentemperatuur in de bufferruimte op een leefbaar niveau te houden, zijn er lamellen aan de buitenzijde van het gebouw bevestigd. Deze kan men positioneren afhankelijk van de stand van de zon. Indien de temperatuur in de kantoren te hoog oploopt, nemen de toevoerventilatoren een hogere snelheid aan en wordt eventueel de koelmachine ingeschakeld voor verdere koeling van de ventilatielucht. Tijdens de zomernachten wordt het gebouw natuurlijk geventileerd met frisse buitenlucht. De ramen aan de noordzijde van het gebouw en in de nok van de bufferruimte kan men automatisch openen.

4.3.4 Comfortevaluatie

In opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE) heeft de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO) een meetcampagne uitgevoerd van het kantoorgebouw van SD Worx. De comfort- en energetische evaluatie gebeuren op basis van deze meetcampagne, uitgevoerd van januari tot december 2003 en enkele metingen uitgevoerd door Cenergie.

Voor de evaluatie van de binnentemperatuur van het gebouw wordt een prestatie-eis van 20 tot 25 °C vooropgesteld. Zowel tijdens de winter als de zomermaanden voldoet de temperatuur grotendeels aan deze eis en wordt het comfort van de werknemers gewaarborgd. De metingen van Cenergie wijzen op een aanvaardbaar comfort, zelfs tijdens de hete zomer van 2003. Volgens Cenergie werkt de passieve koeltechniek door middel van grondbuizen in combinatie met de nachtventilatie uitstekend. Omdat er geen gegevens beschikbaar zijn in verband met de luchtkwaliteit van het kantoorgebouw, kunnen hieruit echter geen conclusies getrokken worden. Men kan wel constateren dat de aanwending van alle passieve en actieve maatregelen ervoor zorgen dat het gebouw gekenmerkt wordt door een goed thermisch binnencomfort.

4.3.5 Energetische evaluatie

Om de primaire energiebesparing en CO₂-reductie te kunnen bepalen, werd er een referentiesituatie vastgelegd. In deze referentiesituatie neemt men een gelijkaardig conventioneel kantoorgebouw in beschouwing zonder de aanwezigheid van horizontale grondbuizen en een regeneratieve warmtewisselaar. In de referentiesituatie wordt gebruik gemaakt van een klassieke luchtgroep met verwarmings- en koelbatterij. Het luchtdebiet en het elektrische vermogen van de ventilatoren worden verondersteld in beide situaties gelijk te zijn. Volgens de meetresultaten van VITO levert het kantoorgebouw van SD Worx een jaarlijkse besparing op van 47% elektriciteit en 44% aardgas ten opzichte van de referentiesituatie. Het is moeilijk om aan te tonen wat het aandeel van de isolatie, de nachtventilatie, de grondbuizen en de warmtewisselaar in het geheel hebben, omdat men hiervoor met te veel aannames en invloedsfactoren dient rekening te houden.

Het gebouw zorgt eveneens voor een vermindering in de CO₂-uitstoot. Ten opzichte van de referentiesituatie realiseert men een CO₂-reductie van 8 ton/jaar of 27%. Het kantoorgebouw mag dus met recht een zeer energiezuinig gebouw genoemd worden.

4.3.6 Economische evaluatie

De gegevens in verband met de economische evaluatie volgen uit het VITO-rapport van 2004 en enkele persoonlijke contacten met de contactpersoon van SD Worx.

De initiële meerinvestering voor het kantoorgebouw van SD Worx bedroeg 300.000 €. Maar aangezien het een passief kantoorgebouw betreft, leiden de afwezigheid van een centrale verwarmingsinstallatie en een koelinstallatie met koelbalken tot een vermeden investering van 225.000 €. Hierdoor wordt in de economische evaluatie enkel een totale meerinvestering van 75.000 € in beschouwing genomen. Deze 75.000 € bevat de kosten voor de grondbuizen, de warmtewisselaar en de kosten met betrekking tot energiebesparingen (isolatie, luchtdichtheid, ventilatie). Er wordt verondersteld dat deze investeringen worden afgeschreven op een termijn van 40 jaar. Deze afschrijvingsperiode

is in de praktijk echter niet realistisch, maar deze wordt verondersteld ter vereenvoudiging van de berekeningen aangezien de gebruiksduur van het project eveneens 40 jaar bedraagt.

Door gebruik te maken van energiezuinige technieken wordt een primaire aardgasbesparing van 23.008 kWh/jaar gerealiseerd en een elektriciteitsbesparing van 7.595 kWh/jaar ten opzichte van de referentiesituatie. Door deze waarden te vermenigvuldigen met een aardgastarief van 0,041339 €/kWh en een elektriciteitsprijs van 0,112697 €/kWh bekomt men een aardgasbesparing van 951,14 €/jaar en een elektriciteitsbesparing van 855,93 €/jaar. In totaal bedraagt de jaarlijkse energiebesparing voor belasting 1.807,07 €. Dit bedrag is de jaarlijkse extra energiekost voor een standaard kantoorgebouw die de meerinvestering niet gedaan heeft. Aangezien de kosten in bedrijven een negatieve invloed uitoefenen op de winst en bijgevolg eveneens op de vennootschapsbelasting, moet men uit deze energiebesparing het voordeel van de vennootschapsbelasting bij het standaard kantoorgebouw uithalen. Door de jaarlijkse energiebesparing voor belasting van 1.807,07 € te vermenigvuldigen met de vennootschapsbelasting van 33,99% verkrijgt men een bedrag van 614,20 €. Door dit bedrag in mindering te brengen van 1.807,07 €, wordt een jaarlijkse energiebesparing na belasting gerealiseerd van 1.192,87 €. Daarnaast geniet het gebouw van een belastingsvoordeel op de afschrijving. Deze wordt berekend door de investering van 75.000 € te delen door de afschrijvingsperiode van 40 jaar. Deze waarde vermenigvuldigt men vervolgens met een vennootschapsbelasting van 33,99%. Dit resulteert in een belastingsvoordeel van 637,31 €/jaar. De totale investeringsbesparing bedraagt 1.830,18 €/jaar. Omdat het hier over een kantoorgebouw gaat, worden alle bedragen exclusief 21% BTW vermeld. Tabel 20 bevat de samenstelling van de beschouwde aardgas- en elektriciteitsprijs.

Tabel 20: Componenten van de aardgas- en elektriciteitsprijs voor SD Worx in 2009

	Aardgas	Elektriciteit
Energie	0,028135 €/kWh	0,075000 €/kWh
Nettarieven	0,012001 €/kWh	0,034091 €/kWh
heffingen	0,001203 €/kWh	0,003606 €/kWh
Prijs excl. BTW	0,041339 €/kWh	0,112697 €/kWh
Prijs incl. BTW	0,050020 €/kWh	0,136364 €/kWh

Voor de berekening van de **terugverdientijd** die geen rekening houdt met de tijdswaarde van geld, wordt gebruik gemaakt van formule 5.1. Door de investeringsuitgave van 75.000 € te delen door de jaarlijkse investeringsbesparing van 1.830,18 € bekomen we een terugverdientijd van 41 jaar zonder subsidie. Tabel 21 bevat een overzicht van de investeringsuitgave en de -besparingen.

Tabel 21: Investeringsuitgave en -besparingen voor SD Worx, exclusief premies

Meerinvesteringen excl. premies (€)		300.000
- Vermeden investeringen (verwarming en koelinstallatie)		- 225.000
= Investeringsuitgave excl. premies, waarvan:		= 75.000
• Grondbuizen	46.773	
• Warmtewisselaar	7.437	
• Kosten mbt energiebesparingen (isolatie, luchtdichtheid, ventilatie)	20.791	
Investeringsbesparingen (€/jaar)		1.830,18
1) Energiebesparing		1.192,87
Aardgasbesparing	951,14	
Elektriciteitsbesparing	855,93	
- Belastingvoordeel kosten	- 614,20	
2) Belastingvoordeel afschrijvingen		637,31
Terugverdientijd excl. premies (jaar)		41,0

Tabel 22 bevat de resultaten van de economische analyse voor het kantoor SD Worx in Kortrijk, waarbij geen rekening gehouden wordt met premies. Hierin wordt aangetoond dat uiteindelijk slechts 3 van de 20 scenario's tot een positieve NCW leiden. De initiële

investering rendeert slechts na een minimale termijn van ongeveer 36 jaar en enkel in geval van een lage discontovoet gecombineerd met een stijging van de energieprijzen.

Tabel 22: Sensitiviteitsanalyse van de investeringsmaatstaven exclusief premies

Disconto- Voet Energie Prijs- stijging	Netto contante waarde (€)				Verdisconteerde terugverdientijd				IOV
	0%	3,43%	5,57%	10,01%	0%	3,43%	5,57%	10,01%	
0%	-1.792,78	-35.488,43	-45.900,71	-57.118,98	/	/	/	/	/
1,87%	-882,49	-34.997,13	-45.538,88	-56.896,65	/	/	/	/	/
5,87%	1.066,52	-33.945,20	-44.764,16	-56.420,59	39,4	/	/	/	0,32%
10%	3.075,04	-32.861,16	-43.965,79	-55.930,01	38,4	/	/	/	0,45%
20%	7.942,86	-30.233,89	-42.030,87	-54.741,03	36,2	/	/	/	0,89%

In het kader van de bevordering van nieuwe energietechnologieën (KB van 10/02/1983) heeft de Vlaamse Gemeenschap aan het kantoorgebouw SD Worx in Kortrijk een kapitaalsubsidie toegekend van 18.973 € voor de plaatsing van horizontale grondbuizen als voorverwarming en voorcoeling van de ventilatielucht in combinatie met een regeneratieve warmtewisselaar. Bovendien ontvangt men van de Federale overheid een eenmalige investeringsaftrek ter waarde van 3.441,49 €. Indien men deze bedragen in mindering brengt van de initiële investeringsuitgave van 75.000 €, resulteert dit in een investeringsbedrag ter waarde van 52.585,51 €. Daarboven ontvangt men eveneens een belastingvoordeel op de afschrijving van 446,85 €. Dit belastingvoordeel is lager dan in tabel 21 omdat men hier rekening houdt met de ontvangen premies, waardoor de investeringsuitgave lager ligt. Tot slot kan men ook rekenen op een premie van de netbeheerder voor een K-waarde kleiner of gelijk aan K45. Deze premie bedraagt 1.150,40 €. Tabel 23 geeft een overzicht van de investeringsuitgave en de -besparingen rekening houdend met de ontvangen premies.

Tabel 23: Investeringsuitgave en -besparingen voor SD Worx, inclusief premies voor 2009

Investeringsen excl. premies <ul style="list-style-type: none"> • Grondbuizen • Warmtewisselaar • Kosten mbt. energiebesparingen (isolatie, luchtdichtheid, ventilatie) - Kapitaalsubsidie - investeringsaftrek = Investeringsen incl. Premies (€)	46.773 7.437 20.791 	75.000 -18.973 -3.441,49 52.585,51
Investeringsbesparingen (€/jaar) 1) Energiebesparing Aardgasbesparing Elektriciteitsbesparing - Belastingvoordeel kosten 2) Belastingvoordeel afschrijvingen 3) Premie K-peil	 951,14 855,93 -614,20 	2.790,11 1.192,86 446,85 1.150,40
Terugverdiëntijd incl. Subsidie (jaar)		18,8

Tabel 24 bevat de resultaten van de economische analyse wanneer de ontvangen premies in beschouwing genomen worden. Hieruit blijkt dat de bijkomende financiële maatregelen 7 extra rendabele scenario's opleveren. De verdisconteerde terugverdiëntijd bedraagt nu minimaal 17 jaar.

Tabel 24: Sensitiviteitsanalyse van de investeringsmaatstaven inclusief premies

Disconto- Voet Energie Prijs- stijging	Netto contante waarde (€)				Verdisconteerde terugverdiëntijd				IOV
	0%	3,43%	5,57%	10,01%	0%	3,43%	5,57%	10,01%	
0%	59.019,31	7.650,10	-8.223,48	-25.325,80	18,8	30,8	/	/	4,36%
1,87%	59.929,60	8.141,40	-7.861,65	-25.103,46	18,7	30,4	/	/	4,42%
5,87%	61.876,72	9.192,31	-7.087,68	-24.627,87	18,4	29,5	/	/	4,54%
10%	63.887,13	10.277,37	-6.288,56	-24.136,83	18,1	28,6	/	/	4,66%
20%	68.754,95	12.904,65	-4.353,64	-22.947,85	17,3	26,8	/	/	4,93%

4.4 Lage-energiekantoor Oxfam Fairtrade, Gent

4.4.1 Beschrijving

Een voorbeeld van een lage-energiekantoorgebouw is het gebouw van de Oxfam Wereldwinkels, gevestigd in Gent. Het is een eco-bedrijfsgebouw opgebouwd uit allerlei ecologisch verantwoorde materialen. Het is een duurzaam gebouw op allerlei aspecten. Allereerst is de locatie duurzaam. Het is een vervangingsgebouw op een oud industrieel terrein in de stadsgordel van Gent en het is goed bereikbaar met het openbaar vervoer. Vervolgens kenmerkt de opbouw uit natuurlijke bouwmaterialen eveneens de duurzaamheid van het gebouw. De belangrijkste materialen zijn hout, pannen in gebakken klei voor de gevelbekleding en cellulose als isolatie. Tot slot bevat het gebouw allerlei energiezuinige installaties die leiden tot een laag energieverbruik. Dit brengt de totale milieulast in mindering.

