

Energiezuinig wonen : een economische en ecologische analyse

Annelies RENDERS

promotor :
Prof.dr.ir Frans LEMEIRE

Woord vooraf

In eerste instantie zou ik graag een welgemeend woord van dank willen richten tot mijn promotor Prof. dr. ir. Frans Lemeire voor zijn raad en steun tijdens de verwezenlijking van deze eindverhanding. Vervolgens een dankwoord aan het adres van dhr. J. Beerten van AEC-SMT, dhr. S. Dewallef van Soltech, dhr. S. Thielen van IZEN, dhr. G. Lenoir van Ecostream, dhr. J. Walenbergh van Lafarge Roof Products, dhr. F. Leysen van FNC Solar, dhr.M. Jordan van SOLAR SHOP, dhr. C. Lelièvre van DCG-Klimacomfort, mevr. K. Van Lierop van SCHÜCO International KG en mevr. Sofie Van den Branden van Ode-Vlaanderen voor het beantwoorden van mijn vraag om informatie. Ook dhr. Capelle, dhr. Rutten, de familie Verhaeghe-Peeters en dhr. Williams ben ik erkentelijk vanwege hun bereidheid mij meer informatie te verschaffen over de manier waarop zij het concept energiezuinig wonen in hun woning toepassen.

Samenvatting

Energiezuinig bouwen is geen aandachtspunt in de Vlaamse woontraditie geweest. De voorkeur voor open bebouwing, een beperkte compactheid en een ontoereikende warmte-isolatie zijn mede de oorzaken van een hoog energieverbruik in vergelijking met andere Europese landen.

Door energiezuiniger te gaan wonen, kan men niet enkel op de energiefactuur besparen. Men draagt ook bij tot een beter leefmilieu. Bovendien kan er met behulp van energiezuinigheid in de wooncultuur bijgedragen worden tot de doelstellingen van het Kyoto-protocol.

Energiezuinige toepassingen vragen echter vaak een extra investering. De opzet van deze eindverhandeling was daarom het genereren van een antwoord op volgende onderzoeksvraag: "Welke private en externe kosten kunnen vermeden worden door energiezuinig wonen?" Deze vraag werd zowel vanuit de huishoudens als vanuit de overheid benaderd.

Om een antwoord te vinden, werd in eerste instantie nagegaan welke factoren mee aan de basis liggen van de warmtebehoefte van een woning. Vanuit deze context werden daarna een aantal concrete methoden bestudeerd waarmee de energiebehoefte gereduceerd kan worden.

Meer specifiek werd er stilgestaan bij de constructie van de woning. Om energiezuinigheid na te streven is het belangrijk om compact te bouwen. Door het woongedeelte en vensters op het zuiden te richten, kan er gebruik gemaakt worden van passieve zonne-energie. Bijzondere aandacht werd gevestigd op het aanbrengen van isolatie. Beglazing en luchtdicht bouwen werden eveneens onder de loep genomen. Omdat er bij luchtdicht bouwen een nood ontstaat aan een ventilatiesysteem om de luchtkwaliteit op peil te houden, werd hier eveneens dieper op ingegaan.

Naast de eigenlijke constructie van de woning, hangt het energieverbruik ook af van de gebruikte verwarmingsinstallaties. Naast de traditionele installaties, werd er ook aandacht besteed aan het gebruik van warmtepompen.

Een alternatief voor fossiele brandstoffen ligt bij hernieuwbare energie. Met behulp van een zonneboiler kan bijvoorbeeld sanitair water opgewarmd worden. Hiernaast werd er eveneens stilgestaan bij het opwekken van elektriciteit door middel van fotonvoltaïsche zonnepanelen.

Ook de overheden doen inspanningen om de huishoudens aan te zetten zuiniger om te springen met hun energieverbruik. De Federale Overheid staat een belastingsaftrek toe voor een aantal energiezuinige toepassingen. Naast deze maatregel kennen de netbeheerders, sommige provincies en gemeentes nog extra premies toe. De Vlaamse Overheid verleent dan weer subsidies voor het plaatsen van PV-systemen. Bovendien kan de eigenaar van een dergelijk systeem genieten van een terugleververgoeding en groenestroomcertificaten.

Naast het toekennen van steunmaatregelen, handelt de overheid ook vanuit verplichte initiatieven. Sinds 1 januari 2006 is de EnergiePrestatie en Binnenklimaatreglementering van toepassing. Alle woningen waarvoor vanaf dit tijdstip een aanvraag om te bouwen of verbouwen wordt ingediend, moeten een bepaald niveau van thermische isolatie (K45) en energieprestatie (E100) behalen. In een nieuwbouwwoning zal bovendien een minimale en gecontroleerde ventilatie nodig zijn.

Om na te gaan of de private kosten die vermeden kunnen worden door middel van energiezuinige toepassingen opwegen tegen de extra initiële investeringskost, werden een aantal investeringsanalyse uitgevoerd. Naast de calculatie die rekening hield met huidige prijzen en steunmaatregelen, werden ook een aantal scenario's uitgewerkt.

In eerste instantie werd er een analyse uitgevoerd met betrekking tot PV-systemen. Hiervoor werd uitgegaan van een aantal concrete installaties. Een tweede investeringsanalyse die

werd verricht, had betrekking op zonneboilers. Hier werd opnieuw uitgegaan van enkele op de markt beschikbare installaties.

Wat betreft isolatie werd er een vergelijking gemaakt tussen verscheidene materialen en uitvoeringsdikten, namelijk deze volgens de vroegere wetgeving, de aanbevolen dikte voor doorgedreven isolatie en de afwezigheid ervan. Er werd een analyse uitgevoerd voor zowel muur-, dak- als vloerisolatie. Als laatste werden de kosten en baten met betrekking tot beglazing nader bekeken.

Naast de private kosten kunnen er ook externe kosten vermeden worden met behulp van energiezuinig wonen. Fiscale maatregelen en subsidies kunnen beschouwd worden als een compensatie voor de externe kosten die vermeden worden, namelijk de vermindering aan uitstoot van schadelijke gassen en dan vooral CO₂. Met betrekking tot de voorgaande toepassingen werd er daarom nagegaan hoeveel CO₂-uitstoot zij kunnen bewerkstelligen, in welke mate de steunmaatregelen zich hiertoe verhouden en in welke mate de applicatie ervan kan bijdragen tot de Kyoto-doelstelling.

Inhoudsopgave

	Blz
Woord vooraf	1
Samenvatting	2
Lijst met afkortingen	14
Lijst met eenheden en voorvoegsels	15
Lijst met scheikundige symbolen	16
Hoofdstuk 1: Probleemstelling	19
<hr/>	
1.1 Problemen met het huidig energieverbruik	19
1.2 Mogelijke oplossingen: Rationeel energiegebruik en hernieuwbare energie	22
1.3 Het Kyoto-protocol	23
1.4 Onderzoeksvragen	26
1.5 Onderzoeksopzet	29
Hoofdstuk 2: De warmtebehoefte	30
<hr/>	
2.1 Warmteverliezen	31
2.2 Warmtewinsten	32
2.3 Warmteverbruik voor sanitaire warmwaterproductie	32
Hoofdstuk 3: Constructie van de woning	33
<hr/>	
3.1 Isolatie	33
3.1.1 Terminologie in verband met isolerende eigenschappen	34
3.1.2 Keuze van het materiaal	37
3.1.2.1 Muurisolatie	37
3.1.2.2 Dakisolatie	39
3.1.2.3 Vloerisolatie	40
3.1.2.4 Isolerend glas	41

3.1.3	<i>Andere toepassingen van isolatie</i>	42
3.1.4	<i>Wetgeving</i>	42
3.2	Luchtdicht bouwen	43
3.3	Leembouw	44
3.4	Passiefhuis	45
Hoofdstuk 4: Ventileren		47
4.1	Systeem A: natuurlijke toevoer en afvoer	48
4.2	Systeem B: mechanische toevoer en natuurlijke afvoer	48
4.3	Systeem C: natuurlijke toevoer en mechanische afvoer	49
4.4	Systeem D: mechanische toevoer en afvoer	49
Hoofdstuk 5: Verwarmingsinstallaties		51
Hoofdstuk 6: Warmtepompen		54
6.1	Werking	54
6.1.1	<i>Warmtepompcyclus</i>	55
6.2	Winstfactor en systeemwinstfactor	56
6.3	Mogelijke warmtebronnen	58
6.3.1	<i>Grond</i>	58
6.3.2	<i>Water</i>	60
6.3.3	<i>Lucht</i>	62
6.4	Warmte-afgiftesystemen	63
6.4.1	<i>Vloerverwarming</i>	64
6.4.2	<i>Muurverwarming</i>	64
6.4.3	<i>Plafondverwarming</i>	64
6.4.4	<i>Overgedimensioneerde radiatoren</i>	65
6.4.5	<i>Warmeluchtverwarming</i>	65
6.4.6	<i>Convectoren met een geforceerde ventilatie</i>	65

6.5 Combinatie met hulpverwarming	66
6.6 Warmtepomp voor koeling en verwarmen sanitair water	67
6.7 Collectieve warmtepompsystemen	68
6.8 Kostprijs	68
6.9 Wettelijke bepalingen	70
<i>6.9.1 Meldings- en vergunningsplicht</i>	<i>70</i>
<i>6.9.2 Heffingen</i>	<i>71</i>
Hoofdstuk 7: Gebruik van zonne-energie	72
<hr/>	
7.1 Aanwezigheid van zonne-energie	72
7.2 Zonneboilers	73
<i>7.2.1 Werking</i>	<i>74</i>
<i>7.2.2 Collectorrendement</i>	<i>77</i>
<i>7.2.3 Opbrengst en opstelling</i>	<i>78</i>
<i>7.2.4 Kostprijs</i>	<i>79</i>
<i>7.2.5 Gebruik bij woningverwarming</i>	<i>79</i>
<i>7.2.6 Vergunningen</i>	<i>80</i>
7.3 Fotovoltaïsche zonnepanelen	80
<i>7.3.1 Soorten</i>	<i>81</i>
<i>7.3.2 Kostprijs netgekoppelde PV-systemen</i>	<i>83</i>
<i>7.3.3 Opbrengst netgekoppelde PV-systemen</i>	<i>86</i>
<i>7.3.4 Ecologische implicaties van fotovoltaïsche systemen</i>	<i>87</i>
<i>7.3.5 Levering van elektriciteit aan het net</i>	<i>87</i>
<i>7.3.6 Vergunningen</i>	<i>88</i>
Hoofdstuk 8: Maatregelen van de overheid	90
<hr/>	
8.1 Steunmaatregelen	91
<i>8.1.1 Subsidies</i>	<i>92</i>
<i>8.1.2 Groenestroomcertificaten</i>	<i>92</i>
<i>8.1.3 Terugdraaiende kilowattuurmeter</i>	<i>94</i>

8.1.4	<i>Belastingverminderingen</i>	94
8.1.5	<i>Verlaagd BTW-tarief</i>	96
8.1.6	<i>Steun van de netbeheerders</i>	97
8.1.7	<i>Gemeentelijke en provinciale steun</i>	99
8.2	De Energieprestatieregelgeving	100
8.2.1	<i>Toepassingsgebied</i>	101
8.2.2	<i>Energiecertificaat</i>	101
8.2.3	<i>De regelgeving</i>	102
8.2.4	<i>Bouwproces in de praktijk</i>	105
8.2.5	<i>Controles</i>	106
8.2.6	<i>Boetes</i>	106
8.2.7	<i>Impact</i>	107
Hoofdstuk 9: Private kosten en baten		109
9.1	Toelichting bij de begrippen en gebruikte gegevens	109
9.1.1	<i>Netto contante waarde</i>	109
9.1.2	<i>Interne opbrengstvoet</i>	110
9.1.3	<i>Terugverdientijd</i>	110
9.1.4	<i>Gebruikte energieprijzen</i>	110
9.2	Fotovoltaïsche zonnepanelen	111
9.2.1	<i>Resultaten rekening houdend met steunmaatregelen en 6% BTW</i>	112
9.2.2	<i>Resultaten rekening houdend met steunmaatregelen en 21% BTW</i>	114
9.2.3	<i>Resultaten van de uitgewerkte scenario's</i>	115
9.2.3.1	<i>Huidige investerings- en energieprijzen zonder steunmaatregelen</i>	115
9.2.3.2	<i>Huidige investeringsprijzen, energieprijzen die jaarlijks met 5% stijgen</i>	116
9.2.3.3	<i>Investeringsprijzen die jaarlijks met 5% dalen, energieprijzen die jaarlijks met 5% stijgen</i>	117
9.3	Zonneboilers	118
9.3.1	<i>Resultaten zonneboiler met besparing aan aardgas, rekening houdend met steunmaatregelen</i>	120

<i>9.3.2 Resultaten zonneboiler met besparing aan stookolie, rekening houdend met steunmaatregelen</i>	<i>121</i>
<i>9.3.3 Resultaten zonneboiler met besparing aan elektriciteit, rekening houdend met steunmaatregelen</i>	<i>122</i>
<i>9.3.4 Resultaten van de uitgewerkte scenario's</i>	<i>123</i>
<i>9.3.4.1 Huidige investerings- en energieprijzen zonder steunmaatregelen</i>	<i>123</i>
<i>9.3.4.2 Levensduur van 25 en 20 jaar met steunmaatregelen</i>	<i>124</i>
<i>9.3.4.3 Jaarlijks stijgende energieprijzen, dalende investeringsuitgaven</i>	<i>125</i>
<i>9.4 Isolatie</i>	<i>127</i>
<i>9.4.1 Muurisolatie</i>	<i>128</i>
<i>9.4.2 Dakisolatie</i>	<i>132</i>
<i>9.4.3 Vloerisolatie</i>	<i>136</i>
<i>9.4.4 Opmerking</i>	<i>139</i>
<i>9.5 Beglazing</i>	<i>139</i>
Hoofdstuk 10: Externe kosten en baten	142
10.1 Fotovoltaïsche zonnepanelen	144
10.2 Gebruik van zonneboilers	148
10.3 Gebruik van isolatie	150
<i>10.3.1 Muurisolatie</i>	<i>151</i>
<i>10.3.2 Dakisolatie</i>	<i>152</i>
<i>10.3.3 Vloerisolatie</i>	<i>154</i>
10.4 Beglazing	155
Hoofdstuk 11: Conclusie	157
Hoofdstuk 12: Toekomstvragen	166
Hoofdstuk 13: Vragen voor verder onderzoek	168

Figuren

Figuur 1: Evolutie van het energieverbruik door de Vlaamse huishoudens per energiedrager (Vlaanderen, 1990, 1995-2004)

Figuur 2: Emissies van broeikasgassen per gas (Vlaanderen, 1990-2004)

Figuur 3: Huishoudelijk energieverbruik per inwoner in de Europese Unie (25 landen, 2003)

Figuur 4: Warmtebalans van een gemiddelde woning in Vlaanderen.

Figuur 5: Grafische voorstelling van de werking van een warmtepomp

Figuur 6: Totale jaarlijkse kosten voor 3 verschillende CV-installaties

Tabellen

Tabel 1: Reserves aan fossiele en nucleaire brandstoffen

Tabel 2: Verschil in emissies aan broeikasgassen tussen 1990 en 2004 per sector in Vlaanderen

Tabel 3: Lambda-waarden van isolatiemateriaal

Tabel 4: Vergelijkende dikte voor zelfde isolatiewaarde

Tabel 5: Minimale en aanbevolen isolatie tot 2005

Tabel 6: Gegevens per type zonnecel

Tabel 7: Overzicht van de REG-acties per netbeheerder (2006)

Tabel 8: Maximaal Toegelaten U-waarde

Tabel 9: Samenvatting energieprestatieregelgeving

Tabel 10: NCW, IOV en TVT voor PV-systemen bij 6% BTW voor verschillende kapitaalkosten, rekening houdend met subsidies, fiscale aftrek en GSC

Tabel 11: NCW, IOV en TVT bij 21% BTW voor verschillende kapitaalkosten, rekening houdend met subsidies, fiscale aftrek en GSC

Tabel 12: Resultaten NCW bij stijging energieprijzen met 5% per jaar en kapitaalkost van respectievelijk 4 en 6%

Tabel 13: Resultaten NCW bij dalende investeringsuitgaven en stijging van de energieprijzen met 5% per jaar en kapitaalkosten van respectievelijk 4 en 6%

Tabel 14: Gegevens met betrekking tot de zonneboilers

Tabel 15: NCW, IOV en TVT van zonneboilers met aardgas als bijverwarming (met steunmaatregelen, 6 en 21% BTW)

Tabel 16: NCW, IOV en TVT van zonneboilers met stookolie als bijverwarming (met steunmaatregelen, 6 en 21% BTW)

Tabel 17: NCW, IOV en TVT van zonneboilers met elektriciteit als bijverwarming (met steunmaatregelen en 6% BTW)

Tabel 18: Resultaten NCW bij een levensduur van 25 en 20 jaar

Tabel 19: Resultaten NCW bij dalende investeringsuitgaven en stijging van de energieprijzen per jaar, kapitaalkosten van respectievelijk 4 en 6%

- Tabel 20: Minimale en doorgedreven isolatiedikten
- Tabel 21: R-waarde en energieverlies voor isolatiemateriaal van 4 en 10 cm
- Tabel 22: Private vermeden kost per jaar per m² door dikkere wandisolatie
- Tabel 23: NCW voor verschillende kapitaalkosten bij extra muurisolatie (10 ipv 4 cm)
- Tabel 24: R-waarde en energieverlies voor isolatiemateriaal van 0, 10 en 20 cm
- Tabel 25: Private vermeden kost per jaar per m² door dikkere dakisolatie
- Tabel 26: IOV en TVT van besparing aan aardgas en stookolie bij 10 ipv 0 cm dakisolatie met en zonder fiscale aftrek
- Tabel 27: NCW, IOV en TVT voor dakisolatie 20 cm ipv 10 cm
- Tabel 28: R-waarde en energieverlies voor isolatiemateriaal van 0, 4 en 6 cm
- Tabel 29: Private vermeden kost per jaar per m² door dikkere vloerisolatie
- Tabel 30: IOV en TVT van besparing aan aardgas en stookolie bij 4 ipv 0 cm vloerisolatie
- Tabel 31: NCW-waarden voor vloerisolatie 6 cm ipv 4 cm
- Tabel 32: NCW, IOV en TVT met betrekking tot dubbele en hoogrendementsbeglazing
- Tabel 33: CO₂-equivalentemissies in Vlaanderen naar huishoudens en naar alle sectoren samen
- Tabel 34: Uitsparing aan CO₂-uitstoot met behulp van PV-systemen
- Tabel 35: Subsidies voor PV-systemen en kost per ton uitgespaarde CO₂ uitgaande van de subsidies
- Tabel 36: Geldbesparing ten gevolge van CO₂-reductie rekening houdend met aankoop emissierechten
- Tabel 37: Besparing aan energieverbruik met behulp van zonneboilersystemen
- Tabel 38: Besparing aan CO₂-emissies met behulp van zonneboilersystemen
- Tabel 39: Kostprijs steunmaatregelen per ton CO₂
- Tabel 40: Besparing aan CO₂-emissies door het plaatsen muurisolatie
- Tabel 41: Besparing aan CO₂-emissies/m² door het plaatsen van dakisolatie: 10 ipv 0 cm, 20 ipv 0 cm en 10 ipv 20 cm
- Tabel 42: Besparing aan CO₂-emissies/m² door het plaatsen van vloerisolatie: 4 ipv 0 cm, 6 ipv 0 cm en 6 ipv 4 cm

Lijst met afkortingen

ANRE=Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie

COP=Coefficient Of Performance

CREG=Comissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas

EPB=EnergiePrestatie en Binnenklimaatregelgeving

EU-15=Europese Unie voor de aansluiting van 10 extra lidstaten in 2003

GSC=Groenestroomcertificaten

IEA=International Energy Agency

IMEC= Interuniversitair Micro-Electronica Centrum

IOV=Interne Opbrengstvoet

ISSO=Instituut voor Studie en Stimulering van onderzoek op het gebied van verwarming en luchtbehandeling

MIRA=Milieu- en natuurrapport Vlaanderen

NCW=Netto Contante Waarde

NIS=Nationaal Instituut voor de Statistiek

ODE-Vlaanderen=Organisatie voor Duurzame Energie Vlaanderen

PV=Photovoltaic

REG=Rationeel EnergieGebruik

SPF=Seasonal Performance Factor

TVT=Terugverdiëntijd

VMM=Vlaamse Milieumaatschappij

VIBE=Vlaams Instituut voor Bio-ecologisch Bouwen en Wonen

Vito=Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek

viWTA=Vlaams instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek

VLAREM=Vlaams reglement milieuvergunningen

VREG=Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt

WKK=Warmtekrachtkoppeling

WTCB=Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf

UV=Ultraviolet

Lijst met eenheden en voorvoegsels

°C=graden Celsius

CO₂-eq= CO₂-equivalent

EUR=euro

h=uur

J=Joule

kg=kilogram

m= meter

W=Watt=J/s

Wh=Watt-uur=3600J

Wp=Watt-piek

c=10⁻² (centi)

k=10³ (kilo)

M=10⁶ (mega)

G=10⁹ (giga)

T=10¹² (tera)

P=10¹⁵ (peta)

E=10¹⁸ (exa)

Lijst met scheikundige symbolen

Cd=Cadmium

CH₄=Methaan

CO=Koolstofmonoxide

CO₂=Koolstofdioxide

HFK=Onvolledig gehalogeneerde fluorkoolwaterstoffen

N=Stikstof

N₂=Stikstofgas

NO=Stikstofmonoxide

NO₂=Stikstofdioxide

NO_x=Stikstofoxiden, zowel stikstofmonoxide als stikstofdioxide

PFK=Perfluorkoolwaterstoffen

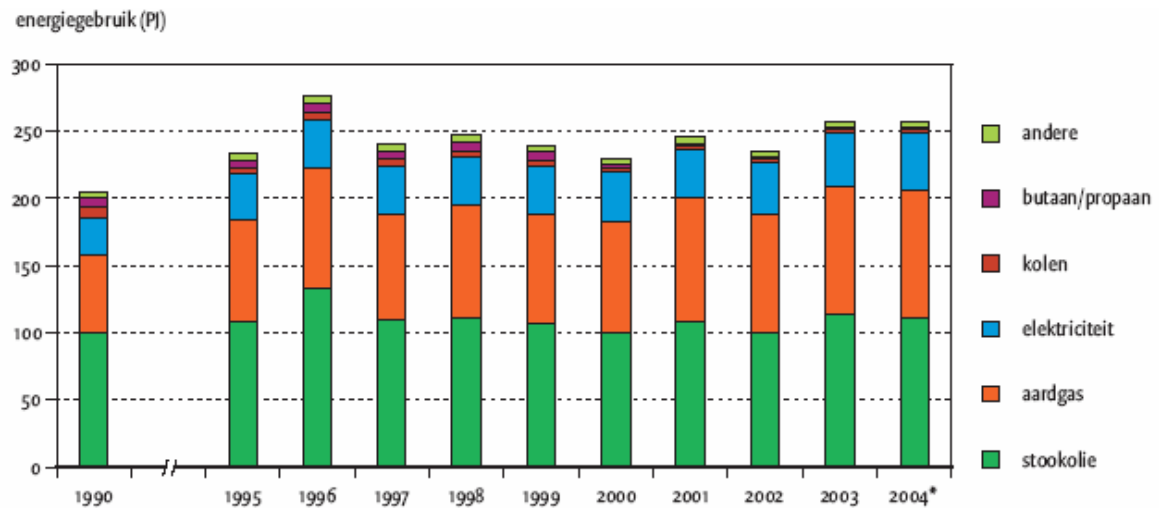
SF₆=Zwavelhexafluoride

Hoofdstuk 1: Probleemstelling

1.1 Problemen met het huidig energieverbruik

Het energieverbruik van de Vlaamse huishoudens is bijna volledig gebaseerd op aardolie, aardgas en elektriciteit, dat op zijn beurt voor het grootste gedeelte opgewekt wordt met behulp van fossiele brandstoffen en nucleair splijtingsmateriaal.

Figuur 1: Evolutie van het energieverbruik door de Vlaamse huishoudens per energiedrager (Vlaanderen, 1990, 1995-2004)



* voorlopige cijfers

Bron: EnergiebalansVlaanderen WTO

Aan het gebruik van conventionele brandstoffen zijn echter tal van problemen gekoppeld. Een eerste probleem situeert zich rond de eindigheid van de voorraden. In een rapport van de overheidsdienst economie 'De evolutie van de energiemarkt in 2004' wordt gesteld dat met het huidige energieverbruik en de bewezen reserves de olievelden tegen circa 2047 uitgeput zullen zijn. Volgens de energiegi-gigant British Petrol (BP) had de wereld eind 2004 een bewezen reserve ruwe olie waarmee nog 40.5 jaar in de toen geldende behoefte kon voorzien worden (BP, 2005). De wereldvraag stijgt echter elk jaar.

Ook voor de andere conventionele energiebronnen zijn de voorraden beperkt. Lako P. en Kets A. (2005) hanteren volgende cijfers:

Tabel 1: Reserves aan fossiele en nucleaire brandstoffen

	Reserves (EJ)	Reserves (Jaren)
Olie	6.351	40
Gas	5.105	52
Kolen	19.620	185
Uranium en thorium	2.745	100

Hun analyse houdt geen rekening met stijgend energiegebruik. Onder reserves worden de hoeveelheden verstaan waarvan de huidige geologische en technische kennis met redelijke zekerheid aantoont dat ze in de toekomst kunnen worden ontgonnen in economisch verantwoorde werkomstandigheden.

De oliesector is na een periode van exploratiekalmtte echter opnieuw naar aardoliebronnen aan het zoeken. Er kan bijvoorbeeld ook op gewezen worden dat er zich teerzand bevindt in de bodem van de West-Canadese provincie Alberta waaruit volgens wetenschappers grote hoeveelheden ruwe olie gehaald zouden kunnen worden.

Hoewel er verscheidene uiteenlopende cijfers worden gehanteerd over de nog aanwezige voorraden fossiele en nucleaire brandstoffen en het verbruik elk jaar wijzigt, geeft dit alles toch een signaal. Toekomstige generaties zullen geconfronteerd worden met de eindigheid van de reserves. In deze context kan het begrip transgenerationele solidariteit aangehaald worden. Is het niet beter om nu zuiniger om te springen met eindige grondstoffen zodat er nog een voldoende grote hoeveelheid overblijft voor toekomstige noden? De voorraden aan aardolie, aardgas en steenkool dalen echter terwijl de wereldvraag alsmaar blijft stijgen. Het

International Energy Agency (IEA, 2005) voorspelt dat het energieverbruik tussen 1995 en 2020 met 65% zal stijgen. Oorzaken hiervan kunnen onder andere teruggevonden worden in de stijgende wereldbevolking, de boomende economieën van China en India en het stijgende energieverbruik per hoofd.

Bovendien is er een stijgende trend in de energieprijzen waarneembaar. De afhankelijkheid van fossiele brandstoffen zowel voor elektriciteitsproductie als voor warmteproductie verhoogt de socio-economische kwetsbaarheid van de gezinnen.

Naast het economische aspect is er ook het probleem van de milieuvervuiling. Bij het verbranden van fossiele brandstoffen komen gassen vrij die een zware impact hebben op het leefmilieu, de atmosfeer en mogelijk op het klimaat. Stoffen zoals koolstofmonoxide en stikstofoxide zijn giftig. Koolstofdioxides en andere liggen aan de basis van het broeikaseffect. Gassen zoals stikstofoxide en zwaveldioxide zijn dan weer verzurende gassen.

Bij nucleaire energieopwekking door middel van de huidige techniek van kernsplijting stelt er zich nog een bijkomend maatschappelijk en technisch probleem. Niet enkel het vrijkomen van radioactieve straling bij de productie vormt een risico. Het transport, de verwerking en de berging van het nucleaire afval vormt een risico en belasting voor komende generaties. Het probleem van de radioactieve straling zou vermeden kunnen worden door het gebruik van kernfusie. Deze techniek wordt volop bestudeerd, maar de beste prognoses stellen dat kernfusie pas tegen 2050 gebruikt zou kunnen worden voor energieopwekking op grote schaal.

In tegenstelling tot deze negatieve aspecten bezit het gebruik van nucleaire energie ook een voordeel. Bij de productie komt er slechts zeer weinig CO₂ vrij en bovendien zijn er grotere voorraden aan grondstoffen. Door de geleidelijke uitstap stelt er zich dus een bijkomend probleem naar het zoeken van energiebronnen met een lage uitstoot aan vervuilende stoffen.

1.2 Mogelijke oplossingen: rationeel energieverbruik en hernieuwbare energie

Om de problemen verbonden aan het huidige energieverbruik aan te pakken kunnen er een aantal maatregelen en acties naar voren geschoven worden. Er gaan steeds meer stemmen op om de energiebehoefte en de energieopwekking op elkaar af te stemmen door een tweezijdige aanpak. Enerzijds wordt er gesproken over rationeel energieverbruik (REG). Hieronder verstaat men het spaarzaam omgaan met energie zonder comfortverlies. Anderzijds is er het gebruik van hernieuwbare energie, met name het gebruik van zon, wind, water, biomassa en laag enthalpie geothermie (aardwarmte-energie). De term 'hernieuwbaar' verwijst naar het feit dat de gemiddelde jaarlijkse energie-output van deze bronnen voor onbepaalde tijd kan worden gehandhaafd (World Resources Institute, 1993). In dit kader spreekt men ook van duurzame ontwikkeling waarbij men aan de behoefte van vandaag wil voldoen en tegelijk deze van de toekomst zo weinig mogelijk in het gedrang wil brengen.

Het gebruik van hernieuwbare energie heeft een aantal voordelen. Ten eerste zijn de meeste technieken milieuvriendelijk en duurzaam. Ze maken gebruik van bronnen die vrijwel onuitputtelijk zijn, hoewel beperkt in hoeveelheid. De toepassingen vragen in de meeste gevallen relatief weinig energie voor fabricage en onderhoud en zijn zuinig in het gebruik van grondstoffen. Gedurende hun levenscyclus (bouw-gebruik-afbraak) veroorzaken zij slechts een lage uitstoot aan schadelijke stoffen (ODE-Vlaanderen, 2003a).

Bovendien kan men door het gebruik van hernieuwbare bronnen de energievoorziening diversifiëren. Momenteel is er een sterke invoerafhankelijkheid van een beperkt aantal productielanden die vaak in politiek onstabiele regio's liggen. Dit veroorzaakt bevoorradingonzekerheid, prijsvolatiliteit en importkosten wat een verlies aan deviezen betekent.

Hiernaast kan er ook nog verwezen worden naar studies die aangetoond hebben dat het gebruik van hernieuwbare energie een positief effect kan hebben op de werkgelegenheid en

exportkansen biedt (TERES II en LTI-onderzoek; Palmers, G., 2004; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2006).

1.3 Het Kyoto-protocol

Zoals in de vorige paragrafen werd vermeld zijn er talrijke ecologische problemen verbonden aan het verbruik van fossiele brandstoffen, onder meer de uitstoot van broeikasgassen. Hoewel er een controverse rond het onderwerp bestaat, beschouwen heel wat wetenschappers de opwarming van de aarde als een wereldwijd probleem dat beïnvloed wordt door menselijk handelen. Om de uitstoot aan broeikasgassen in te perken werd op 11 december 1997 de tekst van het Kyoto-protocol aangenomen. Het protocol werd opgesteld als vervolg op het Klimaatverdrag en heeft betrekking op volgende gassen:

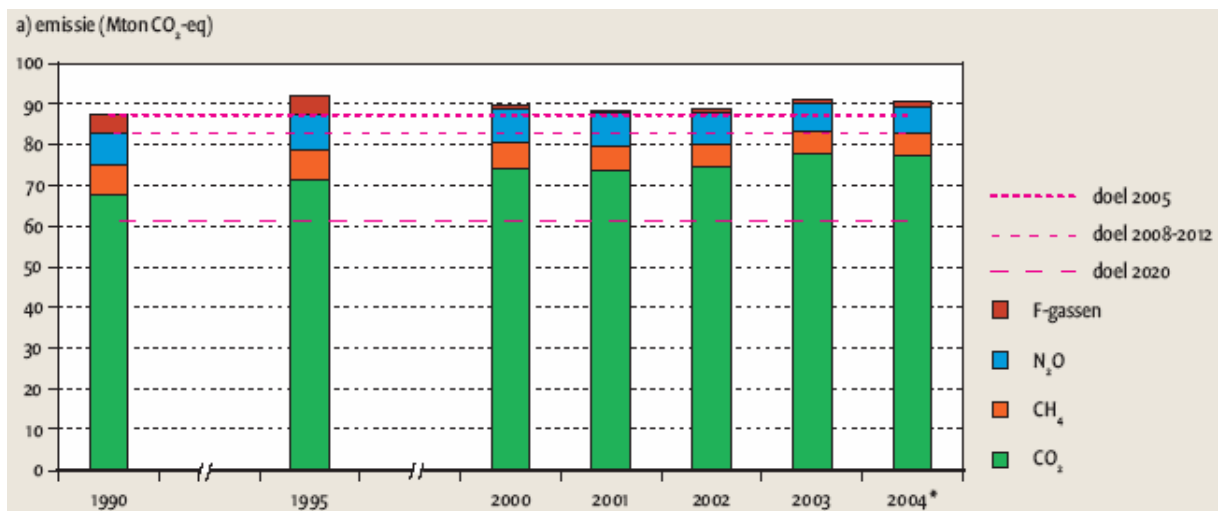
- Koolstofdioxide (CO_2)
- Methaan (CH_4)
- Distikstofoxide (N_2O)
- Onvolledig gehalogeneerde fluorkoolwaterstoffen (HFK's)
- Perfluorkoolwaterstoffen (PFK's)
- Zwavelhexafluoride (SF_6)

Er werd een vermindering van gemiddeld 5 % in 2008-2012 vooropgesteld ten opzicht van het niveau van 1990. De reductiedoelstellingen verschillen van land tot land. In de Europese Unie (EU-15) werd een percentage van 8% vooropgesteld. Het verdrag trad op 16 februari 2005 in werking.

Net als 140 andere landen heeft ook België zich via het Kyoto-protocol geëngageerd om de uitstoot van broeikasgassen terug te schroeven, met name een reductie van 7.5 %. De

doelstelling specifiek voor Vlaanderen bedraagt 5.2%. Zoals uit onderstaande grafiek blijkt zullen er nog heel wat inspanningen moeten geleverd worden. De emissies van broeikasgassen in Vlaanderen kwamen in 2004 nog 3.6 % boven het referentieniveau uit. De totale uitstoot was dus nog 9% te hoog. (Voor CO₂, CH₄ en N₂O is het referentieniveau de uitstoot in 1990; voor SF₆, HFK's en PFK's is het referentieniveau dat van 1995 bij gebrek aan cijfers voor 1990.) Wanneer er specifiek naar de CO₂-emissies gekeken wordt, kan er een stijging met 14% ten opzichte van 1990 waargenomen worden. De andere gassen lieten samen een daling optekenen (VMM, 2005).

Figuur 2: Emissies van broeikasgassen per gas (Vlaanderen, 1990-2004)



Bron: VMM, 2005

(CO₂-equivalent (CO₂-eq) is een meeteenheid gebruikt om het opwarmend vermogen (global warming potential) van broeikasgassen weer te geven. CO₂ is hierbij het referentiegas waartegen andere broeikasgassen gemeten worden. Omdat bijvoorbeeld bij eenzelfde massa gas het opwarmend vermogen van CH₄ 23 keer hoger is dan dat van CO₂ stemt 1 ton CH₄ overeen met 23 ton CO₂-equivalent.)

De uitstoot aan CO₂ die kan toegeschreven worden aan de industrie is gedaald in vergelijking met 1990. Dat staat in schril contrast met de huishoudens. In de afgelopen decennia zijn de

negatieve milieueffecten van het productieproces relatief gezien minder sterk gestegen dan die van de huishoudens. Het directe aandeel van het huishoudelijke energiegebruik ten opzichte van het totale verbruik in Vlaanderen bedroeg in 2004 ongeveer 16% (257.6 PJ), een toename van 26% ten opzichte van 1990. Niet enkel het totaal, maar ook het energiegebruik en de emissies per persoon zijn de afgelopen jaren gestegen. Bij de huishoudens vertonen zowel het energiegebruik als de broeikasgasemissies een sterkere stijging dan de evolutie van het aantal gezinnen. In de industrie neemt men daarentegen een beperkte daling van de broeikasgasemissies waar bij een steeds toenemende activiteit (VMM, 2005).

Indien het verschil tussen de emissies van broeikasgassen per sector in Vlaanderen tussen 1990 en 2004 vergeleken wordt, is er een sterke stijging waarneembaar voor de huishoudens en de transportsector.

Tabel 2: Verschil in emissies aan broeikasgassen tussen 1990 en 2004 per sector in Vlaanderen

	Vershil 2004-1990 (Mton CO₂ eq)
Huishoudens	2.15
Industrie	-2.35
Energie	1.15
Landbouw	-1.66
Transport	3.47
Handel en diensten	0.41
Natuur en tuinen	0.32
Totaal	3.49

Bron: VMM, 2005

Uit projecties van het Federaal Planbureau (2005) blijkt dat zowel de elektriciteits- en energiesector als de industrie er tegen 2009 in zullen slagen om hun CO₂-uitstoot te doen

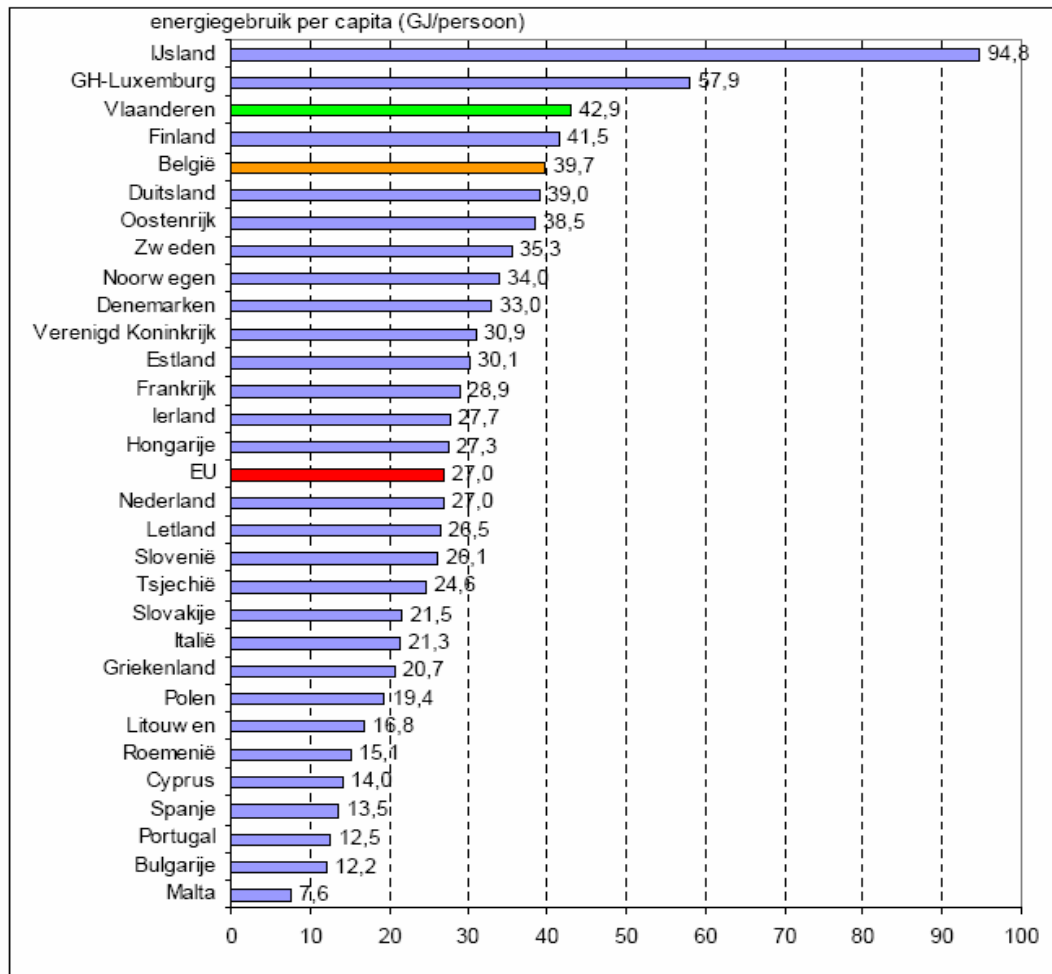
dalen in vergelijking met 1990. De inspanningen van deze sectoren worden volgens hun studie echter volledig tenietgedaan door het toenemende energiegebruik van de gezinnen en de transportsector. Indien België niet voldoet aan de reductienormen is het noodzaak om buitenlandse emissierechten te kopen, wat een dure aangelegenheid zal worden.

Als men bovendien het totale energiegebruik van de gezinnen deelt door het totaal van de inwoners van het land en dit cijfer vergelijkt tussen de landen van de Europese Unie (EU-15) dan blijkt dat Vlaanderen, na Finland, het hoogste energieverbruik voor zijn rekening neemt. Een Vlaamse inwoner gebruikt, ondanks een vergelijkbaar klimaat, ongeveer anderhalve maal zoveel energie per inwoner dan in Nederland. Het is opmerkelijk dat landen zoals Denemarken en Zweden met een kouder klimaat maar met vergelijkbare levensstandaard, significant minder energie verbruiken (VMM, 2005). In Denemarken lag bijvoorbeeld het verbruik per persoon 12.5% lager dan in België (VMM, 2004). Redenen die hiervoor aangehaald kunnen worden zijn de beperkte compactheid van de woningen met dikwijls ontoereikende warmte-isolatie en de mentaliteit ten opzichte van het verbruik van energie. Bovendien blijkt uit statistische gegevens dat de woningen in België gemiddeld groter zijn dan in andere Europese landen (viWTA, 2004).

1.4 Onderzoeksvragen

Rekening houdend met vorige overwegingen, kan er gesteld worden dat een andere benadering zich opdringt omtrent het energiegebruik van de gezinnen. Energiezuinig bouwen is niet echt een aandachtspunt geweest in de Vlaamse bouwtraditie. Dat energiezuinigheid in Vlaanderen geen prioritaire bekommernis was, blijkt uit vergelijkingsgegevens met andere Europese landen. Zoals uit onderstaande grafiek blijkt bedroeg het huishoudelijke energiegebruik per inwoner in 2003 in Vlaanderen 42.9 GJ per persoon, terwijl dit in het Verenigd Koninkrijk maar 30.9 GJ was, in Frankrijk 28.9 GJ en in Nederland 27 GJ per persoon.

Figuur 3: Huishoudelijk energieverbruik per inwoner in de Europese Unie (25 landen, 2003)



Bron : berekeningen op basis van Eurostat 2005

Zoals in vorige paragrafen reeds werd aangehaald baseert het huidige energiegebruik van de gezinnen zich vooral op eindige voorraden conventionele energiebronnen waaraan een aantal economische en ecologische problemen zijn gekoppeld. Door zuiniger om te springen met energie kunnen gezinnen niet enkel besparen op energieuitgaven (zeker met het oog op mogelijke hoge toekomstige energieprijzen). Ze kunnen ook bijdragen aan de emissiereductie van vervuilende stoffen.

Een nijpender probleem dat zich op korte termijn stelt, naast bijvoorbeeld de eindigheid van de voorraden en de invoerafhankelijkheid, is het engagement van België in verband met het

Kyoto-protocol tegen 2012. Indien de doelstellingen niet bereikt worden, zullen er mogelijk hoge kosten moeten betaald worden voor de aankoop van buitenlandse emissierechten.

De Vlaamse huishoudens namen in 2004 een energieverbruik van 257.6 PJ voor hun rekening (16% van het totale energieverbruik in Vlaanderen), waarvan ongeveer drie vierde voor de verwarming van de woning (VMM, 2005). Energiezuinig wonen zou mogelijk een betekenisvolle bijdrage kunnen leveren aan de CO₂-reductiedoelstelling.

Deze eindverhandeling heeft tot doel na te gaan welke kosten en baten verbonden zijn aan energiezuinig wonen. De centrale onderzoeksvraag luidt dan ook als volgt:

Welke private en externe kosten kunnen vermeden worden door energiezuinig wonen? Benadering vanuit de huishoudens en de overheid.

Om deze vraag te onderzoeken zal er gebruik gemaakt worden van volgende deelvragen:

- Welke toepassingen op het gebied van energiezuinig wonen zijn er momenteel beschikbaar in Vlaanderen?
- Welke kosten en baten zijn er verbonden aan deze toepassingen voor de gebruiker?
- Welke maatregelen worden er door de overheden genomen om de huishoudens aan te zetten tot energiezuinigheid?
- Welke steunmaatregelen worden verleend en hoe staan deze tegenover de vermeden externe kosten?
- Welke bijdrage kan het energiezuinig wonen leveren om de Kyoto-norm te halen tegen 2012?

Het onderzoek zal toegespitst worden op Vlaamse gezinnen. Zoals reeds werd aangehaald is het energieverbruik van de Vlaamse huishoudens erg hoog in vergelijking met de rest van de Europese landen. De steunmaatregelen van de overheden verschillen ook naargelang het gaat om Vlaanderen of Wallonië. Bovendien gelden er andere reductiedoelstellingen wat

betreft het Kyoto-protocol, met name voor Vlaanderen een reductie van 5.2% en voor Wallonië een daling met 7.5%. Het Brussels Hoofdstedelijk Gewest mag daarentegen de komende jaren 3.48% meer uitstoten (Administratieve Planning en Statistiek, 2003). Deze eindverhandeling handelt zowel over nieuwbouwwoningen als renovaties van bestaande eengezinswoningen. De nadruk ligt op bouwtechnische toepassingen en installaties, niet op het gebruik van zuinige elektrische apparaten, verlichting of waterverbruik.

1.5 Onderzoeksopzet

Vanuit methodologisch standpunt zal in eerste instantie een theoriegericht onderzoek uitgevoerd worden. Er zal met name een descriptief onderzoek verricht worden met betrekking tot mogelijke toepassingen in verband met het concept energiezuinig wonen in Vlaanderen. Hierbij zal een literatuurstudie plaatsvinden en zullen een aantal relevante organisaties gecontacteerd worden.

Teneinde de beantwoording van de centrale onderzoeksvraag en de bijhorende deelvragen mogelijk te maken, wordt er hierna overgegaan tot een toegepast onderzoek. Het gaat hier meer bepaald om een evaluatie-onderzoek naar de mogelijke private en externe kosten die vermeden kunnen worden door energiezuinigheid in de wooncultuur. Hierbij zullen een aantal gevalstudies bekeken worden en zal er een simulatie plaatsvinden van enkele mogelijke toekomstige scenario's.

Hoofdstuk 2: De warmtebehoefte

Ongeveer drie vierde van het energieverbruik van de Vlaamse huishoudens is bestemd voor woningverwarming. Om in te grijpen in dit energieverbruik is het noodzakelijk een beter beeld te krijgen van de warmtebehoefte van een woning. De warmtebehoefte kan theoretisch omschreven worden als de warmteverliezen van het gebouw min de warmtewinsten plus het warmteverbruik voor de bereiding van sanitair warm water:

Warmteverliezen

- Warmtewinsten

+ warmte voor sanitair warm water

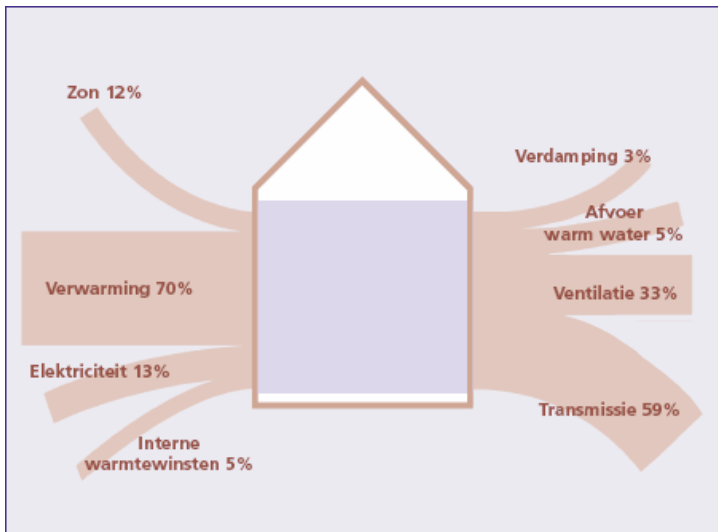
Warmtebehoefte

Het werkelijke energieverbruik van de woning wordt echter door een groot aantal andere factoren mee bepaald, onder andere door:

- De opslagcapaciteit van het gebouw (beïnvloed door onder andere de mate van isolatie en ventilatie)
- De thermische traagheid van de verwarmingsinstallatie
- Het rendement van de warmteproductie en de warmtedistributie
- De zorgvuldige en spaarzame bediening door de bewoners
- De efficiëntie van de verwarmingsregeling

Als men al deze gegevens tegenover elkaar plaatst, krijgt men de warmtebalans van een woning (ODE-Vlaanderen, 2003b).

Figuur 4: Warmtebalans van een gemiddelde woning in Vlaanderen.



Bron: ODE-Vlaanderen, 2003b

2.1 Warmteverliezen

Warmteverliezen zijn het gevolg van de transmissieverliezen doorheen het buitenomhulsel van de woning enerzijds en de ventilatieverliezen anderzijds. Door compact te bouwen (beperken van het volume en de buitenoppervlakte van het gebouw) en een goede isolatie toe te passen, kan men de warmtebehoefte laten dalen. Hiernaast moet een gebouw voldoende luchtdicht zijn afgesloten om de ventilatieverliezen te beperken. Men moet er echter wel rekening mee houden dat er voldoende ventilatie nodig is om de luchtkwaliteit te verzekeren. Voor een gezond binnenklimaat is er een luchtverversing van 3.6 m³/uur per m² nodig. Bovendien moet men hierbij het aantal aanwezige personen in aanmerking nemen. Om de warmteverliezen te beperken, wordt er best voor een gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning geopteerd (ODE-Vlaanderen, 2003b).

2.2 Warmtewinsten

Een deel van de warmtebehoefte wordt ingevuld door warmte die niet afkomstig is van verwarmingsinstallaties. Deze warmte kan geleverd worden door de zon (passieve zonnewinsten) of afkomstig zijn van personen en toestellen die aanwezig zijn in de woning (interne warmtewinsten). De aanwezigheid van interne warmtebronnen zoals keukenapparaten en huishoudtoestellen, personen en verlichting dragen bij tot een temperatuurstijging. De mate waarin men hier voordeel bij heeft, hangt af van het isolatiepeil.

2.3 Warmteverbruik voor sanitaire warmwaterproductie

Een gemiddelde Belg verbruikt 40 liter sanitair warm water per dag. Voor een gezin van 4 personen bedraagt het totale energieverbruik per jaar voor de bereiding van warm water ongeveer 3000 kWh of 10.800 MJ. Dit stemt overeen met ongeveer 18% van de totale warmtebehoefte van de woning (ODE-Vlaanderen, 2003a).

In de volgende hoofdstukken zullen al deze aspecten verder besproken worden. Er zal met name dieper ingegaan worden op de constructie van de woning en het isolatiegebruik. Naast energiezuinigheid op het gebied van verwarmen, wordt er ook aandacht besteed aan het opwekken van elektriciteit met behulp van fotovoltaïsche zonnepanelen.

Hoofdstuk 3: Constructie van de woning

Indien men een energiezuinige woning wenst, houdt men hier best reeds rekening mee bij het ontwerp. Er wordt best geopteerd voor een zo compact mogelijke vormgeving. Hierdoor zal de verliesoppervlakte van de buitenmuren zo beperkt mogelijk blijven. Compacte woningen benaderen dus zoveel mogelijk de bolvorm. Bovendien heeft een rijwoning een veel kleiner verliesoppervlak dan een woning in open bebouwing.

Door veel ramen en kamers op het zuiden te richten, kan er optimaal gebruik gemaakt worden van zonnewarmte en lichtinval, met andere woorden passieve zonne-energie. Hierdoor kunnen de energiekosten dalen met 5 à 20% indien de woning voldoende geïsoleerd is (ODE-Vlaanderen, 2003a). Er moeten wel gepaste maatregelen genomen worden wanneer er zich grote glasoppervlakten op het zuiden bevinden. Om oververhitting in de zomermaanden te voorkomen kan men bijvoorbeeld gebruik maken van zonnewering of speciaal glas.

Naast het eigenlijke ontwerp van de woning is ook de uitvoering ervan (en dan vooral het gebruik van isolatie) van het grootste belang om zuiniger te kunnen omspringen met het energieverbruik.