De architecten van het gebouw zijn Luc Eeckhout, Jan Van Den Broeke en Luc Reuse, die in samenspraak met Thermad-Brink het energieconcept bepaalden van het gebouw. Sinds 1999 zijn de Oxfam Wereldwinkels gevestigd in dit nieuwe eco-bedrijfsgebouw te Gent. Concreet bestaat het gebouw uit een kantoor van 1.176 m² en een magazijn van 1.362 m².

4.4.2 Technische aspecten van het gebouw

Het concept van het gebouw is volledig op duurzame technieken en een zo laag mogelijk energieverbruik gericht. Hiervoor worden er zowel actieve als passieve energiezuinige technieken toegepast die zorgen voor een verlaagd energieverbruik van het hele gebouw. Het gebouw leunt dicht aan bij een passief kantoorgebouw aangezien er talloze actieve en passieve maatregelen gehanteerd worden. Toch blijft het echter een lage-energiegebouw aangezien het gebouw net niet voldoet aan de passiefhuiscriteria. Er dienen tevens nog 2 extra condenserende luchtverhitters gebruikt te worden om de ventilatielucht bijkomend te verwarmen.

4.4.2.1 *Passieve maatregelen*

Allereerst zorgt de compactheid van het gebouw voor een reductie in het energieverbruik, want hoe kleiner de buitenoppervlakte, hoe geringer het energieverlies is. De verhouding tussen het inwendig bouwvolume en het ommantelend oppervlak leidt tot een compactheidsgraad van 2,28 voor het kantoor en 2,73 wanneer het gehele gebouw in beschouwing wordt genomen.

Vervolgens wordt het gebouw gekenmerkt door de technieken van compartimentering en zonering. Het gebouw is ingedeeld in compartimenten. Dit wil zeggen dat de koele ruimtes zich aan de noordzijde en de kantoren zich aan de zuidzijde van het gebouw bevinden. Daartussen liggen de opslagruimtes, welke als buffer tussen de koele ruimtes en de kantoren dienen. Aan de zuidzijde van het gebouw bevindt zich een serre. Deze is via het ventilatiesysteem verbonden met de kantoren. De serre vangt de warmte van de zon op en geeft deze via het ventilatiesysteem door aan de kantoren.

De isolatie van het gebouw is de belangrijkste passieve maatregel. Het dak bestaat uit een 19 cm dikke celluloseplaat. De spouwmuren zijn opgebouwd uit een superisolerende snelbouwsteen, een celluloseplaat van 12 cm en een 18 mm celitplaat. De doorgedreven isolatie zorgt ervoor dat het kantoorgebouw een K-waarde bereikt van K26 en het magazijn K31.

Tevens is de gevel bekleed met pannen uit gebakken klei. De beglazing van het gebouw bestaat uit thermisch goed isolerend glas met een warmtegeleidingscoëfficiënt van 1,1 W/m²K (standaard dubbel glas ca. 3 W/m²K). Er is gebruik gemaakt van houten raamprofielen en de zuid-georiënteerde ramen zijn voorzien van een automatische buitenzonwering.

4.4.2.2 *Actieve maatregelen*

Het Oxfam Fairtrade gebouw is voorzien van een mechanisch ventilatiesysteem en een grondbuis, welke fungeert als aanzuigleiding voor de ventilatielucht. Daarnaast bevat het

gebouw nog 3 warmtewisselaars die bijdragen tot de warmterecuperatie van de ventilatielucht. Deze recupereren de warmte uit de afgezogen lucht en dragen die over naar de verse toegevoerde lucht. Indien dit nodig geacht wordt, zal de ventilatielucht nog bijkomend verwarmd worden door de 2 condenserende luchtverhitters. De lucht in het gebouw wordt dan aan verhoogd debiet gerecirculeerd.

Naast het ventilatiesysteem is het gebouw ook voorzien van een zonneboiler die het sanitair warm water voorverwarmt. Er wordt geschat dat de zonneboiler een gemiddelde jaaropbrengst heeft van 710 kWh.

Men maakt eveneens gebruik van regenwaterrecuperatie en –infiltratie van overschot in de grond. Verder beschikt het Oxfam Fairtrade gebouw over een windmolen van 30 m hoog. Deze zorgt voor een jaarlijkse verwachte elektriciteitsproductie van 37.000 kWh ofwel 14% van de elektriciteitsvraag van het gebouw. De windmolen is uiteindelijk nooit in gebruik gesteld wegens burenlachten en technische problemen en daarom wordt deze hier ook niet in beschouwing genomen. Tot slot hanteert men over het hele gebouw energiezuinige verlichting en toestellen.

4.4.3 Werking van het gebouw in de praktijk

In het stookseizoen is de beperking van de warmteverliezen uit het gebouw essentieel. Daarom is het gebouw voorzien van een bovengemiddelde isolatie en probeert men tevens zoveel mogelijk natuurlijke zonnewarmte op te vangen. De serre vangt de warmte van de zon op en geeft deze via het ventilatiesysteem door aan de kantoren. Volgens de ontwerper zou de serre op jaarbasis ongeveer 34.919 kWh warmte moeten kunnen opleveren. Dit komt overeen met ongeveer 56% van de totale warmtebehoefte van het gebouw. Daarenboven zorgt de grondbuis ervoor dat de verse ventilatielucht 's winters en in het tussenseizoen wordt voorverwarmd. Vervolgens zorgen de 3 warmtewisselaars tot een warmterecuperatierendement van 95% van de ventilatielucht. Dit hoge recuperatierendement is een goede zaak in het stookseizoen omdat alle energie die in de afgezogen extractielucht reeds vervat zit continu wordt overgedragen op de verse aanvoerlucht.

Om het zomercomfort in het gebouw te garanderen kan men de verluchttingsramen bovenaan de serre openen om zo oververhitting te vermijden. Men dient dan wel de interne luchtcirculatie uit te schakelen. Tijdens de zomer zorgt de grondbuis voor een verkoeling van de ventilatielucht. Er wordt geschat op een temperatuursdaling van de ventilatielucht met 5 tot 10 °C ten opzichte van de buitentemperatuur. Tot slot zijn de zuid-georiënteerde ramen voorzien van een automatische buitenzonwering. De warmtewisselaars hebben in de zomer een minder gunstig effect en werken het koelvermogen van de grondbuis zelfs tegen. Om dit nadeel op te lossen dient men deze best van een bypass te voorzien.

Wanneer het ook 's nachts aangewezen is om het gebouw verder te koelen, kan men eveneens ventileren via een ventilatierooster aan de westzijde van het gebouw en een extractieventilator op het dak.

4.4.4 Comfortevaluatie

In opdracht van de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE) van de Vlaamse Gemeenschap heeft VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek) een meetcampagne uitgevoerd van het Oxfam Fairtradegebouw. De comfort- en energetische evaluatie gebeuren op basis van deze meetcampagne, uitgevoerd van 31 mei 2002 tot 5 februari 2004.

Bij de evaluatie van de binnentemperatuur treden enkele tekortkomingen op. Zo is er gevaar voor oververhitting in de zomer. Gedurende de maanden juni tot september 2003 bedroeg de binnentemperatuur gedurende een gedeelte van de tijd boven de 25 °C. In maart werden er zelfs temperaturen rond de 30 °C vastgesteld. In totaal werd er gedurende de meetperiode 3.809 kWh overbodige warmte geleverd, wat overeenkomt met 30,2% van het totaal geleverde koelvermogen. Deze warmte wordt hoofdzakelijk geleverd door de grondbuis (4,2%), de warmtewisselaars (44,6%) en de serre (51,2%). Bovendien slaagt de installatie van het gebouw er niet in om een constante, comfortabele binnentemperatuur aan te houden waardoor de temperatuur tijdens de winterperiode vaak onder de 20 °C zakt. Dit kan verklaard worden door interne tegenwerkingen binnen

de technische installaties. Het kan bijvoorbeeld zijn dat de regeling van de installatie nog in winterregime zit, terwijl er zich in het gebouw een grotere vraag voor koeling stelt. Een goede regeling van de installaties is dus cruciaal voor een comfortabel binnenklimaat. Daarnaast beschikt het gebouw eveneens over onvoldoende ventilatiedebiet. De hoeveelheid verse lucht die door de installatie wordt aangevoerd is te weinig voor het aantal personen werkzaam in de kantoren. Tot slot is er nog het probleem van de combinatie ventilatie-verwarming, waarbij de verwarming niet steeds kan voldoen aan de vereiste kamertemperaturen.

4.4.5 Energetische evaluatie

Om de primaire energiebesparing en CO₂-reductie te kunnen bepalen werd er een referentiescenario vastgelegd. Hierbij neemt men eenzelfde kantoorgebouw in beschouwing maar dan zonder de aanwezigheid van een serre, nachtelijke ventilatie, een grondbuis en een warmtewisselaar. Volgens de meetresultaten van VITO levert het Oxfam Fairtradegebouw een energiebesparing op van 141,8 GJ/jaar of 27,2% ten opzichte van de referentiesituatie. Dit komt overeen met 8,2 ton CO₂-besparing ofwel 23,1%.

4.4.6 Economische evaluatie

De gegevens in verband met de economische evaluatie volgen uit het VITO-rapport van 2005 en enkele persoonlijke contacten met de contactpersoon van Oxfam Fairtrade.

Het Oxfam Fairtradegebouw realiseert een initiële meerinvestering van 222.708 €. Dit bedrag kan men echter verminderen met een vermeden investering van 109.000 € als gevolg van een kleinere verwarmingsinstallatie en de afwezigheid van een koelinstallatie. De economische evaluatie beschouwt het Oxfam kantoorgebouw ten opzichte van de referentiesituatie. Indien het hier om een standaard kantoorgebouw zou gaan, zouden eveneens de investeringen in een grotere verwarmings- en koelinstallatie noodzakelijk zijn. Bijgevolg wordt in de economische evaluatie enkel een totale meerinvestering van

113.708 € beschouwd. Er wordt tevens verondersteld dat deze investeringen worden afgeschreven op een termijn van 40 jaar.

Door gebruik te maken van energiezuinige technieken wordt een primaire aardgasbesparing van 46.607 kWh/jaar gerealiseerd en een elektriciteitsbesparing van 24.710 kWh/jaar ten opzichte van de referentiesituatie. Door deze waarden te vermenigvuldigen met een aardgastarief van 0,033998 €/kWh en een elektriciteitsprijs van 0,084147 €/kWh bekomt men een aardgasbesparing van 1.584,52 €/jaar en een elektriciteitsbesparing van 2.079,28 €/jaar. In totaal bedraagt de jaarlijkse energiebesparing voor belasting 3.663,80 €. Dit bedrag is de jaarlijkse extra energiekost voor een standaard kantoorgebouw die de meerinvestering niet gedaan heeft. Aangezien de kosten in bedrijven een negatieve invloed uitoefenen op de winst en bijgevolg eveneens op de vennootschapsbelasting, moet men uit deze energiebesparing het voordeel van de vennootschapsbelasting bij het standaard kantoorgebouw uithalen. Door de jaarlijkse energiebesparing voor belasting van 3.663,80 € te vermenigvuldigen met de vennootschapsbelasting van 33,99% resulteert dit in een bedrag van 1.245,33 €. Door dit bedrag in mindering te brengen van 3.663,80 €, bekomt men een jaarlijkse energiebesparing na belasting van 2.418,47 €. Daarnaast geniet het gebouw van een belastingsvoordeel op de afschrijving. Deze wordt berekend door de investering van 113.708 € te delen door de afschrijvingsperiode van 40 jaar. Deze waarde vermenigvuldigt men vervolgens met een vennootschapsbelasting van 33,99%. Dit resulteert in een belastingsvoordeel van 966,23 €/jaar. De totale investeringsbesparing bedraagt 3.384,70 €/jaar. Omdat het hier over een kantoorgebouw gaat, worden alle bedragen exclusief 21% BTW vermeld. Tabel 25 bevat de samenstelling van de beschouwde aardgas- en elektriciteitsprijs.

Tabel 25: Componenten van de aardgas- en elektriciteitsprijs voor Oxfam in 2009

	Aardgas	Elektriciteit
Energie	0,023139 €/kWh	0,056000 €/kWh
Nettarieven	0,009869 €/kWh	0,025455 €/kWh
heffingen	0,000989 €/kWh	0,002693 €/kWh
Prijs excl. BTW	0,033998 €/kWh	0,084147 €/kWh
Prijs incl. BTW	0,041137 €/kWh	0,101818 €/kWh

Voor de berekening van de **terugverdientijd** die geen rekening houdt met de tijdswaarde van geld, maken we gebruik van formule 5.1. Door de investeringsuitgave van 113.708 € te delen door de jaarlijkse investeringsbesparing van 3.384,70 € bekomen we een terugverdientijd van 33,6 jaar zonder subsidie. Tabel 26 bevat een overzicht van de investeringsuitgave en de -besparingen.