3.1 Isolatie (Eykens en Remes, 1998, ODE-Vlaanderen, 2003 en 2005, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2005 en 2006, Livios, 2006)

Volgens ODE-Vlaanderen (2005b) kan men in een goed geïsoleerde woning tot bijna de helft besparen op verwarmingskosten in vergelijking met een woning waarin geen isolatie werd aangebracht. Bovendien heeft men hierdoor ook kleinere en dus normaal goedkopere verwarmingsinstallaties nodig. Isolatie verhoogt ook het comfort in de woning aangezien het isolatiemateriaal de temperatuur van de wanden doet stijgen. Vooraleer verder te gaan

met de bespreking, zullen eerst enkele veel gebruikte termen in verband met de mate van isolatie worden toegelicht.

3.1.1 Terminologie in verband met isolerende eigenschappen

1) Lambda-waarde

De relatieve isolerende waarde van een bepaald materiaal wordt aangeven door de Lambda-waarde of warmtegeleidingscoëfficiënt. Deze geeft aan in welke mate het materiaal de warmte geleidt en wordt uitgedrukt in $W/m \cdot K$ {afkomstig van $W/(m^2K/m)$ }. Hoe lager de lambda-waarde, hoe beter het materiaal isoleert. Dat wil evenwel niet zeggen dat materialen met een lage lambda-waarde sowieso beter zijn dan materialen met een iets hogere lambda-waarde. De hogere lambda-waarde kan immers gecompenseerd worden door een dikkere uitvoering van het materiaal. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de meest courante isolatiematerialen en hun overeenkomstige lambda-waarde.

Tabel 3: Lambda-waarden van isolatiemateriaal

Isolatiemateriaal	Afkorting	Lambda-waarde ($W/m \cdot K$)
Glaswol	MW	0.032 à 0.040
Rotswol	MW	0.035 à 0.042
Cellenglas	CG	0.042 à 0.050
Geëxpandeerd polystyreenschuim	EPS	0.033 à 0.042
Geëxtrudeerd polystyreenschuim	XPS	0.026 à 0.033
Polyurethaanschuim	PUR	0.023 à 0.032
Polyisocyanuraat	PIR	0.023 à 0.032

Bron: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2006d

2) U-waarde

De U-waarde of warmtedoorgangscoefficiënt geeft de isolatiewaarde van een bepaald constructieonderdeel van de woning aan (vb. vloer, wand, dak). Deze waarde vervangt de vroegere k-waarde. De U-waarde van een constructieonderdeel komt overeen met de hoeveelheid warmte die per seconde, per vierkante meter en per graad temperatuurverschil tussen binnen- en buiten overgaat van de lucht in een binnenruimte naar de buitenlucht. De U-waarde wordt bepaald aan de hand van de verschillende materiaallagen waaruit het constructieonderdeel bestaat, meer bepaald de dikte en de keuze van de bouwstenen, isolatie of beglazing. Deze waarde wordt uitgedrukt in W/m^2K . Concreet wordt de U-waarde berekend door de lambda-waarde van het gegeven materiaal te delen door de dikte (uitgedrukt in meter). Hoe lager de U-waarde van een constructieonderdeel, hoe minder warmte er door het deel naar de buitenomgeving verloren gaat, of hoe beter de isolatiewaarde van het materiaal. Met externe factoren zoals de oriëntatie van de muur, de ventilatie en de kwaliteit van de plaatsing wordt voor de berekening van de U-waarde geen rekening gehouden.

Volgende tabel toont aan hoe dik de vermelde materialen moeten uitgevoerd worden om dezelfde isolatiewaarde te behalen.

Tabel 4: Vergelijkende dikte voor zelfde isolatiewaarde

Materiaal	Dikte in cm	U-waarde (W/m^2K) * 10^{-3}
Polyurethaanschuim	4	5.75 à 8
Geëxtrudeerd polystyreenschuim	5	5.2 à 6.6
Glaswol	6	5.33 à 6.67
Rotswol	6	5.83 à 7
Geëxpandeerd polystyreenschuim	6	5.5 à 7

Cellenglas	7	6 à 7.14
------------	---	----------

Bron: ODE-Vlaanderen, 2006d

3) R-waarde

Een andere waarde die soms wordt gebruikt is de R-waarde of de warmteweerstand. Deze wordt uitgedrukt in m^2K/W . De waarde geeft de verhouding weer tussen de dikte van de materiaallaag en de lambda-waarde of warmtegeleidbaarheid. Hoe groter de waarde hoe beter het materiaal isoleert.

4) Overgangsweerstand

De totale warmteweerstand van een constructie kan bekomen worden door de sommatie van de weerstanden van afzonderlijke lagen van de constructie en de overgangsweerstand van de binnenlucht naar de constructie en van de constructie naar de buitenlucht. Zo zal een constructie bestaande uit meerdere lagen beter isoleren omwille van de overgangsweerstand.

5) K-waarde

Deze waarde staat voor de globale isolatiewaarde van een gebouw en wordt uitgedrukt in W . Hoe lager de K-waarde, hoe beter het huis geïsoleerd is en hoe minder warmteverliezen er zijn. De K-waarde wordt berekend aan de hand van de U-waarde van de aparte constructieonderdelen (vloer, dak, wand). Verder speelt ook de compactheid van de woning een rol. Hoe compacter de woning, hoe lager de K-waarde. Concreet wil dit bijvoorbeeld zeggen dat een kubusvormige woning in het algemeen een lagere K-waarde haalt dan een balkvormige woning die op dezelfde wijze geïsoleerd is.

6) E-peil

Sinds 1 januari 2006 is de EnergiePrestatie en Binnenklimaatreglementering van kracht, die onder andere de nieuwe term E-peil introduceert. De energiestaatie (E-peil) van een gebouw drukt uit hoe een gebouw presteert op het vlak van energieverbruik. Het E-peil hangt af van de geleidingsverliezen, ventilatieverliezen, interne warmtewinsten, zonnwinsten, het rendement van de verwarmingsinstallaties, het rendement van de warmwaterproductie en van eventuele zonne-energiesystemen. Bij het berekenen van de energiestaatie van een gebouw wordt het totale energieverbruik omgerekend naar het primaire energieverbruik (stookolie, aardgas, elektriciteit). In vergelijking met een referentiewaarde levert dit het E-peil van een gebouw. Voor particuliere woningen zal een E-peil van 100 verplicht worden. Deze regelgeving wordt in latere hoofdstukken verder besproken.

3.1.2 Keuze van het materiaal

Op de markt zijn een zeer groot aantal goedgekeurde isolatiematerialen beschikbaar. Er wordt best voor een materiaal gekozen met een lage lambda-waarde. Hiernaast zijn ook het vochtgedrag, mechanische sterkte en stijfheid, vormvastheid, chemische weerstand, brandgedrag en de plaats van toepassing van belang.

3.1.2.1 Muurisolatie

Een spouwmuur bestaat traditioneel uit vijf lagen: de gevelsteen, de luchtsouw, de thermische isolatie, de binnenmuur en een binnenbepleistering. Deze laatste laag zorgt voor de luchtdichtheid.

Thermische isolatie in de luchtspouw beperkt de warmtedoorgang. Om dit te bereiken kan men de luchtspouw gedeeltelijk of volledig opvullen met isolatiemateriaal. De isolatie moet vooral goed tegen de binnenmuur aansluiten om een valse spouw te vermijden. Hierdoor krijgt men circulatie van lucht rond de isolatieplaten of -matten waardoor de isolerende werking van het materiaal gedeeltelijk verloren gaat.

De meest gebruikte isolatiematerialen voor spouwmuren zijn zachte of halfstijve isolatiematten in minerale wol (glaswol of rotswol), stijve isolatieplaten in polyurethaanschuim, geëxpandeerd polystyreenschuim (ook gekend onder de naam piepschuim) en geëxtrudeerd polystyreenschuim. Wanneer de woning opgebouwd is uit een houtskeletstructuur, worden er zachte of halfstijve isolatiematten in minerale wol tussen de houten stijlen geplaatst. Meestal is het mogelijk om een dikker isolatiepakket te verwerken in de houtskeletwand.

Bij oudere woningen is er vaak geen spouwmuur aanwezig. Zij zijn opgetrokken uit massieve of volle muren. Hier kan isolatie zowel tegen de binnenkant als tegen de buitenkant geplaatst worden. Buitenisolatie verdient de voorkeur, maar is niet altijd mogelijk. Bij buitenisolatie moet minstens 5 à 7 cm geplaatst worden en is er een aanvullende bescherming en afwerking nodig met bijvoorbeeld leien, platen, gewapend pleister of metaal. Binnenisolatie is delicaat omwille van het risico op condensatie en mag daarom alleen toegepast worden na een grondige bouwfysische studie. Bij isoleren aan de binnenkant is 5 à 7 cm isolatie een minimum.

Indien er toch een spouw aanwezig is, kan er bij renovatie nog isolatie in de spouwmuur ingeblazen worden. Met aangepaste apparatuur wordt, na controle van de spouw en de kwaliteit van het buitenblad, een compact waterafstotend pakket van bijvoorbeeld rotswol ingeblazen via boorgaten in het buitenspouwblad.

Om goed te isoleren is niet alleen de keuze van het materiaal belangrijk, maar ook een goede en nauwkeurige plaatsing om koudebruggen te voorkomen. Een koudebrug is een

plaats waar de thermische isolatie tussen de binnenmuur en de buitenmuur onderbroken is. Op die plaatsen gaat veel warmte verloren. Dit kan aanleiding geven tot oppervlaktecondensatie en schimmelvorming. Om dit te vermijden mag de isolatie nergens onderbroken worden en moet deze dus één geheel vormen.

De kans op koudebruggen is vooral groot aan de balken boven vensters en deuren, de dorpels, aan de aansluiting van een binnenmuur met een massieve buitenmuur en aan funderingsaansluitingen. Om koudebruggen te vermijden kunnen isolerende baksteen of cellenglas gebruikt worden in funderingen en metselwerk.

3.1.2.2 Dakisolatie

Indien het gebouw beschikt over een hellend dak en de zolder enkel gebruikt wordt als bergruimte kan er isolatie aangebracht worden in of op de zoldervloer. Een isolatiedikte van 10 tot 20 cm wordt aanbevolen.

Wanneer de zolderruimte ook voor andere doeleinden gebruikt wordt, kan de isolatie aangebracht worden in het dakschild. Hiervoor zijn er vier typeoplossingen beschikbaar.

Er kan gebruik gemaakt worden van zelfdragende isolerende dakelementen. Het dak wordt opgebouwd uit sandwichpanelen waarbij de kepers, isolatie, het onderdak en de tengellatten deel uitmaken van het sandwichpaneel.

Een tweede oplossing is navulling. Hierbij wordt de ruimte tussen de kepers opgevuld met een isolatiemateriaal. Voor deze toepassing worden halfstijve platen minerale wol aanbevolen boven spijkerflensdekens. Deze laatste bemoeilijken het volledig egaal en luchtdicht aanbrengen van het isolatiemateriaal. In de dakconstructie moet steeds een ononderbroken lucht/dampscherm aangebracht worden. Dit scherm belet dat het intern geproduceerde vocht (bijvoorbeeld uit de keuken en badkamer) zich zou ophopen in de

geplaatste dakisolatie. Indien het materiaal vochtig wordt, gaat er immers een deel van de isolatiewaarde verloren.

Een derde methode is deze van de isolerende binnenafwerking. Hiervoor worden kant en klare elementen zoals warmte-isolatie en gipskarton gebruikt. Deze oplossing kan vooral bij renovaties gebruikt worden. De isolatie wordt boven op de kepers of spanten aangebracht en doet tevens dienst als onderdak.

Een laatste oplossing is het sarkingdak. Dit is een isolatiesysteem waarbij de isolatieplaten boven op de kepers en spanten worden aangebracht. De methode is geschikt als drager voor dakbedekking in stroken of platen.

Andere methoden worden gebruikt wanneer het gebouw beschikt over een plat dak. Bij een warm plat dak bestaat de methode erin op de draagvloer eerst een dampscherm aan te brengen en daarna de isolatie. Hierop komt dan later de dakafdichting.

Een tweede methode is deze van het omgekeerde platte dak waarbij de isolatie bovenop de dakafdichting geplaatst wordt. Hierbij is een balast noodzakelijk om het isolatiemateriaal op zijn plaats te houden.

3.1.2.3 Vloerisolatie

De vloer vormt eveneens een grote verliesoppervlakte in de woning. De noodzakelijke dikte van de isolatie is onder ander afhankelijk van de ondergrond (volle grond, boven een kruipruimte, boven een al dan niet verwarmde ruimte).

Bij een vloer boven een kruipruimte, kelder of andere onverwarmde ruimte wordt best een isolatielaag bevestigd onder de draagvloer of tussen de draagvloer en de gewapende dekvloer.

Er kan gekozen worden voor een isolatiemateriaal (bijvoorbeeld drukvaste isolatieplaten of een gespoten isolatiemateriaal) of een isolerende uitvullingslaag (bijvoorbeeld een isolerende chape). Deze laatste heeft een hogere lambda-waarde waardoor er dus een dikkere laag moet aangebracht worden om de vloer in dezelfde mate te isoleren.

Vloerisolatie wordt nog te vaak verwaarloosd bij nieuwbouw en renovaties. Vooral vloeren op volle grond worden onvoldoende geïsoleerd. Dit draagt er toe bij dat veel woningen niet voldoen aan de minimumnormen.

3.1.2.4 Isolerend glas

Ramen hebben een grote invloed op de warmteverliezen van de woning aangezien glas een hogere warmtedoorgangscoefficiënt heeft dan geïsoleerde wanden. Om deze verliezen te verminderen kan best geopteerd worden om enkele beglazing te vervangen door dubbele en bij voorkeur door superisolerend glas of hoogrendementsbeglazing. Hoogrendementsglas, het zogenaamde 1.3- of 1.1-glas (waarbij deze cijfers voor de U-waarde staan), isoleert ongeveer 5 keer beter dan enkel glas en 2 tot 3 keer beter dan gewoon dubbel glas. De meerkost kan relatief snel terugverdiend worden door besparing op verwarming. Hoogrendementsglas is opgebouwd uit een binnen- en buitenblad uit floatglas met in het midden een spouw die gevuld is met een edelgas zoals argon. Een andere mogelijkheid is dat aan de binnenzijde van één van de glasbladen een metaallaagje is aangebracht. Op de markt zijn ook toepassingen beschikbaar waarbij hoogrendementsglas gecombineerd wordt met andere functies zoals een zonwerende functie om oververhitting tegen te gaan, akoestische isolatie en veiligheid.

Het warmteverlies door een raam wordt ook bepaald door de isolerende eigenschappen van het schrijnwerk. Houten raamprofielen en profielen uit PVC zijn beter isolerend dan deze uit

metaal. Bij metalen ramen is een thermische onderbreking van het raamwerk dan ook noodzakelijk.

3.1.3 Andere toepassingen van isolatie

Naast de reeds vermelde toepassingen worden ook best de leidingen van de centrale verwarming in onverwarmde ruimtes geïsoleerd zoals bijvoorbeeld in de kruipruimte, op zolder of in de garage. Op deze manier verliest het circulerende water niet onnodig warmte.

Achter radiatoren kan ook best een radiatorfolie of warmteschild bevestigd worden. Deze weerkaatst een groot deel van de warmte die anders in de muur verloren zou gaan. Deze maatregel kan volgens ODE-Vlaanderen binnen het jaar terug verdiend worden.

In volgende paragraaf zal nagegaan worden welke eisen er door de overheid opgelegd worden op het gebied van isolatie.

3.1.4 Wetgeving

In Vlaanderen was er tot 2005 een reglementering van kracht die minimumeisen oplegde aan de isolatie van woongebouwen bij het bouwen of verbouwen. Een nieuwbouwwoning moest volgens de isolatiereglementering in Vlaanderen voldoen aan een maximaal globaal isolatiepeil K55. Op basis van een energetische doorlichting (het VLIET-SENVIVV onderzoek) van 200 representatieve woningen en appartementsgebouwen uitgevoerd door het WTCB (het Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf) in Vlaanderen werd echter vastgesteld dat in de praktijk het gemiddelde isolatiepeil van de bestudeerde woningen K77 was en K69 voor appartementen. Slechts 20% van de onderzochte gebouwen bleek aan het vereiste isolatiepeil te voldoen.

Tabel 5: Minimale en aanbevolen isolatie tot 2005

	Minimale isolatiedikte (isolatiereglementering)	Doorgedreven isolatie (aanbeveling)
Spouwmuur	4-6cm	10cm
Vloeren	4cm	6cm
Daken	8-10cm	15cm
Beglazing	Dubbel glas $U = 3W/(m^2.K)$	Hoogrendementsbeglazing met $U=1.1-1.3 W/(m^2.K)$

Bron: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2005b

Vanaf 1 januari 2006 wordt de Vlaamse isolatiereglementering vervangen door de EPB-eisen oftewel de EnergiePrestatie en Binnenklimaatregelgeving. Voor alle bouwaanvragen vanaf dit tijdstip gelden er strengere isolatie-eisen en moet er ook voldaan worden aan een bepaald niveau van energieprestatie (isolatie, verwarmingsinstallatie, zonne-energie,...) en ventilatie. Volgens de nieuwe norm mag de K-waarde van een woongebouw bijvoorbeeld nog maximaal K45 bedragen. In latere hoofdstukken wordt deze regelgeving verder besproken.

3.2 Luchtdicht bouwen

Om warmteverliezen naar buiten toe te beperken is het naast goed isoleren ook belangrijk om zo luchtdicht mogelijk te bouwen. Wind, verwarming en mechanische ventilatie veroorzaken verschillen in luchtdruk tussen binnen en buiten. Daardoor kan warmte via kieren en spleten ontsnappen. Luchtdicht bouwen betekent dat men deze spleten en kieren zoveel mogelijk gaat beperken. Op deze manier worden overmatige luchtinfiltratie en tochtproblemen vermeden.

Om dit te bereiken moeten de constructiedelen aan de binnenzijde luchtdicht uitgevoerd worden. Dit doet men door de muren aan de binnenzijde te bepleisteren. Bij daken en

houtskeletbouw brengt men een aparte laag of folie aan die meteen ook de functie van damp scherm vervult. Er moet ook extra aandacht besteed worden aan de aansluiting van vensters en de aansluiting van het dak aan de buitenmuren (VIBE, 2001, ODE-Vlaanderen, 2003 en 2005).

Er zijn tegenwoordig heel wat verschillende methoden voor de constructie van een woning. Naast de traditionele stenen uitvoering, zijn er ook minder frequente technieken beschikbaar zoals houtskeletbouw, strobalebouw en leembouw. Op deze laatste methode zal hierna verder ingegaan worden.

3.3 Leembouw

Zoals eerder aangegeven werd, wordt het goed isoleren van huizen steeds belangrijker om ecologische en economische redenen. Dit kan alleen bereikt worden door sterk isolerende en tochtvrije wanden te creëren. Een oude techniek die tegenwoordig terug aandacht krijgt is het toepassen van leembouw.

De algemene mening dat leem op zichzelf bijzonder warmte-isolerend is, is niet juist. Een massieve stamplenen wand of een muur in leemsteen zonder poreuze toeslagstoffen heeft ongeveer een gelijke isolerende werking als een even dikke wand uit baksteen.

Bepalend voor de warmte-isolerende werking van een materiaal is zijn poriënvolume en daarmee samenhangend zijn volumemassa en zijn vochtgehalte. Hoe meer luchtporiën er zijn, hoe lichter het materiaal en hoe beter zijn warmte-isolerende werking. Hoe vochtiger het materiaal, hoe lager de isolerende werking. Zo wordt bijvoorbeeld bij de stro-leemtechniek leem gemengd met strovezels. De strovezels hebben naast een wapeningsfunctie (droogkrimp vermijden) ook nog een isolerende functie.

Leem is een materiaal met een lage energie-inhoud. Dit wil zeggen dat er weinig energie aan het materiaal moet worden toegevoegd tijdens de levensloop (van delving tot sloop). In België en Nederland komt leem op geringe diepte voor waardoor er weinig energie nodig is om het te winnen. Bij de verwerking van leem tot bouwproduct is eveneens zeer weinig energie nodig. Leem wordt niet gebakken, maar gedroogd in de buitenlucht.

Een onderzoek uitgevoerd door het ruimtevaartlaboratorium NASA, naar aanleiding van de warmte-absorptie van de neuskegelschildjes van een space shuttle, toont aan dat leem de meeste energie per m³ kan opnemen in vergelijking met andere bouwmaterialen. Voor een lemen woning betekent dit dat de muren (zonne-)energie goed kunnen opslaan om die later weer in de vorm van warmte uit te stralen. Hierdoor wordt de temperatuursbalans positief beïnvloed en worden warmte- en koudepieken in de woning gedempt. Dit komt vooral door de thermische traagheid van leem. Hiermee wordt verwezen naar de eigenschap om schommelingen in de buitentemperatuur vertraagd en verminderd naar het binnenoppervlak door te geven.

Bovendien zorgt de leem door zijn hygroscopische eigenschappen (dit is de mogelijkheid om waterdamp uit de omgeving op te nemen en terug af te geven) ervoor dat de relatieve vochtigheid in de woning vrij constant is, circa 50%. Dit betekent dat per saldo minder energie nodig zal zijn om een lemen woning te verwarmen dan een vergelijkbare traditionele woning, waarin de relatieve vochtigheid kan oplopen tot 80% of meer (Eykens en Remes, 1998).

3.4 Passiefhuis

Recent is er ook meer aandacht voor het begrip passiefhuis. Deze gebouwen zouden een comfortabel binnenklimaat in de winter en zomer hebben zonder conventioneel verwarmingssysteem. De term verwijst naar een constructiestandaard. Het brutoverbruik voor ruimteverwarming moet kleiner zijn dan 15 kWh/m²*jaar en het totale verbruik voor

ruimteverwarming, sanitair warm water en elektrische apparaten samen moet minder zijn dan 42 kWh/m²*jaar. Deze standaard wordt bewerkstelligd door een geheel aan technologieën, ontwerpen en materialen (Passiefhuis-Platform, 2006).

Ten eerste wordt de gebouwschil zeer sterk geïsoleerd. Bovendien is er een doorgedreven vorm van luchtdichtheid en wordt de stralingswarmte van de zon opgevangen door een goede oriëntatie en oppervlakte van de ramen. Bovendien wordt er een mechanische balansventilatie met hoogrendement warmterecuperatie gebruikt. Deze laatste is noodzakelijk om de luchtkwaliteit op peil te houden en toch energiezuinigheid na te streven. Op het concept ventilatie wordt in volgend hoofdstuk dieper ingegaan.

Hoofdstuk 4: Ventileren

Er zijn drie goede redenen waarom voldoende ventileren zo belangrijk is. Door te ademen gebruiken mensen zuurstof, terwijl ze koolstofdioxide en waterdamp afgeven. Voldoende zuurstoftoevoer is dus belangrijk om gezondheidsredenen. Bovendien produceert een gezin gemiddeld 10 à 20 liter woonvocht per dag door bijvoorbeeld te koken en te wassen. Ventileren vermindert de kans op allergieën en vermijdt condensatie en schimmelvorming. Bovendien voorkomt men op deze wijze dat hinderlijke of schadelijke stoffen in de woning blijven en er zich opstapelen.

Minimaal en gecontroleerd ventileren is het evenwicht zoeken tussen voldoende en niet overmatig verluchten om energieverlies te beperken. De toevoer van verse lucht vindt best plaats in droge ruimtes zoals in de woonkamer, slaapkamer of het bureau. Vanuit deze droge ruimtes moet de verse lucht via tussenruimtes zoals de gang of trappenhall kunnen doorstromen naar de natte ruimtes zoals keuken, badkamer, toilet en wasruimte. Hier wordt dan de vochtige, vervuilde lucht afgevoerd. De garage en kelder worden best afzonderlijk geventileerd via verluchttingsroosters.

De Belgische ventilatienorm (NBN D 50-001) bepaalt hoe snel een bepaalde hoeveelheid lucht in een ruimte ververst moet worden. In principe bedraagt de nodige hoeveelheid lucht die toegevoerd en afgevoerd moet worden 3.6 m³/uur per vierkante meter vloeroppervlakte van de ruimte oftewel 3.6 m/h. De nodige ventilatie is ook afhankelijk van het aantal personen in de ruimte. Het bedrijf JAGA is bijvoorbeeld momenteel een systeem aan het ontwikkelen dat de hoeveelheid CO₂ in de lucht meet en de mate van luchtverversing hierop afstemt.

De Belgische norm schrijft verschillende mogelijkheden van systemen 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, 2006d).

4.1 Systeem A: natuurlijke toevoer en afvoer

Bij dit systeem vindt er een natuurlijke toevoer van verse lucht in de droge ruimtes plaats via toevoerroosters in vensters of muren. De doorstroming van lucht gebeurt met behulp van roosters in binnenwanden en –deuren of via spleten onder de binnendeuren. Natuurlijke afvoer van vervuilde lucht in de natte ruimtes vindt plaats via verticale afvoerkanalen met regelbare roosters.

Het voordeel van dit systeem is de lage kostprijs. Er is weinig onderhoud nodig en het is eenvoudig te installeren. Later kunnen er gemakkelijk nieuwe roosters toegevoegd worden. Bovendien is er geen elektrisch verbruik van ventilatoren.

Het systeem realiseert echter een schouweffect op basis van de wind- en luchtdruk. Bijgevolg is het niet of zeer beperkt regelbaar. Bij veel wind treden soms grote warmteverliezen op. Het systeem is dus weinig energiezuinig. Bij sommige weersomstandigheden kan daarentegen de ventilatie dan weer onvoldoende zijn.

4.2 Systeem B: mechanische toevoer en natuurlijke afvoer

Bij deze methode is er een mechanische toevoer van verse lucht in de droge ruimtes via elektrische ventilatoren. De doorstroming van de lucht gebeurt zoals bij systeem A. Er is een natuurlijke afvoer van vervuilde lucht via verticale afvoerkanalen die zo dicht mogelijk uitmonden bij de nok van het dak. Dit systeem is theoretisch mogelijk, maar wordt zelden praktisch toegepast.

Dit systeem haalt beter de normen in alle weersomstandigheden. Er is meer keuze in de plaats van de toevoer- en afvoeropeningen en het systeem kan gebruikt worden voor korte intensieve ventilatie door het debiet van de ventilatoren tijdelijk te verhogen.