Tabel 26: Investeringsuitgave en -besparingen voor Oxfam, exclusief premies

Meerinvesteringen excl. premies (€)		222.708
- Vermeden investeringen (verwarming en koelinstallatie)		- 109.000
= Investeringen excl. premies		= 113.708
Investeringsbesparingen (€/jaar)		3.384,70
1) Energiebesparing		2.418,47
Aardgasbesparing	1.584,52	
Elektriciteitsbesparing	2.079,28	
- Belastingvoordeel kosten	- 1.245,33	
2) Belastingvoordeel afschrijvingen		966,23
Terugverdientijd excl. premies (jaar)		33,6

Voor de berekening van de NCW, de verdisconteerde terugverdientijd en de interne opbrengstvoet wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar de verschillende discontovoeten en de energieprijstijgingen. Tabel 27 bevat de resultaten van de economische analyse voor het Oxfam kantoorgebouw in Gent, waarbij geen rekening gehouden wordt met premies. Hierin wordt aangetoond dat uiteindelijk slechts 5 van de 20 scenario's tot een positieve NCW leiden. De initiële investering rendeert slechts na een

minimale termijn van ongeveer 29 jaar en enkel in geval van een lage discontovoet gecombineerd met een stijging van de energieprijzen.

Tabel 27: Sensitiviteitsanalyse van de investeringsmaatstaven exclusief premies

Discontovoet Energie Prijs- stijging	Netto contante waarde (€)				Verdisconteerde terugverdientijd				IOV
	0%	3,43%	5,57%	10,01%	0%	3,43%	5,57%	10,01%	
0%	21.680,01	-40.636,07	-59.892,34	-80.639,20	33,6	/	/	/	0,79%
1,87%	23.521,73	-39.642,05	-59.160,27	-80.189,36	33,1	/	/	/	0,92%
5,87%	27.461,22	-37.515,82	-57.594,35	-79.227,13	32,2	/	/	/	1,11%
10%	31.528,75	-35.320,48	-55.977,54	-78.233,62	31,3	/	/	/	1,28%
20%	41.377,50	-30.004,90	-52.062,74	-75.828,05	29,3	/	/	/	1,64%

In het kader van de energiedemonstratieprojecten werd het Oxfam Fairtradegebouw gesubsidieerd door ANRE. De voorwaarde voor het verkrijgen van de subsidie was dat de installatie gedurende minstens 1 jaar gemonitord en beoordeeld zou worden door een onafhankelijke instelling. Voor deze taak werd VITO aangesteld. In totaal bedroeg de kapitaalsubsidie 77.948 € die 35% van de initiële meerinvestering is. De reden voor dit hoge bedrag is omdat het om een energiedemonstratieproject gaat waarvoor een stimulatiesubsidie is toegekend om de bouw van meer lage-energiekantoren te stimuleren. In deze gevalstudie worden de premies van 2009 niet in beschouwing genomen aangezien het om een stimulatiesubsidie uit 1999 gaat. Met de normen van vandaag zullen echter niet meer zulke hoge subsidies verkregen worden. Tabel 28 biedt een overzicht van de investeringsuitgave en de -besparingen rekening houdend met de ontvangen premie. Indien deze kapitaalsubsidie mee in beschouwing wordt genomen, daalt het initiële investeringsbedrag tot 35.760 €. Door dit bedrag te delen door de som van de gerealiseerde energiebesparing van 2.418,47 € en het belastingvoordeel op de afschrijving van 303,87 € wordt de terugverdientijd gereduceerd tot 13 jaar.

Tabel 28: Investeringsuitgave en -besparingen voor Oxfam, inclusief premies

Investeringsen excl. premies		113.708
- Kapitaalsubsidie		- 77.948
= Investeringsen incl. Premies (€)		= 35.760
Investeringsbesparingen (€/jaar)		2.722,34
1) Energiebesparing		2.418,47
Aardgasbesparing	1.584,52	
Elektriciteitsbesparing	2.079,28	
- Belastingvoordeel kosten	- 1.245,33	
2) Belastingvoordeel afschrijvingen		303,87
Terugverdiëntijd incl. Subsidie (jaar)		13,1

Tabel 29 bevat de resultaten van de economische analyse wanneer de ontvangen premies in beschouwing genomen worden. Hieruit blijkt dat de bijkomende financiële maatregelen 10 extra rendabele scenario's opleveren. Op 5 scenario's na is het project volledig rendabel bij elke beschouwde discontovoet en energieprijsstijging. De verdisconteerde terugverdiëntijd bedraagt nu minimaal 11 jaar, wat zeer laag is. Ook de interne opbrengstvoet toont aan dat het project zeer rendabel is. Zelfs wanneer de discontovoet in de toekomst zal stijgen tot 7%, blijkt het project interessant te zijn, ongeacht de energieprijsstijging.

Tabel 29: Sensitiviteitsanalyse van de investeringsmaatstaven inclusief premies

Discontovoet Energie Prijs- stijging	Netto contante waarde (€)				Verdisconteerde terugverdiëntijd				IOV
	0%	3,43%	5,57%	10,01%	0%	3,43%	5,57%	10,01%	
0%	73.133,61	23.012,31	7.524,35	-9.162,51	13,1	17,8	24,3	/	7,14%
1,87%	74.975,33	24.006,33	8.256,42	-8.712,67	12,9	17,4	23,5	/	7,29%
5,87%	78.914,82	26.132,56	9.822,33	-7.750,44	12,5	16,6	21,9	/	7,61%
10%	82.982,35	28.327,90	11.439,15	-6.756,93	12,0	15,8	20,5	/	7,91%
20%	92.831,10	33.643,48	15.353,94	-4.351,36	11,1	14,2	17,8	/	8,69%

4.5 Vergelijking financiële resultaten

In deze sectie zullen de financiële resultaten in verband met de economische evaluaties van de verschillende case studies met elkaar vergeleken worden. Aangezien de economische evaluatie het meest complexe onderdeel is van dit werk is, is het belangrijk om hier wat extra aandacht aan te besteden. De bedoeling van deze sectie is om enkele verbanden vast te stellen die vervolgens in de discussie geïnterpreteerd kunnen worden en vergeleken met de bestaande wetenschappelijke literatuur.

De economische evaluatie maakt gebruik van een sensitiviteitsanalyse die werd uitgevoerd naar verschillende discontovoeten en energieprijsstijgingen. Uit de resultaten kan worden afgeleid dat de NCW toeneemt naarmate de energieprijs stijgt en de discontovoet daalt. Dit komt omdat bij een lage discontovoet de toekomstige baten een grotere impact hebben, terwijl men zich bij een hogere discontovoet meer focust op het heden. Hierdoor weegt de initiële investeringsuitgave veel zwaarder door. Ook de interne opbrengstvoet neemt toe naarmate de energieprijzen stijgen.

Tabel 30 geeft een overzicht van de meest relevante uitkomsten van de sensitiviteitsanalyse waarbij een passief renovatieproject van een particuliere woning vergeleken wordt met een renovatieproject van een lage-energiewoning. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen een economische analyse met financiële steunmaatregelen en die zonder. De financiële analyse exclusief premies levert voor beide projecten slechts in 5 gevallen een positieve NCW op. De verdisconteerde terugverdientijd is hierbij ook aanzienlijk.

Wanneer de premies mee in beschouwing worden genomen, resulteert dit in veel gunstigere uitkomsten. Het aantal scenario's met een positieve NCW verdubbelt in het geval van een passief renovatieproject en verdrievoudigt bijna bij een lage-energiewoning. Ook de verdisconteerde terugverdientijd wordt hierdoor gunstig beïnvloed. Bij constante energieprijzen (+0%) leidt een berekening van de verdisconteerde terugverdientijd tot de conclusie dat deze voor de lage-energiewoning in vergelijking met de conventionele woning 16,5 jaar bedraagt en dat deze 20,7 jaar is voor het passiefhuis.

Op de website van de Nationale Bank van België blijkt dat de huidige langetermijn rentevoet van 10 jaar 3,68% bedraagt. Bij de financiële analyse exclusief premies zijn beide projecten bij deze discontovoet logischerwijze niet rendabel. Indien de premies wel in beschouwing worden genomen, resulteert dit in gunstige resultaten voor elke beschouwde energieprijsstijging. Uit de tabel kan vastgesteld worden dat de interne opbrengstvoet van de lage-energiewoning verder boven de huidige rentevoet van 3,68% uitstijgt dan die van het passiefhuis. Indien de huidige langetermijn discontovoet in de toekomst zal stijgen, kan de rendabiliteit van het passiefhuis echter in gevaar komen.

Tabel 30: Samenvatting van de resultaten van de economische evaluatie voor renovatieprojecten van particuliere eengezinswoningen

	Passief renovatieproject, Tongeren		Lage-energierenovatie- project, Heverlee	
Financiële analyse EXCLUSIEF premies				
• Aantal scenario's met een positieve NCW	5		5	
• Verdisconteerde terugverdientijd bij energieprijsstijging 0% en 20% (stel $r=0\%$)	29,1 jaar	25,7 jaar	30,4 jaar	26,7 jaar
• Interne opbrengstvoet bij verschillende energieprijsstijgingen	+0%: IOV=1,69%	+1,87%: IOV=1,75%	+0%: IOV=1,45%	+1,87%: IOV=1,52%
	+5,87%: IOV=1,89%	+10%: IOV=2,02%	+5,87%: IOV= 1,67%	+10%: IOV=1,81%
	+20%: IOV=2,40%		+20%: IOV=2,15%	
Financiële analyse INCLUSIEF premies				
• Aantal scenario's met een positieve NCW	10		13	
• Verdisconteerde terugverdientijd bij energieprijsstijging 0% en 20% (stel $r=0\%$)	20,7 jaar	18,3 jaar	16,5 jaar	14,6 jaar
• Interne opbrengstvoet bij verschillende energieprijsstijgingen	+0%: IOV=3,73%	+1,87%: IOV=3,81%	+0%: IOV=5,29%	+1,87%: IOV=5,39%
	+5,87%: IOV=3,97%	+10%: IOV=4,15%	5,87%: IOV=5,59%	+10%: IOV=5,79%
	+20%: IOV=4,59%		+20%: IOV=6,28%	

Tabel 31 bevat een overzicht van de meest relevante uitkomsten van de sensitiviteitsanalyse, waarbij een passief kantoorgebouw vergeleken wordt met een lage-energiekantoor. De financiële analyse exclusief premies levert voor het passief kantoor slechts in 3 gevallen een positieve NCW op, terwijl er met het lage-energiegebouw 5 positieve scenario's verkregen worden. De verdisconteerde terugverdientijd is hierbij eveneens aanzienlijk en is het grootst bij het passief kantoorgebouw. De initiële investering rendeert enkel in geval van een lage discontovoet gecombineerd met een stijging van de energieprijzen.

Wanneer de premies mee in beschouwing worden genomen, verdrievoudigt het aantal scenario's met een positieve NCW in beide gevallen. Ook de verdisconteerde terugverdientijd wordt sterk gereduceerd. Het passief kantoorgebouw bereikt immers een minimale terugverdientijd van 17,3 jaar, terwijl het lage-energiegebouw zich in 11,1 jaar terugverdient.

Ook hier kunnen gelijkaardige resultaten waargenomen worden bij een huidige langetermijn rentevoet van 3,68%. Zonder premies leiden beide kantoorgebouwen tot een negatief resultaat. Indien de projecten gesubsidieerd worden, is de interne opbrengstvoet voor elke energieprijsstijging groter dan 3,68%. Het passief project heeft ook hier meer kans om bij een stijging van de huidige rentevoet niet meer rendabel te zijn. De resultaten tonen dus aan dat lage-energiegebouwen beter scoren op de beschouwde parameters. Het verschil tussen het passief kantoorgebouw en het lage-energiegebouw is hier veel groter dan bij particuliere woningen aangezien het hier om grotere investeringsbedragen gaat.

Tabel 31: Samenvatting van de resultaten van de economische evaluatie voor kantoorgebouwen

	Passief kantoorgebouw, Kortrijk		Lage-energiekantoor- gebouw, Gent	
Financiële analyse EXCLUSIEF premies				
• Aantal scenario's met een positieve NCW	3		5	
• Verdisconteerde terugverdientijd bij energieprijsstijging 0% en 20% (stel r=0%)	/	36,2 jaar	33,6 jaar	29,3 jaar
• Interne opbrengstvoet bij verschillende energieprijsstijgingen	+0%: IOV=/	+1,87%: IOV=/	+0%: IOV=0,79%	+1,87%: IOV=0,92%
	+5,87%: IOV=0,32%	+10%: IOV=0,45%	+5,87%: IOV= 1,11%	+10%: IOV=1,28%
	+20%: IOV=0,89%		+20%: IOV=1,64%	
Financiële analyse INCLUSIEF premies				
• Aantal scenario's met een positieve NCW	10		15	
• Verdisconteerde terugverdientijd bij energieprijsstijging 0% en 20% (stel r=0%)	18,8 jaar	17,3 jaar	13,1 jaar	11,1 jaar
• Interne opbrengstvoet bij verschillende energieprijsstijgingen	+0%: IOV=4,36%	+1,87%: IOV=4,42%	+0%: IOV=7,14%	+1,87%: IOV=7,29%
	+5,87%: IOV=4,54%	+10%: IOV=4,66%	5,87%: IOV=7,61%	+10%: IOV=7,91%
	+20%: IOV=4,93%		+20%: IOV=8,69%	

Vervolgens kunnen de resultaten van de economische evaluatie betreffende renovatieprojecten van particuliere woningen vergeleken worden met deze van kantoorgebouwen. In tabel 32 wordt een vergelijking gemaakt tussen een particuliere eengezinswoning en een kantoorgebouw, beide opgebouwd volgens passiefhuisprincipes. De resultaten hiervan zijn zeer gelijklopend. Beide gevallen realiseren ongeveer evenveel positieve scenario's. Uit de financiële analyse inclusief premies blijkt dat beide passiefhuizen bij een beschouwde discontovoet van 3,68% nog net renderen en dat het kantoorgebouw een grotere interne opbrengstvoet vertoont dan de particuliere woning.