Het nadeel van dit systeem is het feit dat er een hoger energieverbruik door de ventilatoren is. Om dit te beperken opteert men best voor een zo energiezuinig mogelijk type.

4.3 Systeem C: natuurlijke toevoer en mechanische afvoer

Bij deze methode vindt er een natuurlijke toevoer van verse lucht plaats via toevoerroosters. De doorstroming gebeurt op dezelfde wijze als bij A. De vervuilde lucht wordt daarentegen mechanisch afgevoerd via elektrische ventilatoren. Dit type heeft dezelfde voor- en nadelen als bij systeem B.

4.4 Systeem D: mechanische toevoer en afvoer

Bij deze manier van ventileren gebeurt zowel de toevoer als de afvoer van lucht mechanisch. Bij dit systeem bestaat de mogelijkheid om warmte terug te winnen. Een groot deel van de warmte van de afgevoerde lucht wordt gerecupereerd en hergebruikt om de toevoerlucht voor te verwarmen. Dit resulteert in minimaal en gecontroleerd ventileren met 70 à 90 % minder energieverlies, afhankelijk van het rendement van de warmtewisselaar. Bovendien geeft het systeem minder problemen met over- en onderdruk en behoudt het dezelfde voordelen als bij systeem C. Er moet wel opgelet worden dat de warmteterugwinning uitgeschakeld kan worden tijdens de zomer als de buitentemperatuur te hoog oploopt. Ook hier is er een hoger energiegebruik door de ventilatoren en wordt er dus best geopteerd voor een zo zuinig mogelijk type (ODE-Vlaanderen, 2005).

In de winter kan de temperatuur van de aangezogen buitenlucht soms zeer laag zijn. In de zomer stelt zich net het omgekeerde probleem. Een oplossing hiervoor is de Canadese put. Deze maakt gebruik van de relatief constante temperatuur die er in de bodem heerst vanaf een bepaalde diepte. Er wordt hierbij een buis met een diameter van 16 cm en een lengte van 30 meter ingegraven op een diepte van 1m80 of meer waardoor lucht zal stromen. Hieraan wordt een systeem van mechanische ventilatie met warmterecuperatie gekoppeld.

In de winter zal de inkomende lucht in de woning hierdoor al een temperatuur van ongeveer 12°C hebben, waardoor er bespaard kan worden op verwarming. In de zomer kan het systeem daarentegen instaan voor koeling. Eenmaal de Canadese put geïnstalleerd is, zijn er nagenoeg geen onderhoudskosten of werkingskosten. Deze toepassing kan zowel bij nieuwbouw als renovatie toegepast worden. Aangezien de buizen in een lus gelegd worden, volstaat een terreinlengte van 15 m. De kosten voor plaatsing van een Canadese put worden geschat op 1000 EUR exclusief BTW (Sels, J., 2005).

Hoofdstuk 5: Verwarmingsinstallaties

De belangrijkste energiepost in een woning is de verwarming met zo'n 50 tot 75 % van het huishoudelijk energieverbruik. Het is dan ook belangrijk om verliezen zoveel mogelijk te beperken. De ruimteverwarming in woningen is verantwoordelijk voor ongeveer 20 % van de totale CO₂-emissies in Vlaanderen (ODE-Vlaanderen, 2003b).

Indien men opteert voor een centrale verwarming kiest men best voor een hoogrendementsketel gecombineerd met pompschakelaar en thermostatische kranen per kamer. Deze ketels worden aangegeven met een label: Optimaz voor stookolieketels, HR+ voor ketels op aardgas. Een condensatieketel heeft nog een hoger rendement. Hierbij wordt de warmte uit de rookgassen eveneens benut. In vergelijking met een hoogrendementsketel kan er met een condensatieketel een extra energiebesparing van 6% gehaald worden. De overheid raadt aan om installaties die ouder zijn dan 20 jaar te vervangen door een ketel met een hoog rendement. Op deze manier zou het mogelijk zijn om 20 tot 30 % energie te besparen (ODE-Vlaanderen, 2003).

Een alternatief voor aardgas en stookolie zijn de zogenaamde houtpellets. Dit zijn cilindervormige brandstofdeeltjes uit geperst houtafval afkomstig van de houtverwerkende industrie en houtzagerijen. Houtpellets vallen onder de term biomassa. Ze worden als relatief CO₂-neutraal gezien omdat bij de verbranding ongeveer evenveel CO₂ vrijkomt als deze die door de boom werd opgenomen. De houtpellets kunnen zowel in kachels gebruikt worden als in houtketels voor centrale verwarming.

Wanneer er geopteerd wordt voor afzonderlijke kachels kan men best kiezen voor een type met een hoog rendement. De klassieke individuele gas-, kolen- of stookoliekachels hebben een laag rendement (50 à 70 %). Bovendien halen deze zuurstof uit de woonruimte en kunnen ze lijden tot CO-vergiftiging, vocht in de woning en tocht.

Een zuiniger alternatief vindt men bij gesloten gevelkachels met een hoog rendement (>85%). Deze worden dwars doorheen een buitenwand met de buitenlucht verbonden. Op

die manier kunnen ze zelf hun verbrandingslucht aanzuigen. Ze worden aangesloten met een dubbelwandige buis waarvan het binnenste gedeelte als schoorsteen dient en het buitenste deel de verse lucht aanvoert. Andere voordelen van gevelkachels zijn hun snelle reactie, lage kosten in installatie en compactheid. Bovendien is er geen stookplaats of schoorsteen nodig.

Een andere mogelijkheid om de woning te verwarmen is de installatie van een allesbrander. Deze is echter altijd milieuonvriendelijk. Bij de verbranding komen dioxines vrij, net zoals bij kleine houtkachels en open haarden. Ook het energierendement bij deze toepassingen is zeer laag. Grotere houtkachels halen een hoger rendement, tegelkachels zijn op dit vlak het beste.

Directe elektrische verwarming is gezien de huidige omstandigheden af te raden. Voor het opwekken van 1 kWh elektriciteit bij de gebruiker is in een klassieke centrale 2.5 kWh fossiele energie nodig. Er wordt dus maar een omzettingsrendement van 40 % gehaald. De rest gaat verloren aan warmte in de centrale en verliezen tijdens het transport.

Naar de toekomst toe zou dit scenario echter kunnen wijzigen. Er zijn volop studies aan de gang om na te gaan of het mogelijk is om met behulp van kernfusie elektriciteit op te wekken op grote schaal. Met behulp van kernfusie zou men het probleem van radioactieve straling die vrijkomt bij de techniek van kernsplijting kunnen vermijden. Er zou in dat geval met weinig energie grote hoeveelheden elektriciteit opgewekt kunnen worden. Indien dit mogelijk zou zijn, zou een elektrische verwarming dus wel een goed alternatief kunnen vormen.

Naast de keuze van de verwarmingsinstallatie is ook het regelmatige onderhoud ervan belangrijk. Slecht afgestelde installaties zorgen voor extra milieubelasting en een verlaagd rendement. Het is eveneens belangrijk dat de verwarmingsketel niet overgedimensioneerd is en dus aangepast aan de grootte van de woning. Bij voorkeur wordt de ketel zo

gedimensioneerd dat de installatie op volle kracht kan werken bij zeer koud weer en op lagere kracht gedurende de rest van het stookseizoen.

Naast de klassieke methoden van verwarmen zijn er ook toepassingen die gebruik maken van duurzame energie. Onder deze categorie vallen de warmtepompen en installaties op zonne-energie. Deze zullen in volgende hoofdstukken uitgebreid besproken worden.

Hoofdstuk 6: Warmtepompen (Jansseune en Thoelen, 2000, Ode-Vlaanderen, 2003b en 2006)

Een warmtepomp is een systeem dat warmte op relatief lage temperatuur kan benutten voor toepassingen op hogere temperatuur. De installatie kan warmte uit de omgeving (lucht, water of bodem) op voldoende hoge temperatuur brengen voor de verwarming van woningen of sanitair warm water. Een voorwaarde is wel dat de woning goed geïsoleerd en winddicht is. De geleverde energie wordt voor 65 à 80 % uit de omgeving gewonnen. Op deze manier is de CO₂-uitstoot beduidend lager dan bij klassieke opstellingen. Het grote probleem is dat warmtepompen vaak niet rendabel zijn gezien de hoge investeringskost. Warmtepompen hebben in Vlaanderen nog geen algemene ingang gevonden voor woningverwarming, maar krijgen toch steeds meer aandacht.

6.1 Werking

Op natuurlijke wijze gebeurt warmtetransport normaal van een hoog naar een laag temperatuurniveau. Een warmtepomp doet net het omgekeerde. De installatie onttrekt thermische energie (warmte) aan een medium (warmtebron) op een bepaalde temperatuur en geeft deze energie bij een hogere temperatuur af aan een ander medium (warmte-afgiftesysteem). Het warmtetransport gebeurt door middel van een vloeistof, met name het warmtedragend medium.

Bij de werking wordt gebruik gemaakt van drie fysische verschijnselen:

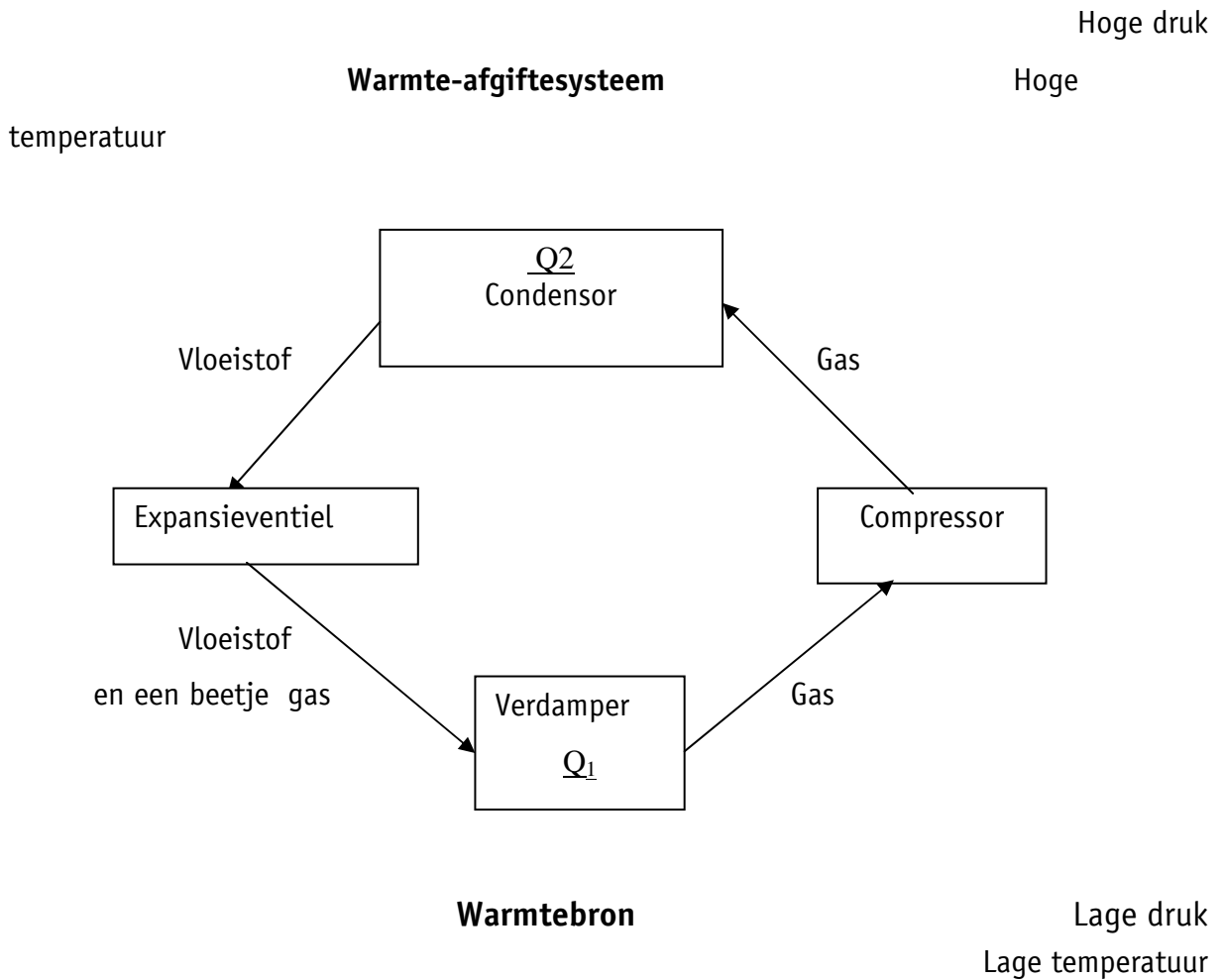
- Het kookpunt van een vloeistof is afhankelijk van de druk van de vloeistof. Het kookpunt daalt bij dalende druk.
- De temperatuur van een gas stijgt onder toenemende druk.
- Warmte wordt opgenomen bij verdamping en komt vrij bij condensatie.

Er wordt een warmtedragend medium gekozen waarvan het kookpunt bij lage druk onder de temperatuur van de bron ligt.

6.1.1 Warmtepompcyclus

De warmtepompen die op de markt beschikbaar zijn werken volgens verschillende principes. In de woningbouw wordt meestal een elektrisch aangedreven compressiewarmtepomp gebruikt. Bij dit type stroomt een warmtedragend medium tussen de warmtebron en het warmte-afgiftesysteem. Dit warmtedragend medium verdampt op lage druk in een verdamper en neemt hierbij warmte op vanuit de warmtebron. Een compressor, die arbeid levert, zuigt de gassen uit de verdamper en drukt deze samen waardoor de temperatuur en het kookpunt verhogen. De gassen onder hoge druk en hoge temperatuur stromen daarna door de condensor waardoor ze afkoelen en terug vloeibaar worden. Hierbij geven ze warmte af aan het warmte-afgiftesysteem. Hierna komt de stof in een ontspanner of expansieventiel terecht waar het terugkeert naar de oorspronkelijke druk. Het medium stroomt opnieuw door de verdamper en de cyclus herhaalt zich. De afgegeven warmte is de som van de opgenomen warmte van de warmtebron en de arbeid die door de compressor geleverd werd op de gassen.

Figuur 5: Grafische voorstelling van de werking van een warmtepomp



6.2 Winstfactor en systeemwinstfactor

De compressor, die de druk en daardoor ook de temperatuur van het warmtedragend medium verhoogt, is het enige onderdeel van een warmtepomp dat energie verbruikt. De winstfactor of coefficient of performance (COP) wordt daarom bepaald door het energieverbruik van de compressor. Deze wordt berekend door de geleverde nuttige energie Q_2 te delen door de opgenomen elektrische energie W van de compressor, met andere woorden: $COP=Q_2/W$.

Een goede warmtepomp kan voor elke kWh elektriciteit die door de compressor wordt verbruikt tussen 2.5 en 6 kWh nuttige warmte leveren, wat dus een winstfactor of COP van 2.5 tot 6 betekent.

Hoe groter de noodzakelijke energieverhoging die de compressor dient te realiseren, hoe hoger het energieverbruik zal zijn. De drukverhoging hangt samen met de nodige temperatuurstijging. Deze is op zijn beurt afhankelijk van het temperatuursverschil tussen de warmtebron en het warmteafgiftesysteem. Om een hoge winstfactor te bewerkstelligen is met andere woorden een warmtebron nodig met een hoge temperatuur en een warmteafgiftesysteem op lage temperatuur.

De warmtepomp is echter slechts één onderdeel van de installatie. Binnen het totale warmtepompsysteem zijn er ook nog circulatiepompen aanwezig en eventueel een waterpomp indien het om een systeem gaat met grondwater als warmtebron. Het verbruik van deze toestellen wordt niet in rekening gebracht bij de winstfactor of COP. Om zowel het energieverbruik van de warmtepomp als deze van de randapparatuur na te gaan wordt de systeemwinstfactor of Seasonal Performance Factor, de SPF, berekend. De prestatie van het warmtepompsysteem wordt over het ganse stookseizoen berekend en zal steeds lager liggen dan de COP. De SPF laat toe warmtepompsystemen onderling en met andere verwarmingssystemen te vergelijken.

Er moet hierbij vermeld worden dat de juiste dimensionering van de warmtepompinstallatie zeer belangrijk is. Bij een te grote dimensionering zal er een lager rendement behaald worden en is er een te hoge investering noodzakelijk. Het is dus belangrijk de correcte warmtebehoefte van een woning na te gaan. Tot slot moet er nog vermeld worden dat het exergetisch rendement van warmtepompen meestal laag ligt.

6.3 Mogelijke warmtebronnen

De keuze van warmtebron is afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden en van de functie die de warmtepomp dient te vervullen. De essentiële parameters bij de keuze zijn de beschikbaarheid van de warmtebron, de gemiddelde en minimum temperatuur ervan, de temperatuur van de bron na meerdere stookseizoenen, de warmte- en koudebehoefte van de woning. Hierna wordt dieper ingegaan op de mogelijke bronnen, namelijk grond, water en lucht.

6.3.1 Grond

In de oppervlaktelagen van de bodem zijn er schommelingen in temperatuur ten gevolge van de seizoenen. Op één meter diepte schommelt de temperatuur tussen 4 en 17°C. Naarmate men dieper in de bodem boort, verkleinen deze schommelingen om vanaf 5 à 7 meter diepte nagenoeg te verdwijnen. Op deze diepte heeft de bodem een temperatuur tussen de 10 en 12 °C. Nog dieper in de bodem stijgt de temperatuur met 1.5 à 3°C per 100 meter.

Bij een warmtepomp die warmte onttrekt uit de bodem wordt gebruik gemaakt van een warmtewisselaar. Deze bestaat uit een buizenstelsel waardoor een mengsel van water en een antivriesproduct, meestal glycol, circuleert. De juiste dimensionering van de warmtewisselaar is van belang om rendementsverlies te voorkomen.

De temperatuur van de grond rond deze warmtewisselaar zal dalen gedurende het stookseizoen. De COP zal dus afnemen gedurende deze periode. Na het stookseizoen begint een herstel of regeneratie van de temperatuur. Dit herstel kan zich echter niet volledig doorzetten omdat na een bepaalde tijd een nieuw stookseizoen zich aanmeldt. De gemiddelde temperatuur rond de collector zal na een aantal jaren stabiliseren, maar op een

lager peil dan het oorspronkelijke. Er bestaan twee soorten grondwarmtewisselaars, namelijk een verticaal en een horizontaal type.

1) Verticale grondwarmtewisselaar

Een verticale grondwarmtewisselaar is opgebouwd uit aardsondes (verticale buizen). Voor een gemiddelde woning volstaat 150 à 200 boormeter. Op dit niveau bedraagt de temperatuur 10 à 14 °C. De brontemperatuur is dus relatief hoog en bovendien is er weinig variatie in de temperatuur. Het voordeel van dit type is dat het weinig ruimte in beslag neemt. Het is bovendien bijna overal toepasbaar. Het nadeel is, zoals reeds eerder gezegd, de daling van de brontemperatuur gedurende het stookseizoen. Er is aangepaste computerprogrammatuur nodig en een goede lekdichtheid om te voorkomen dat het glycol in de omgeving terecht komt.

2) Horizontale grondwarmtewisselaar

Dit systeem bestaat uit een netwerk van buizen, een captatienet dat op een diepte van 1 meter, dus onder de vorstgrens, of meer in de bodem wordt ingegraven. Zoals eerder al werd vermeld is de temperatuur van de bodem op kleinere diepte te sterk afhankelijk van de buitentemperatuur. Dit systeem kan enkel toegepast worden indien men over voldoende ruimte beschikt. Voor een gemiddelde woning bedraagt de nodige grondoppervlakte tussen de 200 en 500 m². De nadelen van dit systeem zijn de variërende brontemperatuur en de daling van de brontemperatuur gedurende het stookseizoen. Er moet bij dit type opgelet worden voor uitputting van de bodem. Dit systeem vereist eveneens een aangepaste lekdichtheid.

6.3.2 *Water*

Indien men opteert om water als warmtebron te gebruiken zijn er verschillende mogelijkheden. Enerzijds kan men gebruik maken van ondergrondse waterlagen en anderzijds kan men kiezen om warmte te onttrekken uit oppervlaktewater. Deze twee mogelijkheden worden hierna verder besproken. Andere mogelijkheden zijn het gebruik van koelwater, afvalwater en rivierwater.

1) Grondwater

Een eerste mogelijkheid is water uit ondergrondse lagen te gebruiken als warmtebron. In deze lagen bevindt zich water met een temperatuur van 10 à 14 °C. Er is meestal een meer dan voldoende hoeveelheid grondwater aanwezig opdat de temperatuur niet zou dalen bij onttrekking van warmte. De COP zal dientengevolge hoog zijn en weinig variëren.

Bij de meeste toepassingen wordt het grondwater in een pompput opgezogen door middel van een onderwaterpomp en wordt het via de warmtepomp terug naar een retourput geleid. Het systeem neemt dus slechts een beperkte oppervlakte in beslag. Een goede kwaliteit van het grondwater is belangrijk om de warmtewisselaar niet aan te tasten. Om oxidatie te voorkomen mag het water niet met de lucht in contact komen. De aanwezige kalk en ijzer in het water zou zich anders kunnen afzetten op de wanden van de leidingen, putten en de warmtewisselaar met verstoppingen tot gevolg. Het grondwatercircuit wordt onder overdruk geplaatst om te voorkomen dat er zuurstof uit het water zou kunnen vrijkomen. Bovendien is het verplicht om via de retourput het water terug in dezelfde watervoerende laag te brengen.

Afhankelijk van de geologie bedraagt de gemiddelde diepte van de pompput tussen de 20 en 100 meter. Boringen dieper dan 150 meter zijn economisch minder interessant. Per kW geleverd thermisch vermogen heeft men ongeveer 0.2 à 0.3 m³/uur water nodig van 10°C.

De juiste keuze van onderwaterpomp is zeer belangrijk omdat het vermogen mede de winstfactor van het totale systeem bepaalt. Het vermogen van de pomp is afhankelijk van het debiet, het waterpeil tijdens het pompen, de drukverliezen over de leidingen en de warmtewisselaar en de overdruk van de retourput. Indien er gebruik wordt gemaakt van een te zware motor gaat de totale winstfactor verminderen. Bij een goede dimensionering ligt het nodige aandrijfvermogen van de grondwaterpomp voor een gemiddelde woning tussen 0.37 en 1 kW.

Grondwater is omwille van de constante, relatief hoge temperatuur de meest geschikte warmtebron maar kan om technische, economische en milieuredenen niet overal gebruikt worden. Een goede kwaliteit van het grondwater is immers niet overal beschikbaar, de noodzakelijke diepte is niet overal haalbaar en men moet over een milieuvergunning beschikken. Er moet namelijk een gegarandeerde scheiding zijn tussen het koelmiddel en het grondwater. De boring, de terugvoerput en de afdichting vragen eveneens extra aandacht. De installatie is vrij complex en de investeringskost is relatief hoog. Een grondige geohydraulische studie is vereist. Omwille van deze redenen worden in Vlaanderen vaak grondwarmtewisselaars gebruikt

2) Oppervlaktewater

Een andere mogelijkheid is het gebruik van oppervlaktewater als medium. Hierbij dient men vooral rekening te houden met de kwaliteit en de temperatuur van het water. Tijdens de winter zal de temperatuur laag liggen waardoor een groter volume aan water over de verdamper moet worden geleid. Deze warmtebron wordt weinig toegepast omdat er zelden een voldoende grote hoeveelheid water beschikbaar is.

6.3.3 *Lucht*

Bij systemen die op lucht werken, kan er enerzijds gebruik gemaakt worden van buitenlucht en anderzijds van ventilatielucht.

1) Buitenlucht

Buitenlucht is onbeperkt aanwezig maar op sterk wisselende temperaturen. Bijgevolg zal de COP bij deze toepassing sterk variëren. Het voordeel van dit systeem is de lage investeringskost. De warmte van de buitenlucht kan onttrokken worden door enerzijds de lucht rechtstreeks over de verdamper te leiden of anderzijds via een captatienet in een energiedak of betonnen constructie waaraan de lucht haar warmte afgeeft.

Aangezien de buitentemperatuur in de winter zeer laag kan zijn, moet de warmtepomp voldoende groot gedimensioneerd worden. Omdat er dus gedurende een groot deel van het stookseizoen een overdimensionering ontstaat, zal hierdoor de winstfactor negatief beïnvloed worden. Om dit te beperken wordt een warmtepomp op buitenlucht meestal gecombineerd met een hulpverwarmingssysteem. Deze wordt enkel ingeschakeld wanneer de warmtevraag hoger is dan deze die door de warmtepomp kan geleverd worden.

Warmtepompen op buitenlucht die functioneren bij een temperatuur beneden de 5°C worden voorzien van een ontdooisysteem. Bij lage temperatuur gaat er zich namelijk rijm afzetten op de warmtewisselaar. Dit veroorzaakt een vermindering van het luchtdebiet door de warmtewisselaar en de warmte-uitwisseling gaat dalen doordat de rijm een soort van isolatielaagje vormt. Het ontdooisysteem kan op twee manieren werken. Enerzijds kan de werking van de warmtepomp gedurende een kort tijdsbestek omgekeerd worden. Hierbij gaat de condensor als verdamper dienst doen en omgekeerd. Anderzijds kan het warmtedragend medium kortstondig voorbij de compressor en voor de condensor afgetapt en over de verdamper teruggeleid worden.

2) Ventilatielucht

Omdat het debiet van het ventilatiesysteem beperkt is, kan er slechts in beperkte mate warmte aan ventilatielucht onttrokken worden. Maar omwille van de hoge luchttemperatuur haalt een dergelijke warmtepomp nog een aanvaardbare COP voor hogere afgiftetemperaturen. Een warmtepomp op ventilatielucht wordt dan ook voornamelijk toegepast voor de verwarming van sanitair water, eventueel gecombineerd met een gedeeltelijke woningverwarming indien de woning zeer goed geïsoleerd is (bijvoorbeeld K30). Het hulpverwarmingssysteem kan dan beperkt gedimensioneerd worden.