Tabel 32: Samenvatting van de resultaten van de economische evaluatie voor passieve gebouwen

	Passief renovatieproject, Tongeren		Passief kantoorgebouw, Kortrijk	
Financiële analyse EXCLUSIEF premies				
• Aantal scenario's met een positieve NCW	5		3	
• Verdisconteerde terugverdientijd bij energieprijsstijging 0% en 20% (stel r=0%)	29,1 jaar	25,7 jaar	/	36,2 jaar
• Interne opbrengstvoet bij verschillende energieprijsstijgingen	+0%: IOV=1,69%	+1,87%: IOV=1,75%	+0%: IOV=/	+1,87%: IOV=/
	+5,87%: IOV=1,89%	+10%: IOV=2,02%	+5,87%: IOV= 1,32%	+10%: IOV=1,45%
	+20%: IOV=2,40%		+20%: IOV=1,89%	
Financiële analyse INCLUSIEF premies				
• Aantal scenario's met een positieve NCW	10		10	
• Verdisconteerde terugverdientijd bij energieprijsstijging 0% en 20% (stel r=0%)	20,7 jaar	18,3 jaar	18,8 jaar	17,3 jaar
• Interne opbrengstvoet bij verschillende energieprijsstijgingen	+0%: IOV=3,73%	+1,87%: IOV=3,81%	+0%: IOV=4,36%	+1,87%: IOV=4,42%
	+5,87%: IOV=3,97%	+10%: IOV=4,15%	5,87%: IOV=4,54%	+10%: IOV=4,66%
	+20%: IOV=4,59%		+20%: IOV=4,93%	

Tot slot bevat tabel 33 de vergelijking tussen een lage-energiewoning en een lage-energiekantoorgebouw. Ook hier kunnen zeer gelijkaardige resultaten vastgesteld worden. Indien rekening wordt gehouden met de ontvangen premies kan vastgesteld worden dat beide projecten ruimschoots economisch rendabel zijn bij een huidige langetermijn discontovoet van 3,68%. Hierbij vertoont het kantoorgebouw een gunstigere interne opbrengstvoet in vergelijking tot de particuliere woning.

Uit tabel 32 en 33 dient er echter opgemerkt te worden dat de verdisconteerde terugverdientijd ten opzichte van een standaardgebouw groter is bij kantoorgebouwen indien de ontvangen premies buiten beschouwing worden gelaten. Toch blijkt dat

particuliere woningen een langere terugverdientijd realiseren dan kantoorgebouwen bij een financiële analyse inclusief financiële steunmaatregelen.

Tabel 33: Samenvatting van de resultaten van de economische evaluatie voor lage-energiegebouwen

	Lage-energie-renovatie- project, Heverlee		Lage-energiekantoor- gebouw, Gent	
Financiële analyse EXCLUSIEF premies				
• Aantal scenario's met een positieve NCW	5		5	
• Verdisconteerde terugverdientijd bij energieprijsstijging 0% en 20% (stel $r=0\%$)	30,4 jaar	26,7 jaar	33,6 jaar	29,3 jaar
• Interne opbrengstvoet bij verschillende energieprijsstijgingen	+0%: IOV=1,45	+1,87%: IOV=1,52	+0%: IOV=0,79%	+1,87%: IOV=0,92%
	+5,87%: IOV=1,67%	+10%: IOV=1,81%	+5,87%: IOV= 1,11%	+10%: IOV=1,28%
	+20%: IOV=2,15%		+20%: IOV=1,64%	
Financiële analyse INCLUSIEF premies				
• Aantal scenario's met een positieve NCW	13		15	
• Verdisconteerde terugverdientijd bij energieprijsstijging 0% en 20% (stel $r=0\%$)	16,5 jaar	14,6 jaar	13,1 jaar	11,1 jaar
• Interne opbrengstvoet bij verschillende energieprijsstijgingen	+0%: IOV=5,29%	+1,87%: IOV=5,39%	+0%: IOV=7,14%	+1,87%: IOV=7,29%
	+5,87%: IOV=5,59%	+10%: IOV=5,79%	5,87%: IOV=7,61%	+10%: IOV=7,91%
	+20%: IOV=6,28%		+20%: IOV=8,69%	

5 Discussie

In de discussie worden de resultaten van de case studies geïnterpreteerd en vervolgens getoetst tegen de visies van de wetenschappelijke literatuur. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de comfort , energetische en economische evaluatie.

5.1 Comfortevaluatie

In de comfortevaluatie werd de leefbaarheid en het comfort onderzocht aan de hand van de binnentemperatuur en de binnenluchtkwaliteit in een energiezuinige woning. Uit de resultaten blijkt dat passiefhuizen gedurende het hele jaar gekenmerkt worden door een goed thermisch comfort en grotendeels aan de comforteis van 20 – 25 °C voldoen. Dit wordt bevestigd door de wetenschappelijke literatuur. Badescu & Sicre (2003) duiden op het comfortabele gevoel in een passiefhuis, terwijl het CEPHEUS-project de tevredenheid van de bewoners van passiefhuizen alleen maar bevestigt. Het comfortabele binnenklimaat van het passiefhuis wordt hoofdzakelijk gegarandeerd door zowel de bovengemiddelde isolatie en luchtdichtheid van de gebouwschil alsook de efficiënte ventilatiewerking.

Hiertegenover blijkt uit de resultaten van het onderzoek dat er bij lage-energiewoningen geen constant binnenklimaat op de gewenste temperatuur gewaarborgd kan worden. De binnentemperatuur blijkt mee te variëren met de hoogte van de buitentemperatuur. In de winter kan dit probleem gemakkelijk opgelost worden door de woning bij te verwarmen tot de gewenste temperatuur. In de zomer daarentegen lopen lage-energiewoningen het risico van zomerse oververhitting waarbij de binnentemperatuur oploopt tot boven de maximale comforteis van 25 °C. Indien de overschrijdingsfrequentie hoger is dan 10% is het aangewezen om bijkomende maatregelen te nemen om het zomercomfort te waarborgen. Zo kan men bijvoorbeeld gebruik maken van een verwijderbare buitenzonwering langs de zuidzijde van de woning. Deze voorkomt dat de hoogstaande

zon in de zomer de woning kan binnendringen en bijgevolg heel de woning opwarmt. In de winter verwijdert men de buitenzonwering zodat de laagstaande zon tot diep in de woning kan binnentreden en zo de woning kan opwarmen. Op deze manier kan men optimaal profiteren van passieve zonneprijzen. Hestnes & Kofoed (2002) kwamen tot dezelfde conclusie dat bij lage-energiegebouwen de zomerse oververhitting een vaak voorkomend probleem is. Zij tonen aan dat een renovatie gebruik makend van enkele passieve technieken hiervoor een oplossing biedt en bijgevolg leidt tot een significante verbetering van het thermisch comfort van het betreffende gebouw. Hierdoor wordt het risico op zomerse oververhitting bijna volledig gereduceerd.

Vervolgens werd ook de binnenluchtkwaliteit geanalyseerd aangezien deze een directe invloed heeft op de gezondheid van de mensen die in het gebouw vertoeven. Hiervoor wordt de IDA-classificatie gehanteerd. Uit het onderzoek blijkt dat passiefhuizen onder IDA klasse 1 en 2 vallen en bijgevolg gekenmerkt worden door een matige tot hoge luchtkwaliteit. Ook het CEPHEUS-project duidt op een hoge thermische luchtkwaliteit van passiefhuizen. Heudorf (2007) daarentegen richt zich tot de analyse van passiefhuisscholen en stelt hierbij een aanvaardbare tot lage binnenluchtkwaliteit (IDA klasse 3 en 4) vast. Een reden voor deze tegenstrijdige vaststelling kan zijn dat het empirische onderzoek beperkt is en slechts over één case study beschikt met gegevens in verband met de binnenluchtkwaliteit. Ook in de wetenschappelijke literatuur wordt er zeer weinig gerapporteerd in verband met de binnenluchtkwaliteit. Heudorf (2007) bevestigt dit en wijst erop dat het concept 'binnenluchtkwaliteit' meer in beschouwing moet genomen worden. Desondanks het feit dat het onderzoek geen gegevens ter beschikking heeft met betrekking tot de binnenluchtkwaliteit in lage-energiegebouwen kunnen er wel enkele veronderstellingen in het voordeel van lage-energiegebouwen gedaan worden. Zo kan de hoge luchtkwaliteit van passiefhuizen echter in vraag getrokken worden. Bij passiefhuizen wordt de gebouwschil dichtgemaakt waardoor er mechanisch geventileerd moet worden. Lage-energiewoningen daarentegen zijn niet altijd van een mechanisch ventilatiesysteem voorzien aangezien deze grotendeels natuurlijk geventileerd worden door het openen van ramen. Vervolgens kan hieromtrent de vraag gesteld worden of natuurlijke ventilatie niet tot een hogere luchtkwaliteit bijdraagt dan een mechanisch ventilatiesysteem.

5.2 Energetische evaluatie

In de energetische evaluatie werd allereerst de jaarlijkse energiebesparing ten opzichte van een conventioneel gebouw besproken. De resultaten van het onderzoek tonen aan dat de jaarlijkse energiebesparing bij passiefhuizen tot 90% kan oplopen indien het energieverbruik vergeleken wordt met dat van een standaardgebouw. Passiefhuis-Platform vzw toont aan dat de jaarlijkse energiebesparing van het passiefhuis ten opzichte van het bestaande Vlaamse woningbestand gemiddeld 85% bedraagt, terwijl deze ten opzichte van de Vlaamse nieuwbouw slechts 75% is. Dit percentage is lager omdat de Vlaamse nieuwbouw aan hogere EPB-eisen dient te voldoen.

Bij lage-energiegebouwen ligt de jaarlijkse energiebesparing lager. Concreet realiseert deze vorm van duurzaam bouwen een jaarlijkse energiebesparing van ongeveer 30% in vergelijking met een standaardgebouw. Er kan dus worden vastgesteld dat passiefhuizen een energiereductie realiseren van ongeveer 60% ten opzichte van lage-energiegebouwen. Passiefhuis-Platform vzw stelt een energiereductie van 50% vast.

Gelijklopend met Sartori & Hestnes (2007) kan dus geconcludeerd worden dat passiefhuizen en lage-energiewoningen energiezuiniger zijn dan conventionele woningen. Ook Feist (1996) toont aan dat een significante vermindering in de energievraag kan worden bereikt door het bevorderen van lage-energiewoningen en passiefhuizen. Uit het empirisch onderzoek blijkt dat een renovatie gebruik makend van energie-efficiënte en hernieuwbare energiebronnen rechtstreeks leidt tot een vermindering van het energieverbruik in bestaande gebouwen. Hestnes & Kofoed (2002) kwamen in het OFFICE project tot een gelijkaardige conclusie.

Daarnaast wordt in het onderzoek eveneens de CO₂-reductie beschouwd aangezien deze factor de rechtstreekse invloed van de aanwezige, energiezuinige technieken weergeeft op het milieu. Hieromtrent zijn niet voor elke case study de nodige gegevens beschikbaar. Alleen bij het Oxfam kantoor en het kantoorgebouw van SD Worx wordt de CO₂-reductie besproken. Hierbij wordt voor een passief kantoorgebouw een CO₂-reductie van 27% vastgesteld, terwijl een lage-energiegebouw een vermindering in de CO₂-uitstoot van 23,1% realiseert. Deze waardes liggen zeer dicht bij elkaar. De lage-energiewoning

behaalt slechts een marginaal lagere CO₂-uitstoot dan het passiefhuis. De resultaten bevestigen echter wel de visie van Jensen en Gram-Hanssen (2009) die stelt dat de bouw van meer duurzame gebouwen tot een reductie van energieverbruik leidt, waardoor de emissie van CO₂ in de atmosfeer daalt.

5.3 Economische evaluatie

Naast het leefcomfort en de jaarlijkse energiebesparing van een energiezuinige woning, wordt het financiële luik beschouwd waarbij men zich de vraag stelt hoe economisch rendabel het is om te investeren in energiezuinige woningen. Per gevalstudie worden enkele financiële parameters onderzocht zoals de verdisconteerde terugverdientijd, de Netto Contante Waarde en de interne opbrengstvoet.

Overeenkomstig de wetenschappelijke literatuur tonen de resultaten van het onderzoek aan dat een passiefhuis veel duurder is dan een lage-energiewoning. Aan een passiefhuis zijn op het gebied van investeringen extra kosten verbonden die voornamelijk betrekking hebben op de doorgedreven isolatie, de ventilatie, de driedubbele beglazing met speciaal schrijnwerk en de investering in een luchtdichte woning. In deze eindverhandeling werd hierbij de vraag gesteld of de vermeden investering in een verwarmingssysteem en de jaarlijks gerealiseerde energiebesparing de initiële meerkost van het passiefhuis kunnen dekken.

Uit de resultaten van de economische evaluatie kunnen een aantal opmerkelijke vaststellingen gedaan worden. Indien een passiefhuis vergeleken wordt met een lage-energiegebouw kan besloten worden dat deze laatste zich bij constante energieprijzen gemiddeld 5 jaar sneller terugverdient dan het passiefhuis. De terugverdientijden van de lage-energiewoning en het passiefhuis liggen zeer dicht bij elkaar aangezien het onderzoek gebruik maakt van slechts 4 case studies. Indien er een grotere steekproef in beschouwing wordt genomen zoals Audenaert et al. (2008) doen in hun studie, kan er een groter verschil waargenomen worden. Zo blijkt uit de resultaten van hun studie dat

de lage-energiewoning een terugverdientijd heeft die 17 jaar korter is dan deze van het passiefhuis.