6.4 Warmte-afgiftesystemen

Bij de meeste conventionele centrale verwarmingssystemen bedraagt de temperatuur van het aanvoerwater 90°C en de retourtemperatuur 70°C. Bij een verwarmingssysteem op lage temperatuur is het water niet warmer dan 55°C. Bij een monovalente warmtepomp (geen extra hulpverwarming) is een installatie op lage temperatuur een noodzakelijke voorwaarde. De wateraanvoertemperatuur is bij voorkeur niet hoger dan 45°C en de retourtemperatuur bedraagt maximum 35°C. Om een woning te verwarmen met een dergelijk systeem is een warmteafgiftesysteem vereist met een groot warmteafgevend oppervlak gecombineerd met een goede isolatie. Meestal wordt geopteerd voor vloer-, muur- of plafondverwarming of overgedimensioneerde radiatoren. Andere mogelijke toepassingen zijn warmeluchtverwarming of convectoren met geforceerde ventilatie.

Zoals reeds eerder vermeld werd, is het energieverbruik van de warmtepomp afhankelijk van het temperatuursverschil tussen warmtebron en afgiftesysteem. Het beste rendement zal behaald worden bij een zo laag mogelijke temperatuur van het warmte-afgiftesysteem. Per graad temperatuursverlaging verhoogt de COP met 2%. De verschillende soorten van afgiftesystemen worden hierna verder bekeken.

6.4.1 Vloerverwarming

Bij vloerverwarming wordt een buizennet of leidingregister waardoor water op lage temperatuur circuleert in de vloeropbouw ingebed. Enerzijds is er het type A of natte type waarbij de buizen in de dekvloer liggen. Anderzijds spreekt men van type B of het droge type wanneer de buizen in de isolatielaag verzonken zijn. Bij deze laatste methode is de warmteafgifte kleiner, maar aangezien de totale vloerdikte kleiner is, kan dit systeem gebruikt worden bij renovatie. Deze verwarmingstechniek geeft haar warmte af via straling. Voor optimaal gebruik wordt er best geopteerd voor een dunne vloerafwerking met lage warmteweerstand. Onder het buizennetwerk wordt isolatie geplaatst om het warmteverlies naar beneden toe zoveel mogelijk te beperken.

6.4.2 Muurverwarming

Bij muurverwarming wordt een netwerk van buizen in de muuroppervlakte verwerkt. Er kan ook gebruik gemaakt worden van verticale kanalen waardoor warme lucht geblazen wordt. Meestal wordt geopteerd voor de eerste methode die dan gecombineerd kan worden met vloerverwarming op plaatsen waar de beschikbare vloerooppervlakte beperkt is. Een voorbeeld hiervan is de keuken of badkamer waar veel van de ruimte wordt ingenomen door de aanwezige installaties. Muurverwarming kan zowel toegepast worden in steenachtige muren als bij houtskeletbouw.

6.4.3 Plafondverwarming

Een derde techniek is plafondverwarming. Hierbij wordt het buizennet in de plafondopbouw verwerkt. Deze methode is een goede oplossing in ruimtes waar zowel koeling als verwarming vereist is gezien het grote koelvermogen van deze techniek.

6.4.4 *Overgedimensioneerde radiatoren*

Radiatoren en convectoren geven hoofdzakelijk hun warmte af via convectie (circulerende lucht). Voor conventionele toepassingen worden de genormaliseerde radiatorvermogens berekend met het oog op een gemiddelde temperatuur van 80°C. Indien men gebruik maakt van installaties op lage temperatuur zal er dus een overdimensionering noodzakelijk zijn om dezelfde warmteafgifte te bekomen.

6.4.5 *Warmeluchtverwarming*

Bij een warmeluchtverwarming wordt lucht opgewarmd in een generator en via een kanalenet naar de te verwarmen ruimten gevoerd met behulp van een ventilator. Door het ontbreken van stralingswarmte dient de luchttemperatuur echter hoger te zijn om hetzelfde comfort te bekomen. Bovendien moet er meer energie verbruikt worden voor het transporteren van lucht in vergelijking met water.

6.4.6 *Convectoren met een geforceerde ventilatie*

Convectoren met geforceerde ventilatie of ventilo-convectoren kunnen gezien worden als verbeterde vectoren. In het verwarmingslichaam is een ventilator ingebouwd waardoor er een verbeterde luchtcirculatie ontstaat en dus een betere warmteafgifte. Het grote nadeel van deze toepassing is de hoge geluidsproductie en de stofneerslag ten gevolge van de geforceerde luchtbeweging. Om deze redenen wordt deze methode dan ook niet vaak toegepast.

6.5 Combinatie met hulpverwarming

Bij een monovalente warmtepomp zorgt enkel de warmtepomp voor de verwarming van de woning. De types grond-water en water-water zijn voor deze toepassing geschikt, waarbij de eerste term staat voor de warmtebron en de tweede voor het warmte-afgiftesysteem. Bij een mono-energetische warmtepomp wordt de voornaamste warmtebehoefte gedekt door de warmtepomp, maar bij zeer lage buitentemperaturen wordt de werking aangevuld met een elektrische bijverwarming.

Een andere mogelijkheid is deze van de bivalente warmtepomp. Deze bestaat uit twee verwarmingssystemen. Tot een bepaalde externe temperatuur zorgt de warmtepomp voor de woningverwarming. Wanneer er een nog hogere behoefte is, wordt deze aangevuld door een tweede systeem op aardolie of gas. Het type lucht-water werkt bij voorkeur bivalent. De warmtebehoefte is het grootst op momenten waarop de buitenluchttemperatuur het laagst is. Hierdoor zou anders een overdimensionering nodig zijn op andere momenten tijdens het stookseizoen. Bij het gebruik van ventilatielucht als warmtebron is er daarentegen een te beperkte hoeveelheid lucht ter beschikking waardoor een hulpverwarming noodzakelijk wordt.

Deze hulpverwarming kan op drie manieren toegepast worden. Ten eerste is er het parallel bedrijf. Hierbij treden de warmtepomp en de hulpverwarming samen in werking indien dit vereist is. Een tweede mogelijkheid is alternatieve verwarming waarbij de warmtepomp uitgeschakeld wordt wanneer er onvoldoende warmte kan geleverd worden. De hulpverwarming neemt de volledige taak over. In de praktijk wordt echter meestal een combinatie van beide toegepast: gedeeltelijk parallel, gedeeltelijk alternatief. Hierbij treedt de hulpverwarming in werking wanneer de energievraag hoger is dan deze die de warmtepomp kan leveren. De warmtepomp zorgt dan voor de voorverwarming. Indien echter de retourtemperatuur van het warmte-afgiftesysteem hoger ligt dan de maximale wateraanvoertemperatuur van de warmtepomp dan neemt de hulpverwarming de volledige werking voor haar rekening en wordt de warmtepomp uitgeschakeld.

6.6 Warmtepompen voor koeling en verwarming van sanitair water

Naast het gebruik van de warmtepomp voor verwarming, kan de installatie ook ingeschakeld worden als koelsysteem. De types grond-water en water-water kunnen ingezet worden voor natuurlijke koeling. Het glycolwater of het opgepompte grondwater wordt hierbij niet langs de compressor geleid, maar onttrekt de warmte aan het water van het warmte-afgiftesysteem. Enkel de circulatiepomp wordt hierbij gebruikt.

Een andere mogelijkheid is de werking om te keren. Bij een omkeerbare warmtepomp doet de condensor dienst als verdamper en neemt warmte op uit het warmte-afgiftesysteem. De verdamper die dienst doet als condensor geeft warmte af aan de warmtebron.

De toepassing van actieve koeling wordt met het oog op duurzaam gebruik echter afgeraden. Bij een goed ontwerp van de woning en een goede zonnewering volstaat het in ons klimaat meestal om een comfortabele temperatuur te behouden tijdens de zomermaanden.

Naast deze toepassingen kan de warmtepomp ook gebruikt worden voor de bereiding van sanitair warm water. Omdat het afnamepatroon van warmte voor deze toepassing gelijkmatiger is dan voor woningverwarming is de warmtepomp zeer geschikt om deze functie met een goed rendement te vervullen. De meest gebruikte techniek is een warmtepompboiler die warmte onttrekt uit de binnenlucht. Andere mogelijke warmtebronnen zijn ventilatielucht en grond. In bestaande woningen waar een gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning niet toepasbaar is of indien het gebruik van een zonneboiler niet mogelijk is, biedt de warmtepompboiler vaak een goede oplossing.

De warmtepompboiler kan gecombineerd worden met zonnecollectoren die het water in het voorraadvat of boiler opwarmen via een warmtewisselaar. De naverwarming gebeurt dan door de warmtepomp.

6.7 Collectieve warmtepompsystemen

Collectieve warmtepompsystemen kunnen ingezet worden voor de verwarming van meerdere woningen. Deze systemen hebben verschillende voordelen. Ten eerste zijn ze goedkoper dan individuele warmtepompsystemen met collectieve warmtebron. Het totale vermogen is bovendien lager dan de som van de nodige individuele vermogens. Hiernaast maakt deze methode een bivalent systeem betaalbaar. Er is minder ruimtebeslag in de woning, er zijn geen geluidsproblemen en weinig onderhoud op individueel niveau. Aan het collectieve systeem zijn echter ook een aantal nadelen verbonden. Ten eerste is er de kostprijs van en de warmteverliezen in het distributiesysteem. Bovendien moet de aanvoertemperatuur afgestemd zijn op de gebruiker met de hoogste warmtebehoefte. Er is de kostprijs van de individuele verbruiksmeters en er is een warmtebron nodig met een grote capaciteit.

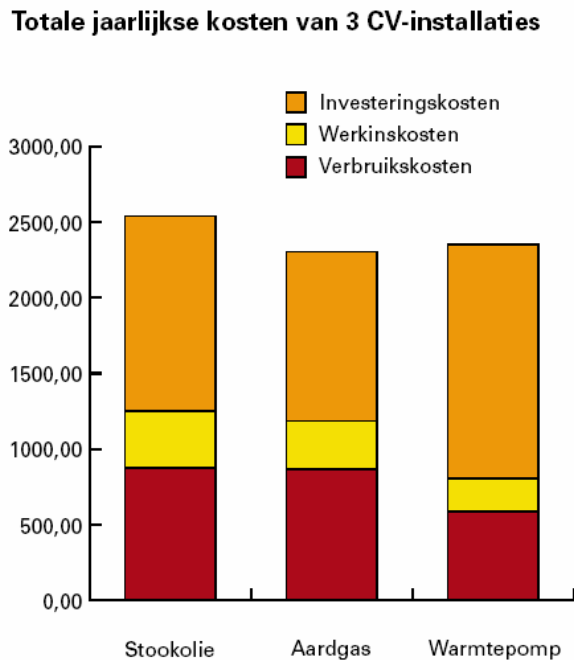
6.8 Kostprijs

De jaarlijkse verbruikskosten van een warmtepomp zal lager zijn dan bij een traditionele verwarmingsinstallatie op aardgas of stookolie. Hier tegenover staat dat de investering in een warmtepompinstallatie veel hoger ligt. Afhankelijk van de warmtebron variëren de verbruiks- en installatiekosten sterk. Bij een warmtepomp met grond als warmtebron ligt de investering voor een gemiddelde woning 1000 tot 2000 EUR hoger dan voor een installatie op stookolie en 3000 tot 4000 EUR hoger dan voor een installatie op aardgas.

In het kader van het IDEG-project werd de gemiddelde jaarlijkse kostprijs van verschillende verwarmingsinstallaties voor een gemiddelde, degelijk geïsoleerde Vlaamse woning onderzocht. De kosten waarmee rekening werd gehouden, kunnen onderverdeeld worden in drie categorieën. Enerzijds zijn er de verbruikskosten. Dit is de kostprijs voor het energieverbruik van de installatie (prijzen voor stookolie, gas en elektriciteit in februari 2005). Ten tweede zijn er de werkingskosten. Hierin zijn de kosten voor jaarlijks onderhoud

en herstellingen begrepen. Daarnaast zijn er nog de installatiekosten waaronder het totale bedrag voor de installatie wordt verstaan inclusief plaatsing.

Figuur 6: Totale jaarlijkse kosten voor 3 verschillende CV-installaties



(Bron: ODE-Vlaanderen, 2006)

Uit het onderzoek bleek dat de gemiddelde jaarlijkse kostprijs van een warmtepompinstallatie lager is dan de kostprijs van een installatie op stookolie. Een installatie op aardgas bleek goedkoper.

Om de installatie van een dergelijk systeem aan te moedigen, komt de investeringskost sinds 2004 in aanmerking voor een belastingsaftrek. Bovendien worden er door de netbeheerders aanvullende premies verleend. Naast de netbeheerders kennen ook heel wat gemeenten nog extra premies toe voor de installatie van een warmtepomp. In latere hoofdstukken zal dit aspect verder besproken worden.

6.9 Wettelijke bepalingen

6.9.1 Meldings- en vergunningsplicht

Voor een aantal warmtepompen bestaat er een meldingsplicht of is er een specifieke vergunning vereist. De bepalingen hieromtrent kan men terug vinden in Vlarem I en II.

Een voorbeeld van deze bepalingen is de regeling voor systemen op grondwater die teruggevonden kan worden in Vlarem I rubriek 53.6. Boringen van grondwaterwinningsputten en grondwaterwinning die gebruikt worden voor koude-warmtepompen met een opgepompt debiet van minder dan 30.000 m³/jaar behoren tot klasse 2. Er moet in dit geval een vergunning aangevraagd worden bij de gemeente. Bovendien is het verplicht een debietmeter en een peilbuis te plaatsen. De meeste warmtepompen voor huishoudelijke doeleinden blijven onder dit debiet. Als er echter meer dan 30.000 m³/jaar wordt opgepompt, komt men in klasse I terecht. Er zijn dan bijkomende voorwaarden en de vergunningsaanvraag verloopt in dit geval via de provincie. Hiernaast moet men nog rekening houden met de bepalingen uit Vlarem II hoofdstuk 5.53.6.2.1. Deze verbiedt grondwaterwinningen bestemd voor openbare watervoorziening in een beschermingszone van het type I en II.

Een ander voorbeeld betreft warmtepompen met een verticale bodemwarmtewisselaar. Hiervoor vindt men een bepaling terug in Vlarem I rubriek 55.1. Verticale boringen ten behoeve van de aanleg van peilputten tot op een diepte van 50 meter behoren tot klasse 3. Er is hierbij dus enkel meldingsplicht via de gemeente. Vanaf een diepte van 50 meter of meer ten op zichte van het maaiveld spreekt men van klasse 2 en dient er een vergunning aangevraagd te worden bij de gemeente.

6.9.2 *Heffingen*

Indien men een warmtepomp installeert die gebruik maakt van grondwater is men onderworpen aan een heffing op waterverontreiniging. Een voorstel tot wijziging van de wet van 26 maart 1971 wordt evenwel voorbereid. Er zal in dat geval niet langer een heffing verschuldigd zijn indien het grondwater terug in dezelfde watervoerende laag wordt terug gebracht. Een heffing op de winning van grondwater voor toepassing bij een koude-warmtepomp is niet verschuldigd vanwege de vrijstelling door artikel 28 ter §8° van het decreet van de Vlaamse regering van 24 januari 1984 houdende maatregelen inzake het waterbeheer.

Naast het rationeel omgaan met traditionele brandstoffen kan men ook gebruik maken van hernieuwbare energiebronnen. Zonne-energie is zulk een hernieuwbare bron. In het volgende hoofdstuk zal dieper ingegaan worden op het actief en passief inzetten van zonne-energie in de woning.

Hoofdstuk 7: Gebruik van zonne-energie (Feinstein, 1998, Giancoli, 1998; Jansseune en Thoelen, 2000; ODE-Vlaanderen, 2003a, 2004a en b; Bourgeois, 2005)

Zonne-energie kan op meerdere wijzen nuttig gebruikt worden. Zij kan gebruikt worden als lichtbron, als drijvende kracht bij natuurlijke ventilatie en voor warmte- en elektriciteitsproductie. Zoals reeds vermeld kan zonne-energie op een passieve manier gebruikt worden indien men hieraan aandacht schenkt bij het ontwerp van de woning. De geleverde energie kan optimaal gebruikt worden als licht- en warmtebron bij een zuidelijke oriëntering van de ramen en een goede isolatie, rekening houdend met maatregelen om oververhitting te voorkomen.

Zonne-energie kan ook op een actieve manier ingezet worden. Er kan gebruik gemaakt worden van een zonneboiler voor de verwarming van sanitair water. Zonnecollectoren kunnen ingezet worden bij de verwarming van de woning, de zogenaamde thermische systemen. Hiernaast zijn er de fotovoltaïsche zonne-energiesystemen, ook PV-systemen genoemd, waarbij het licht wordt opgevangen door zonnecellen en rechtstreeks omgezet in elektriciteit.

7.1 Aanwezigheid van zonne-energie

Uit een studie over het langetermijnpotentieel van duurzame energiebronnen uitgevoerd door de oliemaatschappij Shell bleek dat elektriciteit uit duurzame energiebronnen een aandeel zou kunnen realiseren van meer dan 50% van de wereldmarkt tegen 2060. Zonne-energie (zowel fotovoltaïsch als thermisch) zou een aandeel van ongeveer 15% kunnen halen (Shell, 2005).

Per jaar en per m² aardoppervlak bedraagt het energetisch vermogen van de zonnestraling iets minder dan 2000 kWh/m²*jaar. De totale zoninstraling per jaar op de totale aardoppervlakte is theoretisch gelijk aan 10.000 maal de totale wereldenergievraag per jaar

(Giancoli, 1998). In de praktijk moet men echter rekening houden met factoren zoals beschikbare ruimte, omzettingsverliezen, beschaduwning en verantwoorde kosten.

Door de hogere breedtegraad levert de zoninstraling in de Benelux minder energie per m². In Vlaanderen bedraagt het energetisch vermogen van de zonnestraling 1000 kWh/m²*jaar op een horizontaal vlak. Een zuidelijk gericht hellend vlak kan tot 12% meer lichtinstraling opvangen. Het aanbod is echter aan sterke schommelingen onderhevig. Door de vaak voorkomende bewolking wordt de zoninstraling bovendien verstrooid tot zogenaamd diffuus licht. Het daglicht komt namelijk gelijkmatig uit alle richtingen wanneer de hemel bewolkt is. Bovendien is ook bij heldere hemel een deel van de lichtinstraling diffuus. Over een gans jaar genomen bereikt ongeveer 60% van de totale zoninstraling ons grondgebied in de vorm van een diffuus karakter. Alle toepassingen werken zowel bij direct als bij diffuus zonlicht, maar de opbrengst is duidelijk hoger bij directe inval. In volgende paragrafen wordt het gebruik van thermische en fotovoltaïsche systemen verder besproken.

7.2 Zonneboilers

Een zonneboiler is een actief thermische zonne-energiesysteem waarbij een collector het invallende licht opvangt en het omzet in warmte die wordt doorgegeven aan een warmtetransporterende vloeistof. Een eerste mogelijkheid is de zonneboiler die gebruikt wordt voor het opwarmen van sanitair warm water. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van grotere collectoren en voorraadvat kan het verwarmde water ook in beperkte mate ingezet worden voor woningverwarming.

7.2.1 Werking

Thermische zonnepanelen bestaan uit een aantal componenten. Deze worden hierna besproken.

1) De zonnecollector

Een eerste component is de zonnecollector. Deze bestaat uit een lichtdoorlatende afdekplaat, een absorber en isolatiemateriaal. De absorber is een metalen plaat met aan de bovenzijde een warmteabsorberende laag. Hierin zijn kanalen verwerkt waardoor een vloeistof kan stromen. Meestal gaat het hierbij om water, eventueel vermengd met additieven zoals glycol. Onder invloed van de zon stijgt de temperatuur in de absorber, die op zijn beurt de warmte afgeeft aan de vloeistof.

Aan de achterzijde van de absorber worden de warmteverliezen beperkt door isolatiemateriaal aan te brengen. Hier kan bijvoorbeeld glaswol zonder bindhars voor gebruikt worden omdat het materiaal hittebestendig moet zijn. Een andere mogelijkheid is een vacuümcollector. Vacuüm is een perfecte isolator. Alhoewel deze toepassingen meestal duurder zijn, hebben ze een hogere opbrengst.

Aan de voorzijde van de absorber zorgt de wind voor convectieverlies. Om dit verlies te verminderen wordt de absorber afgedekt met glas met een luchtspouw. Synthetische materialen worden hier niet voor gebruikt omdat ze onder invloed van UV-straling minder duurzaam zouden zijn. De glasplaat zorgt er echter ook voor dat een deel van het zonlicht weerkaatst wordt aan het oppervlak en een gedeelte wordt geabsorbeerd door de glasplaat zelf. Om het optisch effect te verminderen wordt gebruik gemaakt van ijzerarm glas met een hoge doorlaatbaarheid.

2) Het voorraadvat

Een tweede component van de zonneboiler is het voorraadvat. Dit geïsoleerde waterreservoir zorgt ervoor dat de langzaam opgeslagen zonnewarmte desgewenst snel en op een later tijdstip kan worden afgetapt. Bovendien zorgt het ook voor de overbrugging van een dag met onvoldoende zon.

In het voorraadvat bevindt zich een warmtewisselaar die een scheiding vormt tussen het gebruikswater en de warmtetransportvloeistof. Warm water wordt aan de bovenzijde van het vat afgetapt en onderaan wordt koud water toegevoegd. Om de tijdens de zomer geproduceerde zonnewarmte tijdens de winter te benutten, kan een ondergrondse energieopslag gebruikt worden. In Vlaanderen worden een tiental van dergelijke systemen gebruikt.

3) Naverwarming

Door middel van een zonnecollector kan koud leidingwater opgewarmd worden tot een temperatuur tussen de 10 en 90°C, afhankelijk van het zonneaanbod en de hoeveelheid afgetapt water. Omdat de temperatuur van het water hoog kan oplopen, wordt er best gebruik gemaakt van thermostatische mengkranen. Indien de watertemperatuur echter te laag is, kan een naverwarming ingeschakeld worden. Voor de keuze van naverwarmingstoestel moet wel opgelet worden dat er geen stoomvorming plaatsvindt als er verwarmd water in het toestel komt. Bij voorraadtoestellen is dit meestal geen probleem. Doorstroomtoestellen zoals gasgeisers verdragen echter vaak geen warm water aan de ingang.

4) Primaire kringloop en randapparatuur

In de primaire kringloop circuleert de warmtetransporterende vloeistof tussen de collector en de warmtewisselaar. De afstand wordt best zoveel mogelijk beperkt en de buizen worden bij voorkeur geïsoleerd om warmteverliezen te vermijden.

Meestal zorgt een circulatiepomp voor het rondpompen van de vloeistof. Een regelsysteem zorgt ervoor dat de opgeslagen warmte niet opnieuw verloren gaat wanneer de zoninstraling onvoldoende is. De circulatiepomp draait alleen als de temperatuur in de collector een aantal graden hoger is dan deze in het voorraadvat. Dit systeem beschermt eveneens tegen bevriezing en oververhitting. Om oververhitting in het voorraadvat in de zomer te voorkomen, wordt de circulatiepomp uitgeschakeld indien de temperatuur in het voorraadvat boven een bepaalde temperatuur stijgt.

Om bevriezing van de collectorvloeistof te vermijden, wordt meestal een vloeistof zoals propyleenglycol aan water toegevoegd. Een dergelijke vloeistof biedt vorstbescherming tot -27°C en is bestand tegen hoge temperaturen. Een andere mogelijkheid bestaat erin gebruik te maken van een terugloopsysteem. Indien de pomp niet in werking is, stroomt de collectorvloeistof terug in een reservoir. Dit reservoir wordt binnenshuis opgesteld waardoor er geen bevriezing of oververhitting kan optreden.

Naast de hierboven aangehaalde methoden bestaat er ook nog de mogelijkheid van natuurlijke circulatie. Hierbij is er geen pomp, elektronische regeling en elektrische aansluiting nodig. De natuurlijke circulatie ontstaat doordat vloeistoffen uitzetten bij opwarming. Het voorraadvat wordt boven de collector geplaatst. Circulatie komt tot stand zodra de vloeistof in de collector warmer wordt dan in het voorraadvat. Om bevriezing te voorkomen, wordt de collector gevuld met glycol.

5) Geïntegreerde systemen

Bij geïntegreerde systemen zijn het voorraadvat en de collector samengevoegd tot één geheel. Het systeem bespaart ruimte en bovendien is een pomp en een elektronische regeling niet nodig. Doordat het aantal componenten afneemt dalen de aankooprijks en de plaatsingskosten. Een voorbeeld van deze toepassing is de nokcollector. Deze is buisvormig en wordt, zoals de naam al aangeeft, op de nok van het dak geplaatst. Het systeem bestaat uit een transparante kap met daaronder een koperen mantel met een spectraal selectieve laag die het voorraadvat omhult. De techniek bestaat uit twee over elkaar geplaatste buizen. De binnenste buis doet dienst als voorraadvat, de buitenste buis absorbeert het zonlicht. Beide buizen worden gescheiden door een vacuüm.

7.2.2 Collectorrendement

Het collectorrendement kan weergegeven worden als de verhouding tussen de nuttige warmte die de collector levert en de invallende zonne-energie:

$$\eta = \text{nuttige warmte/invallende straling} = Q_n/G = \eta_0 - U \cdot \{T_m - T_u\}/G$$

met Q_n = nuttige warmte (W/m^2)

G = invallende straling in het collectorvlak (W/m^2)

$\eta_0 = t \cdot \alpha$ = optisch rendement

t = transmissiecoëfficiënt = de eigenschap om warmte af te geven aan de vloeistof rekening houdend met warmteverlies door straling

α = absorptiecoëfficiënt = de eigenschap om de zonnestralen op te vangen en in warmte om te zetten

U = verliescoëfficiënt of isolatiekwaliteit van de collector ($W/m^2 \cdot K$)

T_m = gemiddelde temperatuur van de vloeistof in de absorber ($^{\circ}C$)

T_u = omgevingstemperatuur ($^{\circ}C$)

Uit bovenstaande formule blijkt dus dat het rendement afhangt van de eigenschappen van de collector (η_o , U) en van de bedrijfsomstandigheden (T_m , T_u en G). Het rendement ligt meestal tussen de 20 en 40%.

Aangezien de eigenschappen van een bepaald type collector vastliggen, kan men het collectorrendement ook weergeven in functie van de bedrijfsomstandigheden T_m , T_u en G . Deze bedrijfsomstandigheden kan men samenbundelen in de formule: $T^* = T_m - T_u / G$.

7.2.3 Opbrengst en opstelling

Bij de vertaling naar een jaaropbrengst moet men niet enkel rekening houden met factoren zoals de karakteristieken van de collector, het aftappatroon (hoeveelheid, temperatuur, spreiding over dag en/of nacht) en de klimaatzone. Ook de opstelling van de collector zelf is van groot belang. De grootste opbrengst is te verwachten indien de collector naar het zuiden gericht is. Bij een opstelling die op het zuidoosten of zuidwesten gericht is, is de opbrengst enkele procenten lager. Bij een plaatsing op het oosten of het westen is de opbrengst tot 20% lager. Bij nokcollectoren heeft de oriëntatie weinig of geen invloed.

Ook de hellingshoek is belangrijk. Bij een horizontaal opgestelde collector bedraagt de opbrengst slechts 87% in vergelijking met een optimale opstelling. Dit is te verklaren door de grote hoeveelheid diffuus licht in België.

Bovendien moet ook beschaduwing door naburige objecten vermeden worden en dient de afstand tussen de collector, het voorraadvat en de naverwarming zoveel mogelijk beperkt te worden om onnodige warmteverliezen te voorkomen.

Een zonneboiler met naverwarming verbruikt heel wat minder energie dan indien het water volledig zou opgewarmd worden door een klassiek verwarmingssysteem op stookolie,

aardgas of elektriciteit. Bij onvoldoende zonneaanbod zorgt de zon namelijk nog steeds voor de voorverwarming van het water. De besparing is medeafhankelijk van het rendement van de naverwarming.

7.2.4 Kostprijs

Voor een gezin van drie tot acht personen wordt meestal een collectoroppervlakte tussen 3 en 8 m² opgesteld en een voorraadvat met een inhoud van 100 tot 500 liter. Een dergelijk systeem kost tussen de 2000 en 5000 EUR exclusief BTW. De installatiekosten liggen meestal tussen 500 à 750 EUR exclusief BTW. De verwachte levensduur van een zonnecollector is langer dan 30 jaar. Voor de andere onderdelen is de verwachting echter 20 jaar. Zonneboilers vergen minder onderhoud dan traditionele warmwaterinstallaties.

7.2.5 Gebruik bij woningverwarming

Een zonneboiler kan ook ingeschakeld worden bij de verwarming van de woning. Hiervoor is er een grotere collectoroppervlakte noodzakelijk, minstens 10 à 15 m². De warmte wordt hierbij opgeslagen in een buffervat van 500 tot 1000 liter. Het is hierbij van het grootste belang dat er gewerkt wordt met een verwarmingssysteem op lage temperatuur zoals vloer- of wandverwarming gecombineerd met een doorgedreven isolatie. De bijdrage van het systeem aan de woningverwarming is echter beperkt en zal naargelang het gekozen systeem niet meer dan 10 tot 25% bedragen. Omwille van deze reden is er steeds een bijkomend verwarmingssysteem noodzakelijk. Er moet hierbij dus een afweging plaatsvinden tussen de hogere investeringskosten en de mogelijke baten.

7.2.6 Vergunningen

Voor het plaatsen van zonnecollectoren voor een zonneboiler is geen vergunning vereist indien deze niet meer bedraagt dan 20% van het dakvlak en de woning niet in een ruimtelijk kwetsbaar gebied gelegen is. Indien het gaat om een plat dak is er geen vergunning vereist ook al wordt er een oppervlakte van meer dan 20% ingenomen.

In volgende paragrafen zal dieper ingegaan worden op een tweede toepassing van actieve zonne-energie, met name de fotovoltaïsche zonnepanelen.

7.3 Fotovoltaïsche zonnepanelen

Zoals reeds eerder vermeld werd, wordt in een fotovoltaïsche zonnepaneel licht rechtstreeks omgezet in elektriciteit. Dit gebeurt volgens een totaal ander werkingsprincipe dan bij thermische systemen. Een andere benaming is een PV-systeem, afkomstig van het Engelse woord 'photovoltaic'

De huidige wereldmarkt voor fotovoltaïsche toepassingen is beperkt, maar groeit sterk. Tussen 2000 en 2004 was er een groei van 35% per jaar. Volgens studies van de Organisatie voor Duurzame Energie Vlaanderen (ODE-Vlaanderen) zou in de toekomst 12 tot 25% van het totale Vlaamse elektriciteitsgebruik (cijfers 2001) opgewekt kunnen worden via PV-systemen. Het gaat hier om het maximum technisch realiseerbare potentieel op de totale beschikbare oppervlakte van goed georiënteerde daken en gevels van gebouwen, inclusief PV-systemen op niet-gebouwstructuren zoals spoorbermen en geluidswanden langs autowegen.

Fotovoltaïsche zonnepanelen kunnen in twee categorieën ingedeeld worden. Een eerste categorie vindt men bij de netgekoppelde systemen. Deze zijn rechtstreeks op het openbaar elektriciteitsnetwerk aangesloten. De PV-module levert gelijkspanning die door middel van

een omvormer of inverter deze stroom omzet in wisselstroom met een omzettingsrendement rond de 90%. De inverter schakelt zichzelf uit van zodra er een stroompanne optreedt om eilandbedrijf te voorkomen.

Een andere categorie zijn de onafhankelijke of autonome systemen. Dit type levert stroom voor een elektrische toepassing die niet gekoppeld is aan het elektriciteitsnet. Meestal slaan de systemen de stroom op in een batterij om de schommeling in vraag en aanbod op te vangen.

Een andere mogelijkheid vindt men bij de hybride systemen. Deze zorgen slechts voor een gedeelte van de nodige energie. Wanneer de energievraag in een bepaalde periode niet gedekt wordt door het fotovoltaïsche systeem, dan wordt gebruik gemaakt van een bijkomende energiebron. Een dergelijk systeem is vaak efficiënter en betrouwbaarder.

PV-systemen voor woningen vindt men tegenwoordig in allerlei vormen. Naast de klassieke panelen, zijn er bijvoorbeeld ook PV-pannen en PV-leien beschikbaar (hierbij zijn een aantal zonnecellen op een pan of lei gekleefd) en semi-transparante panelen die dienst kunnen doen als zonneweringen of toepassing vinden in beglaasde daken.

7.3.1 Soorten

Het meest gebruikte materiaal voor op de markt aanwezige zonnecellen is silicium omwille van de goede verhouding tussen rendement en investeringskosten en de stabiliteit in de tijd. Dit materiaal kan in verschillende vormen voorkomen. Enerzijds zijn er de monokristallijn-silicium zonnecellen. Deze zijn uit één groot monokristal gezaagd. Ze halen rendementen tussen 13 à 16%.

Anderzijds is er polykristallijn silicium. Deze cellen bestaan uit meerdere kristallen. Het productieproces is goedkoper en eenvoudiger, maar het rendement van de cellen ligt lager

dan dat van monokristallijne. Het typisch rendement van commercieel geproduceerde siliciumzonnecellen varieert van 12 tot 15% voor polykristallijn materiaal.

Een derde mogelijkheid is amorf silicium. Hierbij wordt het silicium niet gezaagd, maar in een dunne film op een dragende onderlaag van glas, kunststof of metaal aangebracht. Er is hierbij geen geordend kristalrooster aanwezig. Voordelen zijn het kleiner materiaalverbruik, de eenvoudige continue productie met laag energieverbruik en de mogelijkheid om grote oppervlaktes op goedkope dragers zoals glas aan te brengen. De productiekosten zijn laag, maar het celrendement bedraagt daarentegen slechts de helft van kristallijn silicium zodat de kosten per geïnstalleerd vermogen ongeveer gelijk zijn. Naast kleine toepassingen zoals horloges en rekenmachines, vindt men tegenwoordig op de markt ook amorfe PV-lei-modules en amorfe PV-films op metalen dakbanen.

In 2000 nam kristallijn silicium een marktaandeel van 85% in terwijl amorf silicium maar 13% voor zijn rekening nam. Naast silicium worden ook een aantal andere materialen in beperkte mate gebruikt. Met koper-indium-diselenide (CuInSe_2), ook CIS genaamd, kan men eveneens dunne-film-zonnecellen op glas maken. Op kleine oppervlakken (0.4 cm^2) levert een dergelijke zonnecel een stabiel rendement van ruim 18%, dit zakt echter snel voor grotere oppervlakken tot ongeveer de helft. In het materiaal kan toekomst gezien worden qua kostenpotentieel, maar de voorraad indium is echter beperkt.

Een andere soort die zich nog vooral in de ontwikkelingsfase bevindt, is de cadmiumtelluride (CdTe) zonnecel. Met dit materiaal kan men rendementen tot 16 % behalen op een oppervlakte van 1 cm^2 . Ook hier daalt het rendement bij grotere oppervlakken. Een bijkomend nadeel is de giftigheid van cadmium. Deze zonnecellen worden reeds in zakrekenmachines toegepast en vertegenwoordigen een aandeel van 1.7% in de zonnecelmarkt.

Een andere soort is deze van de concentrator zonnecellen. Hierbij wordt het zonlicht geconcentreerd door middel van spiegels en lenzen, meestal gecombineerd met een

zonnevolgsysteem. Door deze techniek is er een kleinere celoppervlakte vereist, waardoor er op deze kost kan bespaard worden. Deze methode kan in onze regio echter niet gebruikt worden omdat het aandeel diffuus licht te groot is. De toepassing vraagt ook regelmatig onderhoud. Bovendien verkleint het kostenvoordeel naarmate de kostprijs van zonnecellen daalt en de extra kost van onder andere de spiegels en lenzen meer gaat doorwegen.

Naast de hierboven aangehaalde materialen worden sinds enkele jaren ook organische materialen bestudeerd waarmee men goedkope, flexibele, 'plastieke' zonnecellen zou kunnen produceren. Er zijn reeds prototypes ontwikkeld waarmee een omzettingsrendement van 8 à 10% werd behaald. De productie is eenvoudig en vraagt geen hoge temperatuursstappen of dure apparatuur. De aanwezigheid van vloeibaar materiaal in dit type brengt echter stabiliteitsproblemen met zich mee. Om dit te vermijden focust het hedendaagse onderzoek zich daarom op droge organische cellen. Het Interuniversitair Micro-Elektronica Centrum (IMEC) behaalde met dergelijke testcellen een rendement van 3%. Ondanks het feit dat er nog een hele weg afgelegd moet worden van onderzoekslaboratorium naar commerciële productie, wordt er toch veel verwacht van deze techniek qua lage kostprijs en redelijk rendement.

In volgende paragrafen zal vooral verder ingegaan worden op netgekoppelde systemen met siliciumzonnecellen omdat deze in Vlaanderen het meeste voorkomen.

7.3.2 Kostprijs netgekoppelde PV-systemen

De prijzen van PV-systemen zijn de laatste jaren voortdurend gedaald. Verwacht wordt dat deze trend zich zal doorzetten en eventueel versterkt worden door de toenemende massaproductie en groei van de wereldmarkt. Gemiddeld dalen de prijzen van PV-modules met 5% per jaar (ODE-Vlaanderen, 2004).

Vooraleer verder in te gaan op de kostprijs van een PV-systeem zal eerst aandacht geschonken worden aan de term nominaal vermogen of piekvermogen. Het nominale vermogen van een zonnecel of een fotonvoltaïsche module wordt opgemeten onder internationaal vastgestelde testcondities, de zogenaamde Standard Test Conditions of STC. Het vermogen wordt gemeten bij 1000 W/m² instralend vermogen bij gestandaardiseerd zonlicht (lichtspectrum AM (amplitudemodulatie) 1.5) en 25°C celtemperatuur. Het behaalde nominale vermogen van de zonnecel of de module wordt uitgedrukt in Watt-piek of Wp, het piekvermogen. Het reële vermogen ligt meestal lager dan deze nominale waarde omdat de zoninstraling vaak niet optimaal is of de celtemperatuur te hoog oploopt. Bij hogere temperaturen van een silicium zonnecel daalt immers het elektrisch rendement. Een hoger rendement zou theoretisch behaald kunnen worden indien de celtemperatuur lager zou zijn of het instralingsvermogen hoger dan de gestandaardiseerde waarden. Vergelijkende metingen in Vlaanderen en Nederland toonden een opbrengstverlies van 3 tot 5% voor PV-systemen ingebouwd in een dak (geen ventilatie, de temperatuur van de cellen kan dus hoog oplopen) ten opzichte van PV-panelen vrij opgesteld op een plat dak waar natuurlijke ventilatie plaatsvindt. Typische waarden voor het piekvermogen van een module liggen tussen 50 en 300 Watt-piek.

In onderstaande tabel zijn gegevens opgenomen per type zonnecel onder gemiddelde Belgische klimaatsvoorwaarden op basis van productgegevens van grote PV-producenten:

Tabel 6: Gegevens per type zonnecel

Type zonnecel	Vermogen per m ² (Wp/m ²)	Oppervlakte per kWp (m ² /kWp)	Opbrengst per m ² (kWh/m ²)
Monokristallijn Si	135-168	7.4-6	113-141
Polykristallijn Si	121-138	8.3-7.2	102-116
CIS	94-110	10.6-9.1	79-92
Amorf Si	54-63	18.5-15.9	45-53

Een algemeen beeld van de kostprijs van een module kan gegeven worden aan de hand van de term Watt-piek. De investeringskost voor netgekoppelde PV-systemen met siliciumzonnecellen is de afgelopen 10 jaar sterk gedaald en bedroeg in 2004 ongeveer 7 EUR per Wp exclusief BTW voor eenvoudige gestandaardiseerde systemen zonder gebouwintegratie. Er dient hierbij opgemerkt te worden dat er bij gebouwgeïntegreerde PV-systemen kan bespaard worden op bouwkosten door een deel van de gevelbekleding of dakbedekking uit te sparen, maar dat deze systemen over het algemeen duurder zijn. Bovendien is de elektrische opbrengst van geïntegreerde verticale gevelsystemen maximaal 70% van een goed opgesteld daksysteem.

Om de kost voor de investeerder te beperken bieden de overheid, de netbeheerders en sommige gemeenten subsidies aan. Naast deze investeringssteun kunnen eigenaars van netgekoppelde PV-systemen ook genieten van de uitbetaling van groenestroomcertificaten. Dit geheel wordt later besproken. Bovendien mag de elektriciteit die door een PV-systeem aan het net geleverd wordt, in mindering gebracht worden van het elektriciteitsverbruik. Dit gebeurt in België via het terugdraaien van de verbruiksmeter. De terugleververgoeding verschilt dus naargelang van de elektriciteitsleverancier.

Meer dan de helft van de kostprijs van een kristallijne zonnecel vindt zijn oorsprong in de productie van het basismateriaal namelijk gezuiverd en gekristalliseerd silicium en het zagen van de siliciumschijven of wafers. Om de prijs te laten dalen is er een groeiende trend om 'solar grade' silicium te gebruiken. Dit is silicium dat minder gezuiverd is dan deze die in de electronica-industrie gebruikt wordt, maar voor zonnecellen een evenwaardig rendement oplevert. Andere wijzen om de prijs te laten dalen zijn het vervaardigen van grotere schijven, zaagverliezen te verminderen en de dikte van de schijven te laten dalen.

7.3.3 Opbrengst netgekoppelde PV-systemen

Een PV-systeem met een kWp van 2.4 produceert in ons klimaat gemiddeld 2000 kWh per jaar. Dit is ongeveer de helft van wat een gemiddeld Vlaams gezin verbruikt. Indien men zuiniger omspringt met het elektriciteitsverbruik kan de dekkingsgraad verhoogd worden.

Uit meetresultaten van een groot aantal demonstratieprojecten in Duitsland en Nederland waarbij men de gemiddelde jaarlijkse levering van wisselstroom aan het openbare net naging, bleek dat hellende netgekoppelde systemen opgesteld onder een goede oriëntatie jaarlijks ongeveer 800 kWh wisselstroom produceren per geïnstalleerde kWp, gevelsystemen halen 500 à 600 kWh per kWp. Gegevens uit België geven een opbrengst aan van gemiddeld 840 kWh per kWp vermogen voor systemen met een goede oriëntatie en hellingshoek (ODE-Vlaanderen, 2004b).

De werkelijke elektriciteitsproductie van geïnstalleerde PV-systemen per kWp geïnstalleerd vermogen hangt af van verschillende factoren. De belangrijkste factor is het klimaat met name de geografische ligging, zonnestraling en temperatuur die van jaar tot jaar verschillen. Ook de aparte onderdelen, het systeemontwerp en de omgeving hebben een invloed op de opbrengst.

Met de juiste oriëntatie en hellingshoek kan men een maximale opbrengst bewerkstelligen. In België wordt de beste opbrengst behaald voor een zuidgerichte opstelling met 36° hellingshoek. Voor oriëntaties tussen zuidoost en zuidwest en hellingshoeken tussen 20° en 60° bij zuidwaartse opstelling wordt er een jaaropbrengst gehaald die 5% lager ligt. Verticale PV-modules (hellingshoek 90°) leveren 25 à 30% minder energie op per jaar. Beschaduwning van omliggende structuren of groenaanplantingen moeten vermeden worden omdat deze de opbrengst verminderen.

7.3.4 Ecologische implicaties van fotovoltaïsche systemen

Tijdens de werking produceren PV-systemen geen milieuhinder. Ze veroorzaken geen uitstoot van gassen of lawaaihinder. De belangrijkste milieu-impact bij fotovoltaïsche systemen behelst de emissies die voortvloeien uit de energie nodig om PV-modules te vervaardigen en de giftige stoffen in de elektronische randapparatuur. Voor commerciële fotovoltaïsche technologie wordt hoofdzakelijk silicium gebruikt dat gewonnen wordt uit zand. Er zijn dan ook weinig giftige emissies verbonden aan deze technologie. Per geproduceerde kWh kan men stellen dat er 5 tot 10 maal minder emissies zijn in vergelijking met conventionele elektriciteitsopwekking voor wat betreft CO₂, SO₂ en NO_x.

De nodige energie om een huidige PV-module te produceren wordt op maximaal 5 jaar terugverdiend door de eigen stroomproductie van de PV-module. De levensduur van een module bedraagt in de meeste gevallen meer dan 25 jaar. Hiermee rekening houdend, is een PV-module gedurende minstens 20 jaar een netto-energieleverancier. Door het gebruik van fotovoltaïsch of solar grade silicium zal het energieverbruik voor de grondstofverwerking verminderen. Als in de toekomst bovendien een hoger celrendement kan behaald worden, het materiaalverbruik beperkt kan worden door het gebruik van bijvoorbeeld dunne-filmtechnologie en men zonnecellen recycleert, dan zou de energierugverdiëntijd kunnen dalen tot 4 à 7 maanden (ODE-Vlaanderen, 2004).

7.3.5 Levering van elektriciteit aan het net

Zoals reeds eerder aangehaald werd, wordt bij een netgekoppeld fotovoltaïsch systeem de opgewekte elektriciteit rechtstreeks aan het openbare elektriciteitsnet geleverd. Er kunnen hierbij vragen gesteld worden rond de stabiliteit van het net. ODE-Vlaanderen wijst op studies die hebben uitgewezen dat de levering van elektriciteit door middel van fotovoltaïsche zonne-energie geen onstabieleit op het net veroorzaakt op voorwaarde dat het aandeel van deze technologie niet groter wordt dan 10% van het totale opgewekte

vermogen rekening houdend met de huidige technologie. Nochtans kan hierbij opgemerkt worden het net zeer strikt geregeld dient te worden om de stabiliteit te behouden.

Om het wisselende aanbod van deze energiebron zo volledig mogelijk te gebruiken en om het elektriciteitsnet goed te beheren, is de opslag van elektriciteit noodzakelijk. Naast klassieke technieken zoals batterijen en pompcentrales met waterkracht zoals deze in Coe wordt er ook onderzoek gedaan naar nieuwe opslagmethodes zoals vliegwheels, supergeleidende magnetische energieopslag en supercapacitors. Er wordt eveneens onderzoek gedaan naar waterstof als opslag en transportmiddel voor elektriciteit. Door elektrolyse van water kan men waterstof (H_2) en zuurstof (O_2) bekomen. Hiervoor is slechts een lage elektrische spanning vereist, waardoor fotovoltaïsche elektriciteit hier goed voor gebruikt zou kunnen worden. Met behulp van brandstofcellen zou men via de reactie van waterstof met zuurstof terug elektriciteit kunnen opwekken met enkel waterdamp als uitlaatgas. Deze brandstofcellen zouden toepassing kunnen vinden in voertuigen en in de gecombineerde productie van elektriciteit en warmte in een warmtekrachtkoppeling voor woningen. Over de werkelijke mogelijkheid om deze techniek in de toekomst toe te passen bestaat echter een grote controverse. Er kunnen eveneens vragen gesteld worden over de grootte van de omzettingsverliezen.

7.3.6 Vergunningen

Om na te gaan of er voor fotovoltaïsche installaties al dan niet een vergunning vereist is, kan verwezen worden naar het decreet over de ruimtelijke ordening dat sinds mei 2000 van kracht is. In artikel 3 wordt gesteld dat er geen vergunning vereist is voor fotovoltaïsche zonnepanelen die geïnstalleerd worden op gebouwen wanneer ze maximaal 20% van de oppervlakte van een hellend dak beslaan en op voorwaarde dat de woning niet gelegen is in een ruimtelijk kwetsbaar gebied. Bij gebouwen met een plat dak mogen er oppervlaktes groter dan 20% in beslag genomen worden zonder dat er een vergunning vereist is.

Om gezinnen aan te zetten zuiniger om te springen met hun energieverbruik en toepassingen op hernieuwbare energie aan te moedigen, heeft de overheid een aantal maatregelen uitgewerkt. Deze worden hierna besproken.

Hoofdstuk 8: Maatregelen van de overheid

Om te bewerkstelligen dat de huishoudens energiezuiniger zouden gaan wonen en de hiermee gepaard gaande reductie aan CO₂-emissies zouden bewerkstelligen, kunnen er drie transitiepaden als uitgangspunt gevolgd worden:

- Maximale isolatie en minimale uitstoot van installaties
- Lokale duurzame energieproductie (bijvoorbeeld het gebruik van zonne-energie)
- Centraal geproduceerde duurzame en klimaatneutrale energiedragers

Bij de drie transitiepaden spelen verschillende actoren een rol. Voor transitiepad 1 ligt de grootste invloedssfeer in de bouwketen. De gebouweigenaren moeten worden overgehaald te investeren in isolatie, na-isolatie, hoogrendementsbeglazing en zuinige verwarmingsinstallaties. Om deze kosten te verlagen zijn innovaties nodig in de isolatie-, verwarmingsinstallatie- en glasindustrie. Intermediaire partijen zoals de overheden spelen een belangrijke rol bij de implementatie. In de nieuwbouw sluit verregaande isolatie bijvoorbeeld aan bij de nieuwe EnergiePrestatie en Binnenklimaat oftewel EPB-regelgeving.

Transitiepad 2 vergt de ontwikkeling van nieuwe systeemconcepten. Hierbij zijn zowel de bouwketen als de installatieketen betrokken omdat het om zowel gebouwmaatregelen als gebouwgebonden installatiemaatregelen gaat. Voordat van grootschalige toepassing sprake kan zijn, zullen demonstratieprojecten ervoor moeten zorgen dat meer ervaring wordt opgedaan met toepassingen zoals warmtepompen en bestaande technische problemen worden opgelost. De overheid kan hierin een belangrijke rol spelen.

In transitiepad 3 is een rol weggelegd voor de energiesector. Inzet van duurzame en klimaatneutrale elektriciteit vraagt voldoende aanbod en een actieve houding van leveranciers om groene stroom aan de huishoudens te leveren (Energieonderzoek Centrum Nederland, 2005). Ook hierin speelt de overheid een belangrijke rol.

De overheid heeft een aantal maatregelen uitgewerkt om de huishoudens aan te zetten zuiniger om te springen met hun energieverbruik. Om dit te bewerkstelligen treedt de overheid op vanuit twee standpunten. Enerzijds wil ze de gezinnen op een positieve wijze aanmoedigen door bijvoorbeeld het verlenen van subsidies, het toekennen van belastingsverminderingen en het voeren van informatiecampagnes. Anderzijds handelt de overheid ook vanuit verplichte initiatieven. De reeds aangehaalde nieuwe energieprestatieregelgeving kan in dit licht gezien worden.

8.1 Steunmaatregelen

Steunmaatregelen worden verleend om de investeringskost te doen dalen en op deze manier mensen aan te moedigen energiezuinige toepassingen te implementeren in hun woonomgeving. Door middel van steunmaatregelen kunnen een aantal zaken voor de consument rendabel gemaakt worden die zonder deze tussenkomst anders geen voldoende opbrengst zouden halen. De overheid doet dit onder andere met het oog op het beperken van de toekomstige externe kosten verbonden aan het verbranden van fossiele brandstoffen zoals de emissies van broeikasgassen. Het Kyoto-protocol vormt hierbij een directe impuls. Subsidiëring kan hierbij als socialer gezien worden in vergelijking met het principe van 'de vervuiler betaalt'.

Zoals reeds vermeld zijn nieuwe technologieën vaak minder of niet rendabel. Toch is het belangrijk praktische ervaring op te doen om zo de technieken te verbeteren. Steunmaatregelen dragen bij tot de effectieve implementatie van nieuwe toepassingen in het dagelijks leven waardoor op termijn prijsdalingen kunnen bewerkstelligd worden.

Naast deze toekomstvisie, de reeds aangehaalde vergoeding voor externe vermeden kosten en transgenerationele solidariteit, kan er nog gewezen worden op het multiplicatoreffect van de steunmaatregelen in België in vergelijking met de mogelijke uitgaven aan emissierechten aan het buitenland.

Er kan hierbij nog opgemerkt worden dat voor minder toegepaste technologieën naast de bestaande steunmaatregelen de uitwerking van een kwaliteitssysteem belangrijk is. Dit is nodig om voldoende opbrengstgaranties en bedrijfszekerheid te bieden. Voor zonneboilers, fotovoltaïsche zonnepanelen en warmtepompen werden plaatsingsvoorschriften en kwaliteitslabels uitgewerkt of voorbereid.

8.1.1 Subsidies

Sinds 1 januari 2006 is het vernieuwde subsidiebeleid van de Vlaamse overheid van kracht met betrekking tot fotovoltaïsche zonnepanelen. Kenmerkend is de hogere terugleververgoeding en een lagere investeringssubsidie. De investeringssteun van het Vlaamse gewest voor investeringen in 2006 en 2007 bedraagt 10%. Het maximaal gesubsidieerd PV-vermogen is 3 kWp en de maximale investeringskost die gesubsidieerd wordt bedraagt 7000 EUR/kWp exclusief BTW. Voor niet-BTW-plichtigen wordt de BTW ook gesubsidieerd. Om dit verlaagde tarief te compenseren (in 2005 gold nog een investeringsaftrek van 50%) worden de groenestroomcertificaten aan een hoger bedrag vergoed (Ministerie van de Vlaamse Overheid, 2006).