Vanwege onzekerheden in verband met de lange termijnevolutie van de energieprijzen, diende er eveneens een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd te worden waarbij verschillende energiescenario's onderzocht worden. Ook Audenaert et al. (2008) onderzochten de invloed van de evolutie van de energieprijzen op de terugverdientijd. Hieruit concludeerden zij dat de terugverdientijd van lage-energiegebouwen steeds korter is dan die van passiefhuizen. De resultaten van het empirisch onderzoek bevestigen deze stelling en tonen aan dat de verdisconteerde terugverdientijd daalt bij een groei in de energieprijzen. Indien men de bevindingen van het empirisch onderzoek vergelijkt met deze van Audenaert et al. (2008), kan men vaststellen dat de resultaten van beide studies enigszins verschillen. Het empirisch onderzoek beweert dat bij een energieprijsstijging van 20% het passief kantoorgebouw een terugverdientijd heeft van 17,3 jaar in vergelijking tot een standaardgebouw, terwijl een lage-energiegebouw een terugverdientijd realiseert van 11,1 jaar. De gevoeligheidsanalyse van Audenaert et al. beschouwt een kortere terugverdientijd van 12 jaar, respectievelijk 7 jaar. Een mogelijke reden voor deze verschillen zou de beperkte steekproef van dit onderzoek kunnen zijn in vergelijking tot de studie van Audenaert et al. (2008). Deze laatste maken in het onderzoek immers gebruik van 11 woningen terwijl dit onderzoek beperkt is tot de analyse van slechts 4 gebouwen. Bovendien kan de diversiteit van de onderzochte gebouwen eveneens als een reden onderscheiden worden. De gebouwen van deze studie zijn sterk verschillend qua grootte, constructie en materiaalkeuze. Audenaert et al. (2008) daarentegen bestudeerden 11 identieke woningen, waarbij alleen de materiaalkeuze kon verschillen van het ene gebouwen tot het andere. Bij een energieprijsstijging van 10% zijn de resultaten van beide studies echter gelijklopend. De economische evaluatie realiseert namelijk een terugverdientijd van 18,1 jaar, respectievelijk 12 jaar. Audenaert et al. komen op een terugverdientijd van 18 jaar voor passiefhuizen en 10 jaar voor lage-energiegebouwen.

De gevoeligheidsanalyse maakte ook gebruik van verschillende discontovoeten, gebaseerd op de langetermijnrente van de periode 1990 tot 2009. Op de website van de Nationale Bank van België blijkt dat de huidige langetermijn rentevoet van 10 jaar 3,68%

bedraagt. Indien er geen rekening wordt gehouden met de ontvangen financiële steunmaatregelen zijn bij deze rentevoet zowel het passiefhuis als de lage-energiewoning economisch niet rendabel of slechts rendabel na zeer lange termijn. Indien de financiële analyse inclusief premies beschouwd wordt, renderen beide vormen van duurzaam bouwen altijd ongeacht de evolutie van de energieprijzen. De resultaten tonen aan dat lage-energiegebouwen steeds een hogere interne opbrengstvoet realiseren dan passiefhuizen. De reden hiervoor is dat de initiële investering van een lage-energiegebouw lager is dan die van een passiefhuis. Ook het feit dat de meerkosten van het passiefhuis blijkbaar niet snel genoeg terugverdiend worden, kan hiervoor als reden beschouwd worden. Bijgevolg kan een lage-energiegebouw een groter aantal positieve NCW-scenario's verwezenlijken dan een passiefhuis, waardoor een grotere interne opbrengstvoet bereikt wordt. Er dient echter opgemerkt te worden dat de veronderstelde huidige rentevoet van 3,68% zeer laag is. Indien deze discontovoet in de toekomst toeneemt, zal de rendabiliteit van passiefhuizen in het gedrang komen. De ontvangen premies en de jaarlijkse energiebesparingen zullen dan niet meer voldoende zijn om de initiële investeringskosten te dekken.

Bij de economische evaluatie werd er telkens een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd waarbij de financiële steunmaatregelen buiten beschouwing werden gelaten en vervolgens één inclusief de ontvangen premies. De bedoeling hiervan is om de rendabiliteit van energiezuinige gebouwen te onderzoeken en hierbij na te gaan welk aandeel de ontvangen subsidies hierin hebben. Logischerwijze kan worden vastgesteld dat de opname van de financiële steunmaatregelen voor zowel de lage-energiewoning als het passiefhuis een veel gunstigere impact uitoefent op de uitkomsten van de economische analyse. Dit komt omdat deze de initiële meerinvestering reduceren, waardoor de jaarlijkse energiebesparing tegen een kleinere meerkost wordt afgewogen. Hierdoor wordt de terugverdientijd gemiddeld met 14 jaar gereduceerd. De vermindering in terugverdientijd is het grootst bij lage-energiekantoorgebouwen en het kleinst bij particuliere passiefhuizen. Wanneer de NCW beschouwd wordt, kan worden vastgesteld dat lage-energiegebouwen steeds meer positieve scenario's creëren dan passiefhuizen.

Er kan dus besloten worden dat lage-energiegebouwen tot een gunstiger resultaat leiden dan passiefhuizen vanuit economisch perspectief. De meerkosten van het passiefhuis zijn

te groot in vergelijking met de besparingen op de energiekosten, wanneer dit vergeleken wordt met lage-energiegebouwen. Indien men toch wil dat er meer gebouwen komen volgens de passiefhuisstandaard, zal de overheid moeten ingrijpen. De overheid zou de ontwikkeling van duurzame bouwconcepten en het gebruik van hernieuwbare energiebronnen moeten stimuleren aan de hand van extra subsidies. Indien de overheid de subsidies met 10 tot 20% verhoogt, zal de rendabiliteit van passiefhuizen toenemen. Er kan ook geopteerd worden om de subsidies proportioneel verhogen naarmate de discontovoet stijgt. Ook Chlela et al. (2009) adviseren dat de overheid als taak heeft om nieuwe passieve bouwconstructies en de renovatie van bestaande gebouwen te promoten zodat deze zouden voldoen aan de lage-energiecriteria.

Tot slot maakt de studie een onderscheid tussen kantoorgebouwen en particuliere woningen, waarbij de volgende vaststellingen kunnen gedaan worden. Uit de financiële analyse exclusief premies blijkt dat de verdisconteerde terugverdientijd ten opzichte van een standaardgebouw groter is bij kantoorgebouwen. Toch blijkt dat particuliere woningen een langere terugverdientijd verwezenlijken dan kantoorgebouwen indien de financiële steunmaatregelen wel in beschouwing worden genomen. De reden voor deze vaststelling is dat kantoorgebouwen te maken hebben met immense investeringsuitgaven. Indien het gebouw niet gesubsidieerd wordt, wegen de jaarlijkse energiebesparingen hier niet tegen op, waardoor de terugverdientijd zeer lang is. Het opnemen van de premies heeft tot gevolg dat de meerinvestering fors daalt, waardoor de gerealiseerde energiebesparingen deze wel kunnen dekken. Particuliere woningen realiseren dan een langere terugverdientijd omdat zij jaarlijks minder energie kunnen besparen dan kantoorgebouwen.

6 Conclusie

Het doel van deze masterproef is na te gaan of duurzaam bouwen een goede strategie kan zijn voor de problematiek van de klimaatverandering en het enorme energieverbruik door de gebouwde omgeving. Voor de uitwerking van deze eindverhandeling vond in eerste instantie een theoriegericht onderzoek plaats. Aan de hand van een grondige literatuurstudie werd getracht het onderwerp duurzaam bouwen te onderzoeken. Concreet werd er hierbij een onderscheid gemaakt tussen een aantal vormen van duurzaam bouwen. Zo werd het passiefhuis en de lage-energiewoning vergeleken met een conventionele woning op verscheidene vlakken. Vervolgens werd er overgegaan tot een eigen empirisch onderzoek waarbij de economische rendabiliteit, energetische efficiëntie en leefbaarheid van energiezuinige woningen werd bepaald. Hierbij werden enkele zorgvuldig gekozen case studies in verband met passiefhuizen en lage-energiewoningen met elkaar vergeleken. Tot slot volgde er een discussie waarbij de resultaten van het empirisch onderzoek besproken, geïnterpreteerd en getoetst werden tegen de visies van de wetenschappelijke literatuur.

Met behulp van een diepgaande literatuurstudie werd in eerste instantie een overzicht gegeven van **verschillende vormen van het concept duurzaam bouwen**. Hierbij werd een onderscheid gemaakt tussen de conventionele woning, de lage-energiewoning en het passiefhuis. Een **conventionele woning** is een woning gebouwd volgens de gangbare praktijk van een specifiek land in een bepaalde periode die voldoet aan de Energie-Prestatie-Besluit-eisen. Deze EPB-eisen vloeien voort uit de Kyoto-overeenkomsten en hebben betrekking op de energieprestaties en het binnenklimaat van de woning. De tweede vorm van duurzaam bouwen, meer bepaald de **lage-energiewoning**, is een woning gebouwd volgens bijzondere ontwerpcriteria gericht op het reduceren van het energieverbruik van de woning. Onder deze bijzondere ontwerpcriteria verstaat men een bovengemiddelde isolatie van de volledige buitenschil, een goede luchtdichtheid en een energiezuinige ventilatie. Tot slot kan ook het **passiefhuis** als een vorm van duurzaam bouwen onderscheiden worden. Dit is een verfijning van de lage-energiewoning die gekenmerkt wordt door een comfortabel

binnenklimaat in zowel de winter als de zomer. Het passiefhuis wordt verwarmd met behulp van hygiënische ventilatielucht zodat er geen behoefte meer is aan een traditioneel verwarmings- of koelsysteem. Het basisidee van het passiefhuis is dat men enerzijds moet proberen om in de winter de warmtewinsten te maximaliseren en anderzijds de warmteverliezen te minimaliseren. Deze stelling komt tot uiting in zes basisprincipes waarop het passiefhuis gebaseerd is. De eerste vier principes (maximale isolatie, luchtdichtheid, passieve warmtewinsten en ventilatie met warmteterugwinning) zijn cruciaal voor het passiefhuisconcept. Om de gevolgen voor het milieu verder te reduceren zijn echter nog twee bijkomende principes nodig, namelijk elektrische efficiëntie en hernieuwbare energiebronnen.

Vervolgens werden de **verschillende constructiestandaarden van energiezuinig bouwen met elkaar vergeleken** en werd er nagegaan wat de bestaande wetenschappelijke literatuur schrijft over duurzaam bouwen. De wetenschappelijke literatuur bevat talrijke **voorstanders** van het passiefhuisconcept die de rendabiliteit van passiefhuizen benadrukken. Hiertegenover bevat de wetenschappelijke literatuur eveneens **tegenstanders** welke de efficiëntie van passiefhuizen juist betwisten. Zij concluderen dat de meerkosten van het passiefhuis niet in verhouding zijn tot de besparingen op de energiekosten, wanneer dit vergeleken wordt met lage-energiewoningen. Zij zijn van mening dat de lage-energiewoning tot een gunstiger resultaat zal leiden dan het passiefhuis. Omdat de wetenschappelijke literatuur in verband met duurzaam bouwen **dubbelzinnig** is, leek het daarom van belang om deze problematiek grondiger te onderzoeken aan de hand van case studies.

Het empirisch onderzoek bestaat uit een vergelijking van 4 zorgvuldig uitgekozen case studies met betrekking tot passiefhuizen en lage-energiegebouwen, waarvan de economische haalbaarheid werd bepaald. Hierbij werden zowel particuliere woningen als kantoorgebouwen in beschouwing genomen. Concreet werd er per case study een comfort-, energetische en economische evaluatie uitgevoerd.

De **comfortevaluatie** werd uitgevoerd om een idee te hebben van de leefbaarheid en de luchtkwaliteit in een energiezuinige woning. Uit het empirisch onderzoek blijkt dat passiefhuizen zowel tijdens de winter als de zomer gekenmerkt worden door een goed

thermisch comfort. Vooral de doorgedreven isolatie, de goede luchtdichtheid en de efficiënte ventilatiewerking dragen hiertoe bij. Hiertegenover blijkt dat er bij lage-energiewoningen geen constant binnenklimaat op de gewenste temperatuur gewaarborgd kan worden en dat bijkomende verwarming noodzakelijk is. Op deze manier realiseert de lage-energiewoning eveneens de gewenste binnentemperatuur. Deze vorm van duurzaam bouwen loopt echter wel een verhoogd risico van zomerse oververhitting. Bijkomende passieve maatregelen zijn hiervoor aangewezen. In verband met de binnenluchtkwaliteit is er weinig gerapporteerd in de wetenschappelijke literatuur. Ook het empirisch onderzoek bevat beperkte resultaten hieromtrent, waardoor er geen algemene vaststellingen kunnen gedaan worden.