8.1.2 Groenestroomcertificaten

Naast de investeringssteun zijn er de groenestroomcertificaten (GSC) voor netgekoppelde PV-systemen. Deze worden toegekend aan producenten van groene stroom. Dit is stroom opgewekt op een duurzame manier met behulp van hernieuwbare energiebronnen. Naast windenergie, waterkracht, biomassa en geothermische energie komt ook fotovoltaïsche zonne-energie in aanmerking voor de groenestroomcertificaten. De certificaten worden toegekend per schijf van 1000 kWh opgewekte stroom.

Er dient opgemerkt te worden dat elektriciteitsleveranciers tegen 2004 verplicht waren om voor minstens 2% van de geleverde elektriciteit groenestroomcertificaten te behalen. Tegen 2010 moet dit percentage opgetrokken worden tot 6%. Indien de leveranciers dit percentage niet halen, dienen ze een boete te betalen van 125 EUR/MWh voor de ontbrekende groene stroom.

Eigenaars van een PV-systeem kunnen hun certificaten aan de elektriciteitsproducenten verkopen. Om dit te vergemakkelijken werd er voor kleine netgekoppelde PV-systemen een vereenvoudigd systeem ingevoerd op basis van het koninklijk besluit betreffende de instelling van mechanismen voor de bevordering van elektriciteit opgewekt uit hernieuwbare energiebronnen die sinds 1 juli 2003 van kracht is. Deze wet verplicht de transportnetbeheerder Elia om groenestroomcertificaten aan te kopen aan een minimale prijs in functie van de technologie. Voor PV-systemen was dit bedrag vastgesteld op 150 EUR/MWh voor een periode van 10 jaar vanaf het in werking stellen van de installatie. Voor deze systemen werd de periode later verlengd tot 20 jaar (Federale Overheid, 2006).

Voor nieuwe installaties vanaf 1 januari 2006 wordt dit bedrag op 450 EUR/MWh gebracht zonder beperking van het vermogen. De lokale distributienetbeheerder is verplicht deze certificaten aan te kopen. Deze prijs wordt gegarandeerd voor een periode van 20 jaar vanaf de opstart van het PV-systeem en wordt toegekend voor de totale zonnestroomproductie, met andere woorden ook voor de stroom die in het plaatselijke woningnet direct wordt verbruikt (ODE-Vlaanderen, 2006).

Om het geheel te vereenvoudigen heeft de Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG) een procedure uitgewerkt waarbij per schijf van 1000 kWh een certificaat wordt toegekend. Wanneer de eigenaar beschikt over een aparte tweede elektriciteitsmeter worden de meterstanden om de 1000 kWh doorgegeven. Als er geen aparte elektriciteitsmeter is voorzien, dan wordt een forfaitaire elektriciteitsproductie toegekend van 750 kWh per jaar per kWp geïnstalleerd vermogen. Een PV-systeem van 1 kWp

geïnstalleerd vermogen levert op die manier een jaarlijkse opbrengst van 337.5 EUR sinds 2006 (VREG, 2006)

8.1.3 Terugdraaiende kilowattuurmeter

Voor netgekoppelde PV-systemen krijgt de eigenaar een vergoeding voor de geleverde PV-productie door het terugdraaien van de verbruiksmeter. Voor vermogens tot en met 10 kW bepaalt het Technisch Reglement Distributie van de VREG dat de kilowattmeter moet kunnen terugdraaien. Indien dit niet het geval is moet de meter aangepast worden op kosten van de distributienetbeheerder. De terugleververgoeding is afhankelijk van de elektriciteitsleverancier en komt in de praktijk neer op 0.15 à 0.17 EUR/kWh. De terugleververgoeding is evenwel beperkt tot het eigen jaarlijkse verbruik.

8.1.4 Belastingverminderingen

Door de hervorming van de personenbelasting werd een specifieke belastingvermindering toegekend door de Federale Overheid voor bepaalde energiebesparende uitgaven. Deze maatregel die van toepassing is sinds 1 januari 2003 (aanslagjaar 2004) heeft reeds een aantal wijzigingen ondergaan. De maatregel is met name uitgebreid en verbeterd. In deze paragraaf zal de regeling besproken worden die geldig is vanaf inkomstenjaar 2006 (aanslagjaar 2007).

De vermindering wordt verleend aan elke belastingplichtige die bepaalde uitgaven doet voor een rationeler energiegebruik in de woning waarvan hij eigenaar of huurder is. De volgende investeringen komen in aanmerking:

- De vervanging van oude stookketels door:
 - Lagetemperatuursketels

- Condensatieketels
 - Stookketels op hout
 - Systemen met microwarmtekrachtkoppeling
-
- Het onderhoud van de stookketel.

 - De installatie van een systeem van waterverwarming op zonne-energie:
 - De panelen moeten tussen het oosten en westen via het zuiden georiënteerd zijn.
 - De hellingshoek van vaste panelen moet tussen 0 en 60° gesitueerd zijn.

 - De plaatsing van zonnepanelen voor het omzetten van zonne-energie in elektrische energie:
 - Voor kristallijne modules geldt een minimum rendement van 12%, voor dunne-filmmodules 7%.
 - Het minimum rendement voor de omvormers moet hoger liggen dan 88% voor autonome systemen en 91% voor netgekoppelde systemen.
 - De panelen moeten tussen het westen en oosten georiënteerd zijn via het zuiden en de hellingshoek moet tussen 0 en 70° gelegen zijn.

 - De plaatsing van alle andere uitrustingen voor geothermische energieopwekking:
 - De globale prestatiecoëfficiënt moet minstens drie bedragen

 - De plaatsing van dubbele beglazing:
 - Zowel de kosten van de beglazing als deze van het schrijnwerk komen in aanmerking.
 - De lambda-waarde van het glas en het schrijnwerk samen moet kleiner of gelijk zijn aan 2.0 W/(m²*K).

 - Dakisolatie:

- De gebruikte isolatiematerialen moeten een thermische weerstand R hebben die gelijk is aan of groter dan $2.5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.
- De plaatsing van een warmteregeling voor een installatie van centrale verwarming door middel van thermostatische kranen of door een kamerthermostaat met tijdschakeling.
- De energie-audit van een woning.

Een belastingvermindering van 40% wordt verleend op het bedrag van de gefactureerde uitgaven, BTW inbegrepen, die effectief tijdens het belastbaar tijdperk betaald werden, ongeacht het tijdstip van uitvoering van de werken. Er dient wel opgemerkt te worden dat de eerste acht initiatieven moeten uitgevoerd worden door een geregistreerd aannemer, de energie-audit moet uitgevoerd worden door een erkende energiedeskundige. Het totale bedrag van de belastingvermindering per belastbaar tijdperk en per woning wordt beperkt tot 1280 EUR (1000 EUR geïndexeerd) (Ministerie van Financiën, 2006).

8.1.5 Verlaagde BTW-tarief

Voor nieuwbouwwoningen is een BTW-tarief van 21% van toepassing. Wanneer men woningen ouder dan 5 jaar renoveert is er een verlaagd BTW-tarief van 6% geldig. De renovatiewerken moeten wel uitgevoerd worden door een geregistreerd aannemer. Deze maatregel is ook van toepassing bij de plaatsing van isolatie, zonneboilers, fotovoltaïsche zonnepanelen en het vervangen van een centrale verwarmingsketel. Het tarief geldt zowel voor de materialen als voor de werkuren (Federale Overheid, 2006).

8.1.6 Steun van de netbeheerders

Sinds 2003 zijn de Vlaamse netbeheerders verplicht om een energiebesparing te realiseren bij hun afnemers. Zij doen dit onder andere door een aantal energiebesparende maatregelen financieel te steunen. De invulling hiervan kan vrij gekozen worden door de netbeheerder. Om deze reden verschillen zowel de maatregelen die in aanmerking komen als de voorwaarden en de hoogte van de vergoeding. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de REG-acties per netbeheerder.

Tabel 7: Overzicht van de REG-acties per netbeheerder (2006)

Overzicht van de REG-acties per netbeheerder - situatie op 1 januari 2006 (°)

	AGEM	GEDIS	GHA *
dakisolatie in bestaande woning	1,25 € per m ²	2 € per m ²	3 € per m ²
muurisolatie in bestaande woning	2 € per m ² zelf, 5 € per m ² via aannemer	2 € per m ²	2 € per m ²
vloerisolatie in bestaande woning			2 € per m ²
kelderisolatie in bestaande woning			
superisolerende beglazing ter vervanging van enkel glas	10 € per m ²	10 € per m ²	20 € per m ²
superisolerende beglazing ter vervanging van dubbel glas of in nieuwbouw		10 € per m ²	8 € per m ²
buisisolatie	0,5 € per m		0,5 € per m
radiatorfolie	1 € per m ² , min. 10m ² plaatsen		
ventilatiesysteem met warmterecuperatie		150 €	1 € per m ³ /uur ventilatiedebiet, min. 150 €, max. 50% factuur
condensatieketels (HR-top) ter vervanging condensatieketels (HR-top) in nieuwbouw	125 € 125 €	125 € 125 €	25 € per kW, min. 125 € 25 € per kW, min. 125 €
HR+- ketels in bestaande woning	50 €	50 €	
vervanging elektrische verwarming warmtepomp		210 € per kVA, max. 1680 €, geen premie voor lucht-lucht warmtepompen, max. 50% factuur	300 € per kW thermisch, geen lucht-lucht types
thermostaatkranen in bestaande woning	5 € per stuk, min. drie aankopen	5 € per stuk	5 € per stuk
zonneboiler	75 € per m ² , min. 625 €, max. 3750 €, max. 50% factuur	625 € als enkel voor SWVW, 75 € per m ² en max. 1500 € als ook voor ruimteverwarming, max. 50% factuur	400 € per m ²
warmtepompboiler			625 €
spaardouchekop			
keukengeiser		150 € per toestel	
A+-, A++- en AAA- labeltoestellen (enkel voor inwoners van het gemeentelijk havenbedrijf antwerpen!)			75 € voor A+- koelkast of diepvriezer, 100 € voor A++- koelkast of diepvriezer, 115 € voor AAA-wasmachine of vaatwasmachine
aardgaswasdrogers		250 €, max. 50% factuur	
nieuwbouw met verlaagd E-peil E70		850 €	
nieuwbouw met verlaagd E-peil E75		750 €	
passiefhuis		1500 € voor NB***, 2000 € BW**	
domotica met REG-eigenschappen		100 € NB***, 150 € BW**	
huishoudelijke audit	gratis	50 €	kosten afnemer beperkt tot 25 €
huishoudelijk planadvies in nieuwbouw of verbouwing		75 €	
bouwteams			
klimaatwijken		0,05 € per bespaarde kWh	

° De acties kunnen wijzigen in de loop van 2006

* GHA: Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen

INTERELECTRA	IVEG	PBE	WVEM
1,25 € per m ²	1,25 € per m ²	1,25 € per m ²	1,25 € per m ² , min. 25 m ² isoleren
2 € per m ² zelf, 5 € per m ² via aannemer	2 € per m ²		
	2 € per m ²		
	1,25 € per m ²		
		10 € per m ²	
		8 € per m ²	
	0,5 € per m	0,5 € per m	
	1 € per m ²	1 € per m ²	
		150 €	
125 €	125 €	125 €	125 €
125 €	125 €	125 €	125 €
		50 €	
	150 € per kW, max. 2500 €		
premie afhankelijk van vermogen, min. 250 €, max. 2112,1 €, max. 50% factuur	210 € per kVA, max. 1680 €, max. 50% factuur, geen premies voor lucht-lucht warmtepompen		
		5 € per stuk, min. drie aankopen	5 € per stuk, min. drie aankopen
75 € per m ² , min. 625 €, max. 3750 €, max. 50% factuur	75 € per m ² , min. 625 €, max. 1500 €, max. 50% factuur	75 € per m ² , min. 625 €, max. 3750 €, max. 50% factuur	75 € per m ² , min. 625 €, max. 3750 €, max. 50% factuur
625 €, max. 50% factuur	625 €, max. 50% factuur		
	7 €	7 €	
	150 € per toestel		
50 €	250 €		
		850 €	850 €
		750 €	750 €
100 € NB ^{***} , 150 € BW ^{**}	100 € NB ^{***} , 150 € BW ^{**}	100 € NB ^(***) , 150 € BW ^(**)	100 € NB ^(***) , 150 € BW ^(**)
kosten afnemer beperkt tot 25 €		50 €	
50 €		50 €	
	0,05 € per bespaarde kWh, op voorwaarde dat besparing min. 8% is	startpakket + prijzen	startpakket + prijzen

** BW: bestaande woningen

*** NB: nieuwbouw

8.1.7 Gemeentelijke en provinciale steun

Voor een aantal investeringen in energiezuinige toepassingen worden door bepaalde gemeenten en provincies extra premies verleend. Bijna één op drie gemeenten kent bijvoorbeeld een lokale subsidie toe voor zonne-energie, meestal een percentage van de investeringskost met een bovengrens van 250 tot 1000 EUR (ODE-Vlaanderen, 2006).

Bovenop deze vergoeding kent de provincie Vlaams-Brabant nog een premie van 625 EUR toe.

8.2 De Energieprestatieregelgeving

Sinds 1 januari 2006 is de EnergiePrestatie en Binnenklimaatregelgeving oftewel de EPB-regelgeving van kracht. Alle woningen waarvoor vanaf dit tijdstip een aanvraag om te bouwen of verbouwen wordt ingediend, moeten een bepaald niveau van thermische isolatie en energieprestatie behalen. In een nieuwbouwwoning zal bovendien een minimale en gecontroleerde ventilatie nodig zijn. De regelgeving houdt niet enkel rekening met de isolatiegraad, maar ook met onder meer het rendement van de verwarmingsinstallaties. Een richtlijn van de Europese Commissie uit 2002 verplichte alle lidstaten een dergelijke wetgeving in te voeren tegen uiterlijk 2006. Het Vlaams Parlement keurde in 2004 een decreet goed dat toelaat EnergiePrestatieNormen in te voeren en effectieve controle- en sanctiemogelijkheden op te leggen (VMM, 2004).

De Vlaamse Overheid vermeldt dat energiezuinig bouwen en verbouwen extra inspanningen en kosten met zich meebrengt tijdens het bouwproces, maar dat deze snel terugverdiend kunnen worden. Een woning wordt gemiddeld dertig jaar bewoond zonder dat er werkzaamheden worden uitgevoerd die een impact hebben op de energieprestatie van het gebouw. Bovendien stegen de olieprijsen tussen eind 2003 en midden 2005 met meer dan 40%. Ook de aardgasprijsen zijn gestegen. De investering op het vlak van thermische isolatie en energieprestatie zou terugverdiend zijn in een vijftal jaar. De bouwer of verbouwer zou op die manier nog 25 jaar financieel voordeel halen uit zijn energiezuinige woning. Naast de jaarlijkse besparing op de energiefactuur is er ook nog de winst voor het milieu. Anderzijds is er de investering om het gestelde niveau voor een gezond binnenklimaat te bereiken. Investeren in een minimale, gecontroleerde ventilatie draagt bij tot een gezonde leefomgeving en de verhoging van het wooncomfort (ODE-Vlaanderen, 2005).

8.2.1 Toepassingsgebied

De regelgeving is van toepassing op elk gebouw dat verwarmd of gekoeld wordt voor mensen. Dus niet enkel woningen maar ook bijvoorbeeld kantoren, scholen, sporthallen en ziekenhuizen. De wetgeving is van toepassing vanaf 1 januari 2006 en betreft enerzijds nieuwbouw en anderzijds verbouwingen. Voor verbouwingen is de regelgeving enkel van toepassing wanneer er voor de werkzaamheden een bouwaanvraag nodig is met verplichte tussenkomst van een architect. De verbouwde, vervangen en nieuw toegevoegde delen moeten voldoen aan de regelgeving. Het kan bijvoorbeeld gaan om een uitbreiding aan de bestaande woning of de verbouwde constructiedelen zoals de vensters of het dak. Op de bestaande woning en op de constructiedelen die behouden blijven, zijn geen eisen van toepassing. De regelgeving is niet van toepassing op verbouwingen waarvoor geen bouwaanvraag nodig is.

8.2.2 Energiecertificaat

Vanaf 2006 moet er voor iedere nieuwbouwwoning of nieuwbouwappartement een energieprestatiecertificaat uitgereikt worden. Het certificaat geeft een beeld van het energieverbruik van de woning of het appartement en haar vaste installaties in standaardomstandigheden. Het geeft de energetische kwaliteit van het gebouw aan door middel van het E-peil en het theoretisch energieverbruik in kWh/m². Op deze manier is het mogelijk het energieverbruik te vergelijken tussen verschillende gebouwen in standaardomstandigheden. Het certificaat is 10 jaar geldig.

Uiterlijk vanaf 2009 moet ook bij iedere verkoop en verhuur van een woning of appartement een energieprestatiecertificaat beschikbaar zijn. Dit certificaat informeert kandidaat-kopers of -huurders over het standaardenergieverbruik. Op deze manier is het mogelijk het energieverbruik mee in overweging te nemen om al dan niet te kopen of te huren. De

energiezuinigheid van de woning zou dus de waarde op de verkoop- en verhuurmarkt mede kunnen bepalen.

8.2.3 *De regelgeving*

Een energiezuinige, gezonde woning met meer comfort kan men creëren door rekening te houden met volgende aandachtspunten:

- Compact bouwen
- Thermisch isoleren
- Luchtdicht bouwen
- Ventileren
- Zonnewarmte benutten
- Het plaatsen van een hoog renderende installatie voor verwarming en warm water

Al deze aandachtspunten hebben een effect op het energieverbruik van een woning. Een maat voor het energieverbruik van een woning is de energieprestatie, het E-peil. Het E-peil geeft een beeld van het energieverbruik van de woning en haar vaste installaties in standaardomstandigheden. Hoe lager het peil, hoe zuiniger de woning is. Om te voldoen aan de regelgeving moet het E-peil kleiner zijn dan of gelijk zijn aan E100.

De energieprestatie van een woning is afhankelijk van heel wat factoren. De overheid heeft er voor gekozen om niet aan al die afzonderlijke punten eisen op te leggen. Dat zou de ontwerpvrijheid teveel beperken en bepaalde materialen en technologieën onmogelijk maken. De overheid opteert voor een regelgeving met meer alomvattende niveaus zoals het K- en E-peil. Er kan vrij gekozen worden met welke materialen, concepten en technologieën aan de opgelegde niveaus zal voldaan worden.

Ten eerste stelt de energieprestatieregelgeving specifieke eisen aan het niveau van thermische isolatie voor de totale woning. Het totale isolatiepeil K van de woning moet

kleiner zijn dan of gelijk zijn aan K45. Bovendien zijn er specifieke thermische isolatie-eisen aan de afzonderlijke constructiedelen verbonden. De U-waarden moeten kleiner zijn dan de waarden in onderstaande tabel.

Tabel 8: Maximaal toegelaten U-waarde

Constructiedeel	Maximale U-waarde (W/m²K)
Dak of plafond naar niet-geïsoleerde zolder	0.4
Buitenmuur	0.6
Vloer boven een buitenomgeving	0.6
Andere vloeren	0.4
Gemene muur naar buurgebouw	1.0
Vensters (raamprofiel+beglazing)	2.5
Beglazing	1.6
Deuren en poorten	2.9

Bron: Ministerie van de Vlaamse Overheid, 2006

De invloed van goed thermisch geïsoleerde constructiedelen, met dikkere of betere isolatie dan opgegeven als minimum, wordt in rekening gebracht in het E-peil.

De energieprestatieregelgeving stelt geen specifieke eisen aangaande de compactheid van de woning. Alle bouwvormen zijn dus mogelijk. De invloed van de compactheid wordt wel meegerekend in het niveau van thermische isolatie en energieprestatie.

Bij het bouwen wordt er wel een specifieke ventilatie-eis opgelegd. Elke woning moet minstens van een ventilatiesysteem zijn voorzien dat de opgelegde hoeveelheden ventilatielucht verzekert om een gezonde binnenomgeving te waarborgen. De keuze van het systeem staat vrij. De invloed van een energiezuiniger systeem wordt evenwel in rekening gebracht in het E-peil. Bij verbouwen bestaat er enkel een eis wanneer er vensters

vervangen worden. De nieuwe vensters dienen voorzien te zijn van toevoeropeningen voor ventilatie.

De energieprestatie-eisen stellen geen specifieke eisen aan de luchtdichtheid van de woning. De invloed wordt ook hier verrekend in het E-peil door middel van een luchtdichtheidsmeting.

Een vijfde punt behelst de eis om het risico op oververhitting te beperken. De invloed van de nuttige zonnewarmte en het weren van teveel zonnewarmte draagt bij tot het E-peil. Bij verbouwen is er geen specifieke eis.

De keuze van het verwarmingssysteem, het systeem voor sanitair warm water en de energiebron zijn vrij. Hoe energiezuiniger echter de keuzes, hoe beter de energieprestatie en hoe lager het E-peil zal zijn. De regelgeving kan samengevat worden volgens volgende tabel:

Tabel 9: Samenvatting energieprestatie-eisen

Bouwen	Verbouwen
Thermische isolatie-eisen: <ul style="list-style-type: none">• K-peil K45• Elk constructiedeel: maximale U-waarde	Thermische isolatie-eis: <ul style="list-style-type: none">• Geen maximaal K-peil• Elk nieuw gebouwd, verbouwd of vervangen constructiedeel: maximale U-waarde
Energieprestatie-eis: <ul style="list-style-type: none">• E-peil E100	Energieprestatie-eis: <ul style="list-style-type: none">• Geen maximaal E-peil
Binnenklimaatseisen: <ul style="list-style-type: none">• Minimale ventilatievoorzieningen om een gezond binnenklimaat te creëren• Beperken van het risico op	Binnenklimaatseisen: <ul style="list-style-type: none">• Vensters die worden vervangen moeten voorzien zijn van luchttoevoeropeningen

oververhitting	<ul style="list-style-type: none">• Geen specifieke eis aangaande oververhitting
----------------	--

8.2.4 *Bouwproces in de praktijk*

1) Ontwerpfase

Vanaf de ontwerpfase dient er best rekening gehouden te worden met de opgelegde niveaus van isolatie, energieprestatie en ventilatie. Architecten worden door de overheid geïnformeerd onder andere door een opleidingsprogramma. De architect kan toetsen of de woning met de geplande combinatie van maatregelen en materialen zal voldoen met behulp van een softwareprogramma ter beschikking gesteld door de overheid. De architect integreert de geplande maatregelen en materialen in de documenten van het bouwaanvraagdossier en in de verdere detaillering en de lastenboeken.

2) Startfase

De bouwer of verbouwer is de aangifteplichtige van de woning voor de energieprestatieregeling. Acht dagen voor de start van de werkzaamheden moet een verslaggever aangesteld worden. Dit kan zowel de architect van de woning zelf zijn of een andere architect of ingenieur. Door middel van een ondertekende startverklaring worden de gegevens van de verslaggever en de startdatum van de werkzaamheden meegedeeld.

3) Uitvoeringsfase

Tijdens de uitvoering dient de verslaggever alle gegevens bij te houden die de thermische isolatie, de energieprestatie en het binnenklimaat van de woning beïnvloeden. Tijdens de

uitvoering behoudt men de vrijheid om bepaalde materiaal- of installatiekeuzes te wijzigen. Met het softwarepakket kan de architect nagaan of daarna nog aan de eisen voldaan zal worden.

4) Na de uitvoering

Uiterlijk zes maanden na de ingebruikname van de woning, moet de aangifteplichtige aantonen dat het gebouw voldoet aan de gestelde niveaus. Hiervoor maakt de verslaggever de EPB-aangifte op. Dit is de doorrekening en de bewijsvoering of er al dan niet voldaan is aan de gestelde eisen. Hij doet dit op basis van de gedane vaststellingen, de lastenboeken, de facturen en het softwarepakket. De verslaggever levert gelijktijdig het verplichte energieprestatiecertificaat af.

8.2.5 *Controles*

Vanuit de overheid zullen administratieve controles verricht worden om na te gaan of een verslaggever is aangesteld en of er een EPB-aangifte binnen de zes maanden is ingediend. Ook zullen er controles uitgevoerd worden op de bouwplaats zelf om na te gaan of de verslaggever alles correct heeft gerapporteerd.

8.2.6 *Boetes*

De overheid zal administratieve boetes opleggen indien niet voldaan is aan de reglementering. Hoe groter de afwijking van de opgelegde eis, hoe groter de boete zal zijn. Wanneer er binnen de zes maanden geen EPB-aangifte is ingediend, ontvangt men eerst een aanmaning. Als dan nog geen actie ondernomen is, wordt er een boete opgelegd. Deze bestaat uit een vast bedrag van 250 EUR, vermeerderd met een variabel bedrag dat

afhankelijk is van de grootte van de woning. De boete voor het niet naleven van de gestelde eisen voor thermische isolatie en energieprestatie zal ongeveer driemaal de 'uitgespaarde' investering (het geraamd bedrag van de investering om de woning wel te laten voldoen aan de regelgeving) bedragen. Bij het niet naleven van de eis voor minimale ventilatievoorzieningen is de boete gelijk aan de 'uitgespaarde' investering. Indien uit de bouwplaatscontrole bovendien blijkt dat er niet correct gerapporteerd is, zal de verslaggever een boete oplopen. De boetes komen terecht in het Energiefonds. Dit fonds zal onder andere gebruikt worden voor premies en andere stimulerende acties.

8.2.7 *Impact*

De overheid heeft met een prestatiegebaseerde benadering een instrument in handen om een beleid te voeren van energie-efficiënt bouwen. Het geheel kan eveneens een impuls betekenen voor een sterke innovatie in de markt van energie-efficiënte bouwproducten en systemen. De energieprestatie-eis heeft echter enkel effect op nieuwbouw en grote renovaties. Daardoor blijft de impact ervan op het totale energieverbruik klein op korte termijn. De gebouwensector is immers onderhevig aan een vernieuwingspercentage van amper 1% per jaar (viWTA, 2004). Om de energieprestatie van bestaande gebouwen op korte termijn te beïnvloeden zijn er dus andere maatregelen nodig. Bovendien moet er op gewezen worden dat enkel de intrinsieke prestaties van het gebouw en de installaties gereguleerd worden, niet het werkelijke verbruik. Hierbij speelt het gedrag van de bewoners immers een sterke rol.