Vervolgens bevatte het empirisch onderzoek een **energetische evaluatie** waarbij de jaarlijkse energiebesparing en de CO₂-reductie geëxploreerd werden. De resultaten van het onderzoek tonen aan dat passiefhuizen en lage-energiewoningen meer energie-efficiënt zijn dan conventionele woningen. Er kan met andere woorden een significante vermindering in de energievraag bereikt worden door het bevorderen van duurzame gebouwen. Verder kan men concluderen dat passiefhuizen een grotere jaarlijkse energiebesparing kunnen realiseren dan lage-energiewoningen. Concreet kan de energiebesparing bij het passiefhuis oplopen tot 90%, terwijl deze bij lage-energiegebouwen slechts 30% bedraagt in vergelijking met een standaardgebouw. Hierbijkomend leidt de bouw van meer duurzame gebouwen rechtstreeks tot een reductie van de CO₂-emissies in de atmosfeer, waarbij het passiefhuis het grootste aandeel vertegenwoordigt.

Tot slot werd er een **economische evaluatie** uitgevoerd waarbij de financiële rendabiliteit van energiezuinige woningen werd nagegaan. Hierbij wordt geconcludeerd dat het passiefhuis veel duurder is dan een lage-energiewoning. De doorgedreven isolatie, de ventilatie, de driedubbele beglazing met speciaal schrijnwerk en de investering in een luchtdichte woning vormen de voornaamste meerkosten van het passiefhuis. Hierbijkomend tonen de resultaten aan dat de financiële steunmaatregelen een aanzienlijk aandeel innemen in de economische rendabiliteit van duurzame gebouwen. Dit komt omdat deze de initiële meerinvestering reduceren, waardoor de jaarlijkse energiebesparing tegen een kleinere meerkost wordt afgewogen. Uit het

empirisch onderzoek kan men vervolgens concluderen dat de lage-energiewoning beduidend beter scoort op de beschouwde parameters, namelijk de Netto Contante Waarde, de verdisconteerde terugverdientijd en de interne opbrengstvoet. Lage-energiegebouwen leiden op het gebied van de economische analyse tot een gunstiger resultaat dan passiefhuizen. Bijgevolg zijn de meerkosten van het passiefhuis niet in verhouding tot de besparingen op de energiekosten, wanneer dit vergeleken wordt met lage-energiewoningen. Indien men toch wil dat er meer passiefhuizen komen, zal de overheid moeten ingrijpen. De overheid zou de ontwikkeling van duurzame bouwconcepten en het gebruik van hernieuwbare energiebronnen moeten stimuleren aan de hand van extra subsidies. Indien de overheid de subsidies met 10 tot 20% verhoogt, zal de rendabiliteit van passiefhuizen toenemen. Er kan ook geopteerd worden om de subsidies proportioneel te verhogen naarmate de discontovoet stijgt. Tot slot kan vastgesteld worden dat kantoorgebouwen betere financiële resultaten opleveren dan particuliere eengezinswoningen. De reden hiervoor is dat kantoorgebouwen een grotere energiebesparing realiseren die de aanzienlijke meerinvestering reduceert tot een bedrag kleiner dan dat van een particuliere woning.

Ter afsluiting van dit werk kunnen er een aantal **conclusies** getrokken worden. Deze eindverhandeling ging van start met het probleem van de klimaatverandering. Er werd gesteld dat de verwarming van gebouwen hierop een aanzienlijk effect had. Het onderzoek toont aan dat het van fundamenteel belang is om voldoende aandacht te besteden aan het concept 'duurzaam bouwen'. Deze strategie leidt immers tot een reductie van het energieverbruik van de gebouwde omgeving en kan bijgevolg een kleine bijdrage leveren aan de klimaatproblematiek. Bovendien zullen de conventionele bouwtechnieken op termijn plaats moeten ruimen voor de toepassing van duurzame bouwprincipes. Indien er een onderscheid wordt gemaakt tussen de verschillende vormen van duurzaam bouwen kan geconcludeerd worden dat passiefhuizen en lage-energiewoningen energiezuiniger zijn dan conventionele woningen. Als er op een efficiënte manier gebruik gemaakt wordt van duurzame bouwtechnieken, leidt dit rechtstreeks tot een vermindering van het energieverbruik. Aangezien het merendeel van het Belgische woningbestand bestaat uit conventionele gebouwen, zou de bouw van meer lage-energiewoningen al een hele vooruitgang zijn. Hoewel er met deze vorm van duurzaam bouwen jaarlijks minder energie bespaard wordt dan met het passiefhuis, kan

er toch een aanzienlijke energiebesparing van ongeveer 30% ten opzichte van een standaardgebouw gerealiseerd worden. Bovendien behaalt de lage-energiewoning ongeveer eenzelfde CO₂-reductie als het passiefhuis. Op het gebied van leefbaarheid kan de lage-energiewoning eveneens een comfortabel binnenklimaat realiseren, mits de nodige bijverwarming van de woning. Het risico op zomerse oververhitting kan vermeden worden door het treffen van bijkomende passieve maatregelen zoals het plaatsen van een verwijderbare buitenzonwering langs de zuidzijde van de woning. Tot slot leidt deze vorm van duurzaam bouwen vanuit economisch perspectief tot het meest gunstige resultaat. Aangezien het passiefhuis veel duurder is dan de lage-energiewoning, lijkt het verstandiger om deze laatste strategie aan te moedigen. Indien de overheid toch een globale doorbraak van passiefhuizen wil verwezenlijken, zal ze haar financiële tegemoetkoming moeten herzien. Concreet dient ze de ontwikkeling van duurzame bouwconcepten en het gebruik van hernieuwbare energiebronnen te stimuleren aan de hand van extra subsidies. Zo zal de rendabiliteit van passiefhuizen toenemen.

Deze eindverhandeling levert een bijdrage aan de bestaande wetenschappelijke literatuur aangezien dit werk de problematiek van de klimaatverandering koppelt aan het concept 'duurzaam bouwen' met behulp van een casuïstieke benadering. Er wordt specifiek onderzoek verricht aan de hand van enkele praktijkvoorbeelden, waarbij men het voordeel heeft om de praktijk te vergelijken met de bestaande literatuur. Hierbij kan ook rekening gehouden worden met de ervaringen van de bewoners. Dit werk vormt een kritische beschouwing van het concept 'duurzaam bouwen', aangezien het de bedoeling was om na te gaan of dit wel een goede strategie kan zijn ter oplossing van de klimaatproblematiek.

Toch kunnen er nog enkele **aanbevelingen** gedaan worden voor verder onderzoek. Deze eindverhandeling onderscheidt drie vormen van duurzaam bouwen namelijk de conventionele woning, de lage-energiewoning en het passiefhuis. Het zou misschien ook interessant kunnen zijn om het concept van de zelfvoorzienende zonnwoning te onderzoeken en hierop een kosten-batenanalyse toe te passen. Deze vorm van duurzaam bouwen vereist echter geen energielevering aan de woning (geen brandstof, geen elektriciteit) omdat alle benodigde energie lokaal geproduceerd wordt door de exploitatie van hernieuwbare energiebronnen. Wellicht biedt dit duurzaam bouwconcept een

gunstiger financieel resultaat dan het passiefhuis. Bovendien lijkt het interessant om ook de rendabiliteit van de aanwezige bouwtechnische toepassingen en installaties afzonderlijk te berekenen. Hierbij kan nader bekeken worden welke investeringen vooral interessant zijn en welke niet. Omwille van de beperkte resultaten in deze studie met betrekking tot de binnenluchtkwaliteit van een energiezuinige woning en de schaarse wetenschappelijke literatuur hieromtrent, kan verder onderzoek hierover aanbevolen worden. Er zouden meer gegevens over de binnenluchtkwaliteit van duurzame gebouwen gerapporteerd moeten worden, aangezien hieromtrent weinig informatie ter beschikking is. Tot slot kan nog onderzocht worden hoe het beleid van onze buurlanden staat tegenover duurzaam bouwen. Concreet dient men na te gaan welke beleidsmaatregelen de Belgische overheid ter beschikking stelt om energiezuinig bouwen te stimuleren en in welke mate deze verschillen van de beleidsmaatregelen van onze buurlanden. Hiervoor kan een beleidsanalyse uitgevoerd worden waarbij men een vergelijking maakt van de beleidsmaatregelen tussen verschillende landen.

7 Lijst van geraadpleegde werken

Achten, K., De Coninck, R., Verbeeck, G., Van der Veken, J. (2009). *Analyzing the economic feasibility of permutations of energysaving measures with batch simulations and pareto optimization*. Brussel.

Adaptatie Ruimte & Klimaat (2007). *Maak ruimte voor klimaat: nationale adaptatiestrategie*. Opgevraagd op 02/10/2009, via <http://www.maakruimtevoorklimaat.nl>.

Audenaert, A., De Cleyn, S.H., & Vankerckhove, B. (2008). Economic analysis of passive houses and low-energy houses compared with standard houses. *Energy Policy, Vol. 36 Issue: Number 1*, p47-55.

Badescu, V., Sicre, B. (2003). Renewable energy for passive house heating: Part I building description. *Energy and Buildings, Vol. 35 Issue: Number 11*, p1077-1084.

Boon, G. J., Hoogland, G. J., & Looze, M. (2004). *Eindrapportage onderzoek financieel rendement duurzaam bouwen*. Rotterdam: Nationaal Dubocentrum.

Boonstra, C., Clocquet, R. & Joosten, L. (2007). *Passiefhuizen in Nederland*. Boxtel: Aeneas.

Bostoën (2009a). *Beneden alle peil*. Opgevraagd op 3/11/2009, via <http://www.bostoën.be>.

Bostoën (2009b). *Passie voor passief*. Opgevraagd op 14/02/2010, via <http://www.bostoën.be>.

Bouwteamwoning (2009). *Bouwteamwoning: duurder of goedkoper?*. Opgevraagd op 01/02/2010, via <http://www.bouwteamwoning.be>.

Bouwunie-Duurzaam Bouwen (2009). *Maximaal toelaatbare U-waarden of minimaal te realiseren R-waarden*. Opgevraagd op 27/11/2009, via <http://www.bouwunie-duurzaambouwen.be>.

Cenergie (2009). *Projectfiche: SD Worx Kortrijk*. Opgevraagd op 15/03/2010, via <http://www.cenergie.be>.

Centrum Duurzaam Bouwen (2009). *Bouwen voor aan de toekomst, 21 duurzame tips voor de 21ste eeuw*. Heusden-Zolder: Centrum Duurzaam Bouwen.

CEPHEUS (2006). *Cost Efficient Passive Houses as European Standards*. Opgevraagd op 18/02/2010, via <http://www.cepheus.de>.

Chlela, F., Husaunndee, A., Inard, C., & Riederer, P. (2009). A new methodology for the design of low energy buildings. *Energy and Buildings, Vol. 41 Issue: Number 9*, p982-990.

Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas (CREG, 2010). *Vervoerstarieven elektriciteit*. Opgevraagd op 28/03/2010, via <http://www.creg.be>.

Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas (CREG, 2010). *Vervoerstarieven gas*. Opgevraagd op 28/03/2010, via <http://www.creg.be>.

Dascalaki & Santamouris (2002). Passive retrofitting of office buildings to improve their energy performance and indoor environment: the OFFICE project. *Building and Environment, Vol. 37 Issue: Number 6*, p575-578.

Devogelaer, D., Gusbin, D. (2006). *Long term energy and emissions' projections for Belgium with the PRIMES mode*. Brussel: Belgian Federal Planning Bureau.

De Coninck, R., Verbeeck, G. (2005). *Technisch-economische analyse van de rendabiliteit van energiebesparende investeringen*. Brussel: Brussels Instituut voor Milieubeheer.

De Groof, D. (2009). *De energieprestatieregelgeving*. Opgevraagd op 18/11/2009, via <http://www.dirkdegroof.be/epb.html>.

Dialoog vzw (2009). *Duurzaam bouwen en wonen*. Opgevraagd op 10/02/2010, via <http://www.dialoog.be>.

Feist, W. (1996). Life-cycle energy balances compared: low-energy house, passiv house, self-sufficient house. *Proceedings of the International Symposium of CIB W67*, p 183-190.

Feist, W. (2006). *15th Anniversary of the Darmstadt - Kranichstein Passive House*. Opgevraagd op 02/02/2010, via <http://www.passivhaustagung.de>.

Feist, W., Adamson, B. (2001). *Final Technical Report of CEPHEUS – Cost Efficient Passive Houses as European Standards*. Darmstadt: Passivhaus Institut.

Gram-Hanssen, K., & Jensen, J.O. (2009). Approaches to the design of sustainable housing with low CO2 emission in Denmark. *Renewable energy, Vol. 34 Issue: Number 9*, p2007-2015.

Habitos (2009). *Welk glas hoort in een passiefhuis?*. Opgevraagd op 10/02/2010, via <http://www.habitos.be>.

Hermelink, A., Schnieders, J. (2006). CEPHEUS results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building. *Energy policy, Vol. 34 Issue: Number 2*, p151-171.

Hestnes, A.G., Kofoed, N.U. (2002). Effective retrofitting scenarios for energy efficiency and comfort: results of the design and evaluation activities within the OFFICE project. *Building and Environment, Vol. 37 Issue: Number 6*, p569-574.

Hestnes, A.G., Sartori, I. (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article. *Energy and Buildings*, Vol. 39 Issue: Number 3, p249–257.

Heudorf, U. (2007). Passive-House Schools – A Tool for Improving Indoor Air Quality in Schools? *Das Gesundheitswesen*, Vol. 69 Issue: Number 7, p408-414.

Hilderson, W., Mlecnik, E. (2008). *Innovative solutions in passive house details*. Dublin: 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for Policymakers, Climate Change 2007: Synthesis report*. Genève: Intergovernmental Panel on Climate Change.