In vorige hoofdstukken werden een aantal mogelijkheden besproken waarmee bespaard kan worden op energie en werd er dieper ingegaan op het gebruik van zonne-energie in de woonomgeving. Er werd eveneens aandacht besteed aan de betrokken steunmaatregelen en wetgeving uitgaande van de overheid. In volgend hoofdstuk zullen een aantal toepassingen op het gebied van energiezuinigheid op micro-economisch vlak bestudeerd worden, met name de private kosten en baten voor de huishoudens. In hoofdstuk 10 zal dan op macro-

niveau nagegaan worden welke externe kosten er vermeden kunnen worden door meer aandacht te besteden aan energiezuinigheid. Deze vermeden externe kosten zullen dan vergeleken worden met de verleende steunmaatregelen.

Hoofdstuk 9: Private kosten en baten

Zoals reeds uit vorige hoofdstukken bleek, kan er door gebruik te maken van een aantal toepassingen op het gebied van energiezuinig wonen door de particulier bespaard worden op energie-uitgaven. In de meeste gevallen gaat dit echter gepaard met een extra investering. In dit hoofdstuk zal er voor een aantal concrete gevallen nagegaan worden in welke mate de energie-uitgaven oftewel de private kosten die vermeden kunnen worden, opwegen tegen de bijkomende investering. Dit zal gebeuren aan de hand van de berekening van de netto contante waarde (NCW), de interne opbrengstvoet (IOV) en de terugverdientijd (TVT). Vooraleer dieper in te gaan op de eigenlijke berekeningen, zullen deze termen eerst kort toegelicht worden en zal er kort ingegaan worden op de gegevens die gebruikt zullen worden.

9.1 Toelichting bij de begrippen en gebruikte gegevens

9.1.1 Netto contante waarde

Bij de netto contante waarde methode (NCW of net present value methode, NPV) wordt de huidige waarde van in- en uitgaande kasstromen en besparingen nagegaan, rekening houdend met de tijdswaarde van het geld door deze te verdisconteren tegen een kapitaalkost r . Dit kan op vereenvoudigde wijze voorgesteld worden door volgende formule:

$$NCW = a_{n-r} * K - I \quad \text{met } a_{n-r} = 1 - (1+r)^{-n} / r$$

K = kasstroom of besparing

I = investeringsuitgave

r = kapitaalkost, discontovoet of vereist rendement

n = aantal jaren

Indien men hierbij een positieve waarde bekommt, kan het project aanvaard worden. In het andere geval, als de NCW negatief is, wordt het project verworpen op basis van deze gegevens.

Bijkomend wordt het NCW-profiel gegeven. Dit is de grafische weergave van de NCW in functie van de discontovoet. Voor conventionele investeringen, zoals hier het geval is, zal de NCW des te lager zijn naarmate de discontovoet stijgt (Mercken, 2003).

9.1.2 Interne opbrengstvoet

De interne opbrengstvoet (IOV, internal rate of return, IRR, time-adjusted return on investment, ROI) is de waarde van de discontovoet waarbij de NCW gelijk is aan 0. De IOV kan ook afgeleid worden uit het NCW-profiel (Mercken, 2003).

9.1.3 Terugverdientijd

De terugverdientijd (TVT) van een investering kan gedefinieerd worden als de tijd die vereist is om de oorspronkelijke investering terug te verdienen via de inkomende kasstromen en besparingen. In dit geval wordt er geen rekening gehouden met de tijds waarde van het geld (Limere, 2002).

9.1.4 Gebruikte energieprijzen

Voor de kostprijs van elektriciteit en gas per kWh werd gebruik gemaakt van de prijzen van de meest gebruikte pakketten van Luminus en Electrabel die geldig waren op 1 januari 2006 (zie bijlagen 1 tot en met 4). De prijzen van deze twee leveranciers werden gebruikt omdat

ze het meeste aantal personen tot hun klantenbestand mogen rekenen. De andere energieleveranciers nemen een beperkter marktaandeel voor hun rekening.

Omdat de stookolieprijzen aan grote schommelingen onderhevig zijn, werd er geopteerd om gebruik te maken van de gemiddelde stookolieprijs van een gans jaar, met name deze van 2005. De prijzen van huisbrandolie bedroegen in dit jaar gemiddeld 0.5154 EUR/liter (informazout, 2006).

Aan de hand van voorgaande methoden en cijfermateriaal zal er een investeringsanalyse uitgevoerd worden voor een aantal concrete toepassingen van fotovoltaïsche zonnepanelen, zonneboilers, het gebruik van dikkere isolatie en hoogrendementsbeglazing.

9.2 Fotovoltaïsche zonnepanelen

Er zijn een uitgebreid aantal types fotovoltaïsche zonnepanelen voor particulieren op de markt beschikbaar. Er werd hier geopteerd om voor vier van dergelijke systemen na te gaan of er al dan niet private kosten kunnen vermeden worden. Dit zal gebeuren door voor vier verschillende systemen van het bedrijf IZEN, gelegen te Lille, de NCW, IOV en TVT te berekenen. Door vergelijking met andere bedrijven bleek dat deze systemen qua opbrengst en kosten representatief zijn voor de huidige situatie. Het gaat met name om volgende toepassingen:

- 3 Volta720 4XPVT180 SB1700E (2160 Wp, 15,6 m², 15822 EUR incl plaatsing, excl BTW)
- 3 Volta1080 6XPVT180 SB2500 (3240 Wp, 23,4 m², 23052 EUR incl plaatsing, excl BTW)
- 6 Volta720 4XPVT 180 Xantrex GT3,8E (4320 Wp, 31,2 m², 29895 EUR incl plaatsing, excl BTW)
- 7 Volta1080 6XPVT180 Xantrex GT3,8E (7560 Wp, 54,6 m², 51794 EUR incl plaatsing, excl BTW)

Het bedrijf vermeldt dat de systemen in België gemiddeld 850 kWh elektriciteit per jaar opbrengen per kWp geïnstalleerd vermogen, bij een installatie met 0° afwijking ten opzichte van het zuiden en bij een hellingshoek van 35° en 100% verwachte instraling. Deze waarde werd later gecontroleerd door middel van contactname met een aantal eigenaars van PV-systemen. Hoewel de opbrengst van jaar tot jaar verschilt, is een gemiddelde van 850 kWh aannemelijk. Er wordt uitgegaan van een levensduur van 25 jaar. Deze waarde werd door de fabrikant aangehaald en wordt ook in andere bronnen vermeld (bijvoorbeeld ODE-Vlaanderen, 2004a; energiesparen, 2006; Jansseune, E., 1998)

9.2.1 Resultaten rekening houdend met steunmaatregelen en 6% BTW

In eerste instantie werd er rekening gehouden met de besparing aan elektriciteitskosten, de invloed van subsidies van de Vlaamse Overheid (10% subsidie met een maximum van 7000 EUR per kWp en maximaal voor 3 kWp), de fiscale aftrek (40% van de uitgaven, maximum 1280 EUR) en de groenestroomcertificaten (GSC, 450 EUR/1000kWh 20 jaar lang). Er werd eveneens rekening gehouden met een gemeentelijke subsidie van 500 EUR.

Een opsplitsing werd gemaakt naargelang het gaat om een woning waarbij een 6% BTW-tarief van toepassing is (woningen ouder dan 5 jaar) en anderzijds een 21% tarief. In het eerste geval werden de volgende waarden bekomen voor de berekening van de NCW, IOV en TVT (voor verdere details wordt verwezen naar bijlage 5):

Tabel 10: NCW, IOV en TVT voor PV-systemen bij 6% BTW voor verschillende kapitaalkosten, rekening houdend met subsidies, fiscale aftrek en GSC.

Kapitaalkost	Systeem 1 NCW (in EUR)	Systeem 2 NCW (in EUR)	Systeem 3 NCW (in EUR)	Systeem 4 NCW (in EUR)
2%	6453	9072	11549	17741
3%	4605	6326	7893	11343
4%	3007	3951	4731	5809
5%	1619	1887	1983	1001
6%	408	86	-414	-3194
7%	-653	-1491	-2515	-6870
IOV (%)	6.3	6.1	5.8	5.2
TVT (jaar)	11.5	11.8	12	12.6

Uit de bekomen gegevens kan afgeleid worden dat bij een kapitaalkost van 5% of lager, de NCW positief is voor elk systeem en deze projecten dus aanvaard kunnen worden op basis van de NCW-methode. Vanaf een kapitaalkost van 6% is enkel de NCW van het eerste en tweede project nog positief. Vanaf een discontovoet van 7% is de NCW van alle toepassingen negatief en zijn ze dus niet langer aanvaardbaar volgens deze methode.

Uit bovenstaande grafiek kan tevens de interne opbrengstvoet afgeleid worden. De IOV ligt tussen 5.2 en 6.3%. Het blijkt dat de investeringskost voor de verschillende systemen tussen circa 11.5 en 12.5 jaar terugverdiend wordt, rekening houdend met bovengenoemde gegevens. Na deze periode kan de geleverde stroom dus als 100% opbrengst gezien worden.

Er kan opgemerkt worden dat de NCW en IOV dalen naarmate de installaties groter worden, terwijl de kostprijs van de systemen daalt indien men een groter aantal m² en kWp geïnstalleerd vermogen plaatst (schaalopbrengsten). Dit valt te verklaren door het feit dat de Vlaamse overheid maximaal 3 kWp subsidieert. Het maximum bedrag van 1280 EUR dat in aanmerking komt voor een fiscale aftrek wordt eveneens door elk van de toepassingen behaald. Het bedrag van de steunmaatregelen moet met andere woorden over een groter

investeringsbedrag verdeeld worden bij grotere installaties waardoor de positieve invloed daalt.

Uit de bekomen resultaten kan besloten worden dat gezien de huidige lage rentestanden en de mogelijke subsidies en groenestroomcertificaten de investering in een fotovoltaïsch zonnestelsysteem economisch rendabel is. Indien in de toekomst de rente echter gevoelig zou stijgen, heeft dit een negatieve impact op de NCW. Vanuit een subjectief standpunt zullen een aantal mensen bovendien de terugverdientijd mogelijk te lang vinden.

9.2.2 Resultaten rekening houdend met steunmaatregelen en 21% BTW

Wanneer er een 21% BTW-tarief geldig is, bekomt men de volgende resultaten:

Tabel 11: NCW, IOV en TVT bij 21% BTW voor verschillende kapitaalkosten, rekening houdend met subsidies, fiscale aftrek en GSC.

Kapitaalkost	Systeem1 NCW (in EUR)	Systeem 2 NCW (in EUR)	Systeem 3 NCW (in EUR)	Systeem 4 NCW (in EUR)
2%	4377	5592	7511	10513
3%	2529	2846	3855	4116
4%	931	471	693	-1418
5%	-457	-1593	-2055	-6227
IOV (%)	4.8	4.3	4.3	3.8
TVT (jaar)	13.3	13.8	13.8	14.5

Uit bovenstaande gegevens blijkt dat bij een BTW-tarief van 21% de NCW-waarden dalen. Deze blijven positief voor een kapitaalkost van 4% of lager voor de eerste 3 systemen. In dat geval zijn de projecten dus aanvaardbaar. Vanaf een kapitaalkost van 4% is de NCW voor

het vierde systeem reeds negatief en vanaf 5% geldt dit ook voor de andere systemen en worden ze dus verworpen volgens de NCW-methode.

Uit de grafiek blijkt dat de IOV gezakt is tot 4.8% voor systeem 1 en 4.3% voor systeem 2 en 3. Deze van systeem 4 bedraagt ongeveer 3.8%. De investering wordt over een langere periode terugverdiend, met name tussen circa 13.3 en 14.5 jaar.

We kunnen besluiten dat gezien de huidige lage rentestand een investering in een PV-systeem ook bij een 21% BTW-tarief economisch rendabel blijft. De NCW en IOV dalen echter wel, terwijl de terugverdiëntijd stijgt.

Naast de calculatie die rekening hield met de huidige omstandigheden, werden ook een aantal scenario's uitgewerkt. Voor de berekening van de NCW werd hierbij uitgegaan van een kapitaalkost van 4 en 6%. Een discontovoet van 4% kan als representatief gezien worden voor de huidige situatie. In de toekomst zal de rentevoet waarschijnlijk stijgen waardoor een kapitaalkost van 6% aannemelijker wordt. Een BTW-percentages van 6% werd als uitgangsbasis genomen. De resultaten worden in volgende paragrafen besproken. Verdere toelichtingen omtrent de gegevens kunnen in bijlage 5 teruggevonden worden.

9.2.3 Resultaten van de uitgewerkte scenario's

9.2.3.1 Huidige investerings- en energieprijzen zonder steunmaatregelen

Voorgaande berekeningen werden herhaald vanuit een ander perspectief. Er werd hierbij namelijk uitgegaan van de situatie waarbij er geen subsidiemogelijkheden zijn, geen groenestroomcertificaten uitbetaald worden en geen fiscale aftrek mogelijk is. In deze omstandigheden blijkt de NCW reeds bij een kapitaalkost van 2% negatief te zijn. Bovendien blijkt de opbrengst uit de gespaarde elektriciteitskosten niet voldoende om de investering over de geschatte levensduur van 25 jaar terug te verdienen. Steunmaatregelen van de

overheid zijn dus noodzakelijk om de systemen voor particulieren economisch rendabel te maken in de gegeven omstandigheden.

9.2.3.2 Huidige investeringsprijzen, energieprijzen die jaarlijks met 5% stijgen

Een tweede scenario dat uitgewerkt werd, is deze waarbij rekening gehouden wordt met een jaarlijkse prijsstijging van de energieprijzen met 5%. Vier subscenario's werden hierbij uitgewerkt. Ten eerste werd er rekening gehouden met de huidige steunmaatregelen. Vervolgens werd de NCW berekend zonder deze voordelen. Als laatste werd er nagegaan wat de afzonderlijke invloed zou zijn van respectievelijk de subsidies en de groene stroomcertificaten. Volgende gegevens werden bekomen:

Tabel 12: Resultaten NCW bij stijging energieprijzen met 5% per jaar en kapitaalkost van respectievelijk 4 en 6%

Kapitaalkost 4%	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3	Systeem 4
Kapitaalkost 6%	NCW (in EUR)	NCW (in EUR)	NCW (in EUR)	NCW (in EUR)
Met huidige steunmaatregelen	6412	8518	11325	17350
	4642	6336	7897	11350
Zonder steunmaatregelen	-4813	-7920	-11126	-21940
	-9969	-14513	-18540	-31907
Met subsidies, zonder GSC	-8196	-11926	-15106	-25898
	-9969	-14513	-18540	-31907
Zonder subsidie, met GSC	3029	4912	7345	13392
	1259	2330	3917	7392

Uit bovenstaande tabel blijkt dat, indien de energieprijzen met 5% per jaar zouden stijgen en de steunmaatregelen behouden, de NCW voor al de toepassingen positief zou zijn bij een

kapitaalkost van 6%. Dit was zonder de prijsstijging niet het geval voor systeem 3 en 4. Uit de hoogte van de NCW-waarden kan opgemaakt worden dat de kapitaalkost nog mag stijgen vooraleer de NCW negatief zou worden. Zonder de steunmaatregelen zouden de toepassingen echter nog steeds economisch onrendabel zijn voor de particulier. Een belangrijke rol hierin spelen de groenestroomcertificaten. Het zou in dit scenario voldoende zijn om enkel deze groenestroomcertificaten uit te keren opdat de NCW bij een kapitaalkost van 6% positief zou blijven. Het alleen uitkeren van een subsidie zou echter onvoldoende zijn.

9.2.3.3 Investeringsprijzen die jaarlijks met 5% dalen, energieprijzen die jaarlijks met 5% stijgen

Het vorige scenario werd hierna herhaald voor een combinatie van stijgende energieprijzen en dalende investeringsprijzen. Er werd verondersteld dat de investering over tien jaar zou plaatsvinden, met een jaarlijkse daling van de kostprijs van PV-systemen met 5%. Zoals reeds eerder werd vermeld, dalen de prijzen van PV-systemen met gemiddeld 5% per jaar (ODE-Vlaanderen, 2004a). Voor de berekening van de besparing aan energieuitgaven werd vertrokken van het huidige peil met een prijsstijging van 5% per jaar. Vertrekkende van dit cijfermateriaal werden onderstaande NCW-waarden bekomen:

Tabel 13: Resultaten NCW bij dalende investeringsuitgaven en stijging van de energieprijzen met 5% per jaar en kapitaalkosten van respectievelijk 4 en 6%

Kapitaalkost 4%	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3	Systeem 4
Kapitaalkost 6%	NCW (in EUR)	NCW (in EUR)	NCW (in EUR)	NCW (in EUR)
Met huidige steunmaatregelen	11585	16826	22068	37140
Zonder steunmaatregelen	9812	14239	18634	31131
	-1669	-2415	-2777.4	-4529
	-3442	-5002	-6206	-10538

Met subsidies, zonder GSC	357	-17	-389	-2160
	-1416	-2603	-3823	-8168
Zonder subsidie, met GSC	9560	14427	19685	34770
	7787	11841	16251	28761

Uit de resultaten blijkt dat de NCW-waarde verder stijgt bij een prijsdaling van de PV-systemen en het behouden van de steunmaatregelen. De installaties zouden in dat geval zeer rendabel zijn. De kapitaalkost zou nog verder dan 6% mogen stijgen terwijl de NCW toch positief zou blijven. Als er echter geen steunmaatregelen zouden verleend worden, zou de NCW van de toepassingen nog steeds bij een kapitaalkost van 4% negatief blijven en dus zouden de systemen niet rendabel zijn. De steun zou wel mogen dalen. De groenestroomcertificaten voldoen om de NCW bij een kapitaalkost van 6% positief te houden. De subsidie op zich volstaat daarentegen niet. In dat geval is enkel systeem 1 aanvaardbaar bij een kapitaalkost van 4%.

9.3 Zonneboilers

Om de private kosten na te gaan die met behulp van een zonneboiler mogelijk vermeden kunnen worden, zullen een aantal systemen van het bedrijf Supersystems Europartner BVBA, gelegen te Meise, dieper bekeken worden. De gegevens die bij dit bedrijf werden bekomen, werden gecontroleerd aan de hand van andere ondernemingen en de gegevens verkregen bij een aantal particulieren.

Gezien het wijzigende aanbod aan zoninstraling bestaat de optimale conditionering van een zonneboiler uit een installatie die ongeveer de helft van de jaarlijkse behoefte aan warm water vervult. Het overige gedeelte wordt op de juiste temperatuur gebracht met behulp van een bijverwarming op aardgas, stookolie of elektriciteit. In eerste instantie werd uitgegaan van de huidige omstandigheden. Er is met name de mogelijkheid tot het verkrijgen van een fiscale aftrek en een premie van 75 EUR/m² vanwege de netbeheerders. Bij de berekeningen werd uitgegaan van een levensduur van 30 jaar. De gebruikte gegevens zien er als volgt uit:

Tabel 14: Gegevens met betrekking tot de zonneboilers

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
Liter gebruikt per dag aan 50°C	160	200	240
Oppervlak collectoren (m ²)	4.5	6.75	6.75
Dekkingsgraad	51.8%	55.9%	53.6%
Besparing gas (in m ³)	182	240	274
Besparing stookolie (liter)	211	278	316
Besparing elektriciteit (kWh)	1597	2122	2406
Prijs (alle materialen, incl. montage en BTW) Bijverwarming gas of stookolie	3580.38	4225.92	4349.94
Prijs (alle materialen, incl. montage en BTW) Bijverwarming elektriciteit	3708.64	4354.18	5244.58

Ook in dit geval werd er een opsplitsing gemaakt naargelang er een 6% of een 21% BTW-tarief van toepassing is. Er werd eveneens een onderscheid gemaakt naargelang de energiebron waarop bespaard wordt, namelijk aardgas, stookolie of elektriciteit.

9.3.1 Resultaten zonneboiler met besparing aan aardgas, rekening houdend met steunmaatregelen

Wanneer er van uitgegaan wordt dat een reductie plaatsvindt van het aardgasgebruik en een BTW-percentage van 6% van toepassing is, blijkt dat de NCW enkel tot een kapitaalkost van respectievelijk 1 en 2% positief blijft. Indien de kapitaalkost verder stijgt, wordt de NCW reeds negatief en blijven de investeringen niet langer economisch aanvaardbaar. De TVT ligt tussen de 20 en 23 jaar.

Als er anderzijds uitgegaan wordt van een BTW-percentage van 21%, dan daalt de rendabiliteit nog verder. Bij aardgas als energiebron is enkel de NCW van het derde systeem nog positief bij een kapitaalkost van 1%. De terugverdientijd ligt tussen 24.9 en 29.1 jaar. Deze gegevens hanterend, kunnen we besluiten dat de investering in één van de systemen met het oog op een besparing aan aardgas zelfs bij de huidige lage rentevoet niet rendabel is. De fiscale aftrek en de premie van de netbeheerders volstaan niet om de NCW positief te houden.

Tabel 15: NCW, IOV en TVT van zonneboilers met aardgas als bijverwarming (met steunmaatregelen, 6 en 21% BTW)

Kapitaalkost	Systeem 1 NCW (in EUR)		Systeem 2 NCW (in EUR)		Systeem 3 NCW (in EUR)	
	BTW6%	BTW21%	BTW6%	BTW21%	BTW6%	BTW21%
1%	230	-277	452	-146	737	122
2%	-60	-567	70	-528	301	-314
3%	-298	-804	-244	-842	-57	-672
IOV (%)	1,9	/	2,2	/	2,9	1.3
TVT (jaar)	23,1	29.1	21,8	27.1	20	24.9

9.3.2 Resultaten zonneboiler met besparing aan stookolie, rekening houdend met steunmaatregelen

Indien uitgegaan wordt van een besparing aan stookoliekosten en een 6% BTW-tarief, blijkt dat de NCW hoger ligt en tot een kapitaalkost van respectievelijk 3 en 4% positief blijft. De IOV bedraagt 3.9, 4.1 en 4.9%. De terugverdientijd daalt tot tussen de 15.7 en 18 jaar. Voor een 21% BTW-tarief daalt de NCW opnieuw en bedraagt de IOV respectievelijk 1.9, 2.5 en 3.1%. De terugverdientijd bevindt zich in die omstandigheden tussen 19.5 en 22.7 jaar.

Er kan dus geconcludeerd worden dat indien een 6% BTW-tarief van toepassing is de gegeven zonneboilers nog net economisch rendabel zijn bij een kapitaalkost van ongeveer 4%. Bij een 21% BTW-percentage zijn de systemen echter niet langer rendabel. Indien de resultaten nader bekeken worden, kan vastgesteld worden dat de waarden positiever zijn naarmate het om een groter systeem gaat. Hier spelen dus schaalvoordelen.

Tabel 16: NCW, IOV en TVT van zonneboilers met stookolie als bijverwarming (met steunmaatregelen, 6 en 21% BTW)

Kapitaalkost	Systeem 1 NCW (in EUR)		Systeem 2 NCW (in EUR)		Systeem 3 NCW (in EUR)	
	BTW 6%	BTW21%	BTW6%	BTW21%	BTW6%	BTW21%
1%	844	337	1258	660	1640	1023
2%	473	-34	769	171	1084	468
3%	169	-338	369	-229	629	13
4%	-82	-589	38	-560	253	-363
5%	-291	-798	-237	-835	-60	-676
IOV (%)	3.9	1.9	4.1	2.5	4.9	3.1
TVT (jaar)	18	22.7	17	21.2	15.7	19.5

9.3.3 Resultaten zonneboiler met besparing aan elektriciteit, rekening houdend met steunmaatregelen

In het geval dat er op elektriciteitskosten kan bespaard worden, stijgt de NCW en IOV nog verder. Rekening houdend met de gebruikte gegevens, blijft de NCW bij relatief hoge kapitaalkosten positief. Zoals uit onderstaande tabel blijkt is de IOV sterk toegenomen tot respectievelijk 11.8, 12.8 en 10.8%. De terugverdientijd bevindt zich nu tussen ongeveer 7.6 en 9 jaar.

Als uitgegaan wordt van een 21% BTW-tarief dan bedraagt de IOV voor de verschillende systemen 8.8, 11.4 en 8.1%. De investering wordt in dat geval tussen de 8.1 en 11.4 jaar terugverdiend.

Tabel 17: NCW, IOV en TVT van zonneboilers met elektriciteit als bijverwarming (met steunmaatregelen en 6% BTW)

Kapitaalkost	Systeem 1 NCW (in EUR)		Systeem 2 NCW (in EUR)		Systeem 3 NCW (in EUR)	
	BTW6%	BTW21%	BTW6%	BTW21%	BTW6%	BTW21%
1%	4427	3902	6093	5905	6362	5620
2%	3566	3041	4948	4761	5064	4322
3%	2859	2335	4010	3822	4000	3258
4%	2276	1751	3235	3048	3122	2379
5%	1791	1267	2591	2403	2391	1649
6%	1381	857	2045	1858	1773	1030
7%	1043	518	1597	1409	1263	521
8%	752	227	1210	1023	825	83
9%	504	-21	880	692	451	-291
10%	413	-112	759	572	314	-428
11%	105	-420	350	162	-150	-892
12%	-57	-581	135	-52	-393	-1135
13%	-198		-52		-606	
IOV (%)	11,8	8,8	12,8	11,4	10,8	8,1
TVT (jaar)	8,3	10,4	7,7	8,2	9,1	11

Uit bovenstaande resultaten kan geconcludeerd worden dat een investering in een zonneboiler met als oogpunt het besparen van aardgas of aardolie slechts bij lage tot zeer lage kapitaalkosten rendabel is. De NCW wordt zeer snel negatief, de IOV is laag en de terugverdientijd lang. Met uitzondering van de zonneboilers met stookolie als besparing, gecombineerd met een 6% BTW-tarief, zijn de systemen vanuit een economisch standpunt onder de gehanteerde omstandigheden niet aan te raden. De verleende premies van de netbeheerders en de mogelijkheid tot fiscale aftrek volstaan hierbij niet om de NCW voldoende hoog te houden. Wanneer het doel daarentegen het besparen aan elektriciteitsverbruik is, dan zijn de projecten wel economisch aanvaardbaar bij een relatief hoge discontovoet. De IOV is in dit geval gunstig.

Ook in het geval van zonneboilers werden een aantal scenario's uitgewerkt. De bespreking van de resultaten werd in volgende paragrafen opgenomen. Voor verdere toelichtingen omtrent de berekeningen wordt