IVEG (2005). *De vrije energiemarkt: wat, wie en hoe?*. Hoboken: IVEG.

Koninklijk Meteorologisch Instituut (2009). *Oog voor het klimaat*. Opgevraagd op 01/10/2009, via <http://www.meteo.be>.

LEHR (2009). *Renovatie van woningen naar lage energiebehoefte*. Opgevraagd op 30/03/2010, via <http://www.lehr.be>.

Livos (2009a). *EPB-Het wettelijk minimum*. Opgevraagd op 01/02/2010, via <http://www.livos.be>.

Livos (2009b). *De lage-energiewoning*. Opgevraagd op 01/02/2010, via <http://www.livos.be>.

Livos (2009c). *Energiepremies*. Opgevraagd op 01/02/2010, via <http://www.livos.be>.

Mercken, R. (2004). *De investeringsbeslissing: een beleidsgerichte analyse*. Antwerpen-Apeldoorn: Garant.

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (2006). *Praktische gids voor als u binnenkort gaat bouwen of verbouwen*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie.

Moschandreas, D., & Nuanual, R. (2008). Do certified sustainable buildings perform better than similar conventional buildings?. *International Journal of Environment and Sustainable Development, Vol. 7 Issue: Number 3*, p276-292.

Nationale Bank van België (2010). *Belgostat: rentetarieven*. Opgevraagd op 16/02/2010, via <http://www.bnb.be>.

Nationale Klimaatcommissie (2007). *Broeikasgasemissies in België 2007: Trends, prognoses en vorderingen ten opzichte van de Kyoto-doelstelling*. Brussel: Nationale Klimaatcommissie.

OECD (2005). Environmentally Sustainable Buildings Challenges and Policies. *Environment & Sustainable Development, Vol. 2003 Issue: Number 3*, p1-194.

Organisatie voor Duurzame Energie (2005a). *Ventileren: comfort winnen en energie besparen*. Enschede: ODE-Vlaanderen.

Organisatie voor Duurzame Energie (2005b). *Zonneboilers: warm water met de zon*. Enschede: ODE-Vlaanderen.

Organisatie voor Duurzame Energie (2005c). *Fotovoltaïsche zonne-energie: elektriciteit uit de zon*. Enschede: ODE-Vlaanderen.

Organisatie voor Duurzame Energie (2005d). *Warmtepompen: de natuur als bron van verwarming*. Enschede: ODE-Vlaanderen.

Organisatie voor Duurzame Energie (2007). *Duurzame energie: Wegwijzer 2007*. Enschede: ODE-Vlaanderen.

Passiefhuis-Platform vzw (2009). *Wat is een passiefhuis?*. Opgevraagd op 17/02/2010, via <http://www.passiefhuisplatform.be>.

Passivhaus Institut (2008). *Das Passivhaus*. Opgevraagd op 02/02/2010, via <http://www.passiv.de>.

Tirez, A. (2007). *Ethische aspecten van klimaatverandering*. Opgevraagd op 16/02/2010, via <http://www.liberales.be/columns/tirezklimaat>.

UNEP/GRID-Arendal (2005). *Past and future CO2 concentrations*. Opgevraagd op 01/10/2009, via http://maps.grida.no/go/graphic/past_and_future_co2_concentrations.

UNFCCC (z.d.). *Kyoto Protocol, negotiating the Protocol*. Opgevraagd op 02/10/2009, via http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php.

Van Hal, A. (2006). *Praktische prikkels, een voorstel ter vergroting van de rentabiliteit van duurzaam bouwen*. Utrecht: SenterNovem.

Van Hal, A. (2007). A labeling system as stepping stone for incentives related to the profitability of sustainable housing. *House and the built environment, Vol. 22*, p393-408.

Vlaams Overleg Duurzame Ontwikkeling (2008). *Het klimaat is de kluts kwijt*. Brussel: Vlaams Overleg Duurzame Ontwikkeling.

Vlaamse Confederatie Bouw (2005). *Duurzaam wonen voor alle Vlamingen, Vlaams woonbeleid 1980-2020 (jaar- en studierapport 2004-2005)*. Brussel: Vlaamse Confederatie Bouw.

Vlaamse Energieagentschap (2010). *Subsidies*. Opgevraagd op 30/03/2010, via <http://www.energiesparen.be>.

Vaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (2004). *ANRE-demonstratieproject: Energiezuinig kantoorgebouw met horizontale grondbuizen en regeneratieve warmtewisselaar bij kantoorgebouw SD Worx, Kortrijk*. Brussel: Vaamse Instelling Voor Technologisch Onderzoek.

Vaamse Instelling Voor Technologisch Onderzoek (2005). *ANRE-demonstratieproject: Eco-Bedrijfsgebouw met doorgedreven energiezuinige bouwtechnieken en installaties en een windturbine voor de elektriciteitsproductie bij Oxfam Wereldwinkels, Gent*. Brussel: Vaamse Instelling Voor Technologisch Onderzoek.

Vlaamse Milieumaatschappij (2008a). *MIRA: Milieurapport Vlaanderen: woordenboek*. Opgevraagd op 24/09/2009, via <http://www.milieurapport.be/nl/Tools/woordenboek>.

Vlaamse Milieumaatschappij (2008b). *MIRA-T 2008: Milieurapport Vlaanderen: indicatorrapport*. Heverlee-Leuven: LannooCampus.

Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG, 2009). *Rapport met betrekking tot de evolutie van de elektriciteits- en aardgasprijzen op de markt voor huishoudelijke en kleine afnemers*. Brussel: Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt.

Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG, 2010). *Doe de V-test!*. Opgevraagd op 28/03/2010, via <http://www.vreg.be>.

Watson, A., Chen, Q., Du, Y., Rempel, A.A., Schuster, J.C., Spencer, P.J., & Yokokawa, H. (2001). The Modelling of Carbide, Nitride and Carbo-Nitride Phases. *International Journal of Materials Research, Vol. 92 Issue: Number 6*, p550-559.

World Meteorological Organization (1979). *Conference mondiale sur le climat: Conference d'experts sur le climat et l'homme*. Genève : World Meteorological Organization.

8 Bijlagen

Bijlage 1: De maximale U-waarden of de minimale R-waarden

Constructiedeel			U _{max} (W/m ² K)	R _{min} (m ² K/W)
1. SCHEIDINGSCONSTRUCTIES DIE HET BESCHERMDE VOLUME OMHULLEN, met uitzondering van de scheidingsconstructies die de scheiding vormen met een aanpalend beschermd volume				
1.1.	TRANSPARANTE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3), gordijngelvels (zie 1.4) en glasbouwstenen (zie 1.5)		2,5 en Ug,max = 1,6	
1.2.	OPAKE CONSTRUCTIES, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3) en gordijngelvels (zie 1.4)			
	1.2.1.	daken en plafonds	0,4	
	1.2.2.	muren niet in contact met de grond, met uitzondering van de muren bedoeld in 1.2.4.	0,6	
	1.2.3.	muren in contact met de grond		1,0
	1.2.4.	verticale en hellende scheidingsconstructies in contact met een kruipruimte of met een kelder buiten het beschermd volume		1,0
	1.2.5.	vloeren in contact met de buitenomgeving	0,6	
	1.2.6.	andere vloeren (vloeren op volle	0,4 of 1,0	

			grond, boven een kruipruimte of boven een kelder buiten het beschermde volume, ingegraven keldervloeren)	
	1.3.	DEUREN EN POORTEN (met inbegrip van kader)	2,9	
	1.4.	GORDIJNGEVELS (volgens prEN 13947)	2,9 en Ug,max = 1,6	
	1.5.	GLASBOUWSTENEN	3,5	
2. SCHEIDINGSCONSTRUCTIES TUSSEN TWEE BESCHERMDE VOLUMES (6) OP AANGRENZENDE PERCELEN (7)			1,0	
3. VOLGENDE OPAKE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES BINNEN HET BESCHERMDE VOLUME OF PALEND AAN EEN BESTAAND BESCHERMD VOLUME OP EIGEN PERCEEL, met uitzondering van deuren en poorten (8)				
	3.1.	TUSSEN APARTE WOONEENHEDEN	1,0	
	3.2.	TUSSEN WOONEENHEDEN EN GEMEENSCHAPPELIJKE RUITEN (trappenhuis, inkomhal, gangen, ...)		
	3.3.	TUSSEN WOONEENHEDEN EN RUITEN MET EEN NIET-RESIDENTIËLE BESTEMMING		
	3.4.	TUSSEN RUITEN MET EEN INDUSTRIËLE BESTEMMING EN RUITEN MET EEN NIET-RESIDENTIËLE BESTEMMING		
<p>Ten hoogste 2 % van de totale oppervlakte van alle scheidingsconstructies die het beschermde volume omhullen, zoals vermeld onder 1 tot en met 1.5, mag afwijken van deze eisen.</p>				

Bron: Bouwunie-duurzaam bouwen, 2009

Bijlage 2: Overzicht subsidies en fiscale voordelen 2010



1. Federaal niveau

10x € 830*/jaar fiscale aftrek personenbelasting voor een passiefhuis

De belastingvermindering wordt verleend gedurende 10 opeenvolgende belastbare tijdperken vanaf het belastbaar tijdperk waarin is vastgesteld dat de woning een passiefwoning is. Die vaststelling blijkt uit het passiefhuiscertificaat.

10x € 1660*/jaar fiscale aftrek personenbelasting voor een nulenergiewoning

Een nulenergiewoning is een woning die voldoet aan de voorwaarden van een passiefwoning en waarin de resterende energievraag voor ruimteverwarming en koeling volledig wordt gecompenseerd door ter plaatse opgewekte hernieuwbare energie.

Andere belastingvermindering en -krediet

De Federale Overheid biedt nog verschillende andere belastingsverminderingen en – kredieten aan die niet specifiek passiefhuis gerelateerd zijn, waaronder een fiscale aftrek voor een lage-energiewoning (≤ 30 kWh).

(*) geïndexeerd bedrag inkomstenjaar 2010 / aanslagjaar 2011

2. Gewestelijk niveau

• Vlaams Gewest

40% vermindering onroerende voorheffing gedurende 10 jaar voor zeer lage energiewoningen/passiefhuizen (op basis van E-peil, ten hoogste E40).

Verder is er nog de Vlaamse dakisolatiepremie en de Vlaamse renovatiepremie.

● **Brussels Hoofdstedelijk Gewest**

Passieve Nieuwbouw (certificatie vereist)

€ 100/m² tot max. 150 m²

€ 50/m² voor het gedeelte > 150 m²

Passieve Renovaties (certificatie vereist)

€ 150/m² tot max. 150 m²

€ 75/m² voor het gedeelte > 150 m²

Financiering van de eerste blowerdoortest

Verder zijn er nog premies voor lage (max. 60 kWh) tot zeer lage (≤ 30 kWh) energierenovaties, alsook premies voor verschillende andere energiebesparende maatregelen.

● **Waals Gewest**

€ 6.500 voor een passieve ééngezinswoning

3. Gemeentelijk niveau

Balen

€ 1.000 voor bouwen van passiefhuis (cf. subsidiereglement voor 2008)

Beveren

€ 4000 tot € 8000 voor de bouw/verbouwing van een huis

€ 2000 tot € 4000 voor de bouw/verbouwing van een appartement

Voorwaarden:

- bouw van een huis of appartement max. E50 en K30
- verbouwing van een huis of appartement max. E70 en K45

Hoeilaart

€ 2.000 voor het bouwen van een passiefhuis. Ook de kosten voor het bekomen van een Passiefhuiscertificaat worden terugbetaald.

Mechelen

€ 2.500 voor een passieve ééngezinswoning (gecertificeerd passiefhuis)

Poperinge

€ 2500 voor een passieve woning of appartement met een energieprestatiepeil van maximaal E-30 en waarvan het isolatiepeil lager is dan K15

Sint-Truiden

25 % van de bewezen kosten voor een passieve ééngezinswoning met een maximum van € 9.000

25 % van de bewezen kosten voor een appartement, met een maximum van € 3.000 per appartement en € 9.000 per appartementsblok (min. 3 appartementen)

Turnhout

€ 6.000 voor bouwen of verbouwen tot passiefhuis (gecertificeerd passiefhuis)

€ 3.000 per appartement met maximaal 3 eenheden (max. € 9.000 per gebouw)

Waasmunster

€ 500 voor een passieve woning (gecertificeerd passiefhuis)

Wuustwezel

€ 1.250 voor een passieve woning (gecertificeerd passiefhuis)

Zulte

€ 1000 voor het bouwen of verbouwen volgens het passiefhuisprincipe

4. Premies netbeheerders

Premies voor nieuwbouw (op basis van E-peil):

- Tot € 3800 (€ 4100 met zonneboiler) voor een woning
 - o E80-E61: € 400 voor E80 en € 30 extra per E-peilpuntverbetering
 - o E60-E41: € 1000 voor E60 en € 40 extra per E-peilpuntverbetering
 - o E40-E0: € 1800 voor E40 en € 50 extra per E-peilpuntverbetering
 - o € 300 extra voor het plaatsen van een zonneboiler
- Tot € 2000 (€ 2300 met zonneboiler) voor een appartement

- o E80-E61: € 200 voor E80 en € 10 extra per E-peilpuntverbetering
- o E60-E41: € 400 voor E60 en € 20 extra per E-peilpuntverbetering
- o E40-E0: € 800 voor E40 en € 30 extra per E-peilpuntverbetering
- o € 300 extra voor het plaatsen van een zonneboiler

Premies voor verbouwing volgens de passiefhuisstandaard:

- o € 2000 voor verbouwen woning volgens de passiefhuisstandaard
- o € 700 voor verbouwen appartement volgens de passiefhuisstandaard

Bijlage 3: Interview Stefan Van Loon

Passive house 2009

Naam geïnterviewde: Stefan Van Loon (technisch adviseur van Passiefhuis Platform vzw)

Datum: 12 september 2009

Wat is een passiefhuis en wat zijn de belangrijkste voordelen van een passiefhuis?

Een passiefhuis is een specifieke manier van bouwen die erop gestoeld is dat je met de hygiënische ventilatielucht de woning kan verwarmen zodanig dat een traditioneel verwarmingssysteem overbodig wordt. Het budget dat men uitspaart door niet te investeren in centrale verwarming of een kachel, kan men gebruiken voor het plaatsen van een betere isolatie, betere beglazing of een betere ventilatie van de woning. De basisidee van het passiefhuis is dat men enerzijds moet proberen om in de winter de warmtewinsten zo groot mogelijk en anderzijds de warmteverliezen zo klein mogelijk te maken. Het passiefhuis is zo goed geïsoleerd dat er slechts een verwarmingsvermogen nodig is van ongeveer 10 W/m² in de slechtste periode van het jaar, dus bijvoorbeeld voor een woning van 150m² vloeroppervlakte wil dit zeggen dat er een vermogen nodig is van 1500W. Deze 10W/m² kan men gemakkelijk toeleveren via ventilatielucht, maar dit is uiteraard niet verplicht. Verwarming via een traditioneel verwarmingssysteem is eveneens mogelijk, maar dit is niet aan te raden. Voor passiefhuizen mag het geïnstalleerde vermogen de 10 W/m² nuttige gebruiksoppervlakte (warmtelast) niet overstijgen. Met een conventionele kachel in huis zal het dus gauw te warm worden.

Wat zijn de belangrijkste verschillen tussen een lage-energiewoning en een passiefhuis? Hoeveel energie kan een passiefhuis besparen in vergelijking met een lage-energiewoning en in vergelijking met een conventioneel huis?

Het probleem van een lage-energiewoning is dat er in de markt geen controle uitgeoefend wordt op het feit of het wel degelijk een lage-energiewoning is. Bovendien bestaat er geen consensus of een strikte definitie van een lage-energiewoning. In het algemeen

wordt een lage-energiewoning gekenmerkt door een isolatiepeil van rond de K30 en een E-peil van ongeveer E60. In vergelijking met de Vlaamse nieuwbouwwoning (K45 en E100) is dit al een hele vooruitgang. Bij een lage-energiewoning is er eveneens nog wel een verwarmingsinstallatie nodig. Waar de wettelijke norm voor de Vlaamse nieuwbouwwoning op K45 ligt, blijkt in de praktijk dat het K-peil van passiefhuizen varieert tussen K10 en K20.

Het passiefhuis is een verfijning van de lage-energie woning en maakt geen gebruik van een traditioneel verwarmings- of koelsysteem. Doordat een passiefhuis hiermee heel wat geld uitspaart, kan men dit budget aanwenden voor het plaatsen van een betere isolatie, betere beglazing en ventilatie,... Hiermee ligt het totale energieverbruik van een passiefhuis ongeveer 50% lager dan dat van een lage-energiewoning. Een vergelijking van het passiefhuis met een traditionele nieuwbouwwoning levert een energiebesparing op van gemiddeld 75% ten opzichte van de Vlaamse nieuwbouw. Ten opzichte van het bestaande Vlaamse woningbestand ligt het energieverbruik van het passiefhuis zelfs gemiddeld 85% lager. Een bijkomend kenmerk van het passiefhuis is dat in deze constructiestandaard altijd gebruik wordt gemaakt van een mechanisch ventilatiesysteem met warmteterugwinning. Dit waarborgt de optimale luchtkwaliteit van de woning en wordt in de lage-energiewoning zelden gebruikt.

De geïnterviewde maakt hierbij de kanttekening dat het K-peil en het E-peil afzonderlijk geen goede termen zijn om een woning te beoordelen. Zo kan men bijvoorbeeld een laag E-peil bekomen door gebruik te maken van een slechte isolatie maar door de plaatsing van fotovoltaïsche cellen en zonneboilerinstallatie. Dit is echter een foutieve werkwijze want men dient eerst te investeren in de gebouwschil en vervolgens pas in hernieuwbare energie. De U-waarde is een goed criterium om de gebouwschil te beoordelen omdat dit enerzijds de luchtdichtheid en de isolatiewaarde van het gebouw bevat en anderzijds een aanduiding geeft van de oriëntatie van het gebouw. Het K-peil daarentegen zegt niets over de luchtdichtheid en de oriëntatie van de woning.

Wat is tegenwoordig de tendens in het energiezuinig wonen in België? Gaat dit alleen maar over de plaatsing van een goede isolatie, ventilatiesystemen, het zorgen voor een goede oriëntatie van de woning,... of maakt men de laatste tijd ook al veel gebruik van innovatieve technieken zoals energieopslag, warmtepompen, zonnecellen,...?

In principe moet men eerst investeren in de gebouwschil en vervolgens pas in innovatieve technieken. Een gebouwschil gaat in België gemiddeld 70 tot 80 jaar mee. Innovatieve installatietechnieken daarentegen gaan gemiddeld maar 15 tot 30 jaar mee. Dus het is van groot belang om eerst in de gebouwschil grondig te investeren. Daarna kan men de gebouwschil eventueel nog verder 'upgraden' met behulp van innovatieve technieken. De innovatieve technieken hebben slechts een bepaald nut indien de woning voorzien is van een goed uitgewerkte gebouwschil.

Hoe kun je je huis beter ventileren?

Balansventilatie met warmterecuperatie is de meeste interessante techniek en dit vooral in de piekmomenten. Dit wil zeggen vooral in de winter als het buiten heel koud is en in de zomersituatie wanneer het zeer warm is. Bijvoorbeeld in de zomersituatie, wanneer het buiten warmer wordt dan binnen, dan is balansventilatie met warmterecuperatie een interessant systeem omdat dan de warmtewisselaar in tegengestelde richting gaat werken. De buitenlucht wordt dan afgekoeld vooraleer deze de woning binnen komt. Op deze piekmomenten bewijst balansventilatie optimaal zijn nut en kan geen enkel ander ventilatiesysteem hieraan tippen. De basisvoorwaarden hiervoor zijn uiteraard dat het systeem goed ontworpen en goed geïnstalleerd is. Men kan de balansventilatie-installatie een gans jaar laten doorwerken. Daartegenover staat dat vele mensen ervoor opteren om te ventileren met balansventilatie met warmterecuperatie in het stookseizoen. In de tussenseizoenen, wanneer er geen verwarming in de woning nodig is, kan men perfect met kipramen ventileren, indien deze strategisch goed geplaatst zijn zodanig dat er toch nog voldoende trek is doorheen de woning.

Waarom gaat men luchtdicht bouwen en hoe doet men dit? Welke luchtdichtheidsgraad vraagt de Belgische normering?

Gebouwen zijn een samenstelling van diverse materialen en onderdelen waarbij ook meerdere randen overlappen. Het is dan ook van het grootste belang dat deze randen met grote zorg worden afgedicht. Een goede luchtdichtheid van de woning is essentieel voor een efficiënte ventilatiewerking. Ongecontroleerde luchtlekken kunnen via kieren en spleten zorgen voor een kortsluiting van de ventilatiestromen en de verspreiding van geuren. Daarnaast geven luchtlekken aanleiding tot een overdreven, nutteloos energieverbruik en een onaangenaam tochtgevoel doorheen de woning.

Bij een passiefhuis wordt er extra aandacht besteed aan de luchtdichting. Er is een groot verschil tussen de traditionele bouw en houtskeletbouw. Bij houtskeletbouw gaat men met behulp van kleefband of folies alle naden en wandovergangen met schrijnwerk, vloer en plafond luchtdicht maken. Bij de traditionele constructie dient de bezetting en de betonplaat als luchtdichtingslaag, maar deze moeten eveneens met elkaar verbonden worden. Dit gebeurt met speciale producten en strips en niet via een traditioneel silicone kit omdat dit niet voldoende duurzaam is.

De Belgische norm NBN D50-001 legt geen specifieke luchtdichtheidsgraad op. De gemiddelde n50-waarde in Vlaanderen bedraagt 7,8 volumewisselingen per uur. Passiefhuizen daarentegen eisen een n50-waarde van 0,6 volumewisselingen per uur. Dit is maar liefst 10 tot 12 keer beter. Men raadt aan voor lage-energiewoningen te streven naar minstens een n50-waarde van 1 tot 1,5. De luchtdichtheidsgraad van een gebouw wordt gemeten aan de hand van een pressurisatieproef.

Wat is de kostprijs van een passiefhuis in vergelijking met die van een conventioneel huis? Op hoeveel jaar verdient een passiefhuis zich terug?

Een passiefhuis is in ieder geval wat duurder dan een conventioneel huis. Aan een passiefhuis zijn op het gebied van investeringen extra kosten verbonden. Deze extra kosten hebben vooral betrekking op de doorgedreven isolatie, de ventilatie, de driedubbele beglazing met speciaal schrijnwerk, de investering in een luchtdichte woning,... Hiertegenover staan de vermeden kosten van de investering in een

verwarmingssysteem, welke bij het passiefhuis volledig overbodig is, en de lagere energiefactuur ten opzichte van die van een conventionele woning. Op basis van studies kan men besluiten dat het passiefhuis zich kan terugverdienen op 10 tot 30 jaar. Als men dit vergelijkt met een gebouwschil die gemiddeld 70 tot 80 jaar meegaat, heeft men dus ongeveer 40 jaar pure winst. Wanneer men dit uitrekent met een energieprijsstijging van 2,5 tot 5% komt dit neer op een winst van 40 000 tot 70 000 euro verspreid over die jaren. Als we de meerinvestering en de besparing van de energiefactuur samennemen en we spreiden deze over de terugverdientijd van 10 à 30 jaar, dan ligt de kostprijs van het passiefhuis nog steeds ongeveer 10% hoger dan die van een conventionele woning. Het prijskaartje van het passiefhuis hangt grotendeels af van de compactheidsgraad en de oriëntatie van de woning.

Voor welke subsidies en fiscale voordelen komt men met een passiefhuis in aanmerking?

Met een passiefhuis maakt men aanspraak op verschillende subsidies en fiscale voordelen en dit zowel op federaal, gewestelijk als gemeentelijk niveau. Van de federale overheid krijgt men gedurende 10 jaar een netto belastingvoordeel van 830 euro per jaar. Op gewestelijk niveau krijgt men 10 jaar lang 40% reductie op het kadastraal inkomen in Vlaanderen. In Brussel bedragen de subsidies 100 euro per m² voor de eerste 150m². Indien het een gebouw groter dan 150m² betreft, bedragen de subsidies 50 euro per m² voor het gedeelte groter dan 150m². In Wallonië bestaat er een vaste premie ten bedrage van 6 500 euro. Daarnaast zijn er al verscheidene gemeentes in Vlaanderen die eveneens een premie uitkeren. De gemeentelijke premie schommelt tussen de 1 000 en 9 000 euro. Tot slot is er nog een éénmalig fiscaal voordeel voor energiezuinige investeringen in de bouw welke voor dit jaar 2 770 euro bedraagt.

Waarom en hoe laat men het passiefhuis certificeren?

Een passiefhuiscertificaat is een kwaliteitsverklaring voor passiefhuisprojecten, uitgereikt door Passiefhuis-Platform. Deze kwaliteitsverklaring biedt in België momenteel de hoogste onafhankelijke garantie op een energiezuinige gebouwschil. Wanneer een gebouw op basis van hoogwaardige bouwelementen (goede isolatie, luchtdichtheid, superisolerende

ramen,...) de passiefhuisstandaard bereikt, kan een kwaliteitsverklaring worden uitgereikt. Het passiefhuiscertificaat biedt dus zekerheid dat het passiefhuis aan alle kwalitatieve eisen voldoet. Het certificaat kan pas worden aangevraagd wanneer het gebouw volledig is afgewerkt. Dit gebeurt door het indienen van een dossier. Vervolgens gebeurt er een grondige controle. Men stelt vast dat bij de indiening van certificatedossiers vaak dingen foutief berekend worden en dat deze veel te gunstig worden ingeschat. Er is dus nood aan controle op de markt. Momenteel gebeurt de controle op basis van facturen en foto's, maar men is van plan om in de toekomst eveneens werfcontroles uit te voeren. Bovendien komt men met dit certificaat in aanmerking voor een federale belastingvermindering. Op federaal niveau is sinds 2007 een fiscale aftrek voorzien in de personenbelasting voor het bouwen van een passiefhuis. Het belastingsvoordeel bedraagt 790 euro per jaar en mag gedurende 10 opeenvolgende jaren afgetrokken worden van de belastingen vanaf het jaar waarin het certificaat is uitgereikt. Hiertegenover staat dat het certificaat een kostprijs heeft van 600 euro.

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Duurzaam bouwen: comfort, energetische en economische vergelijking aan de hand van gevalstudies

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen-beleidsmanagement**

Jaar: **2010**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Verbruggen, Marjan

Datum: **24/05/2010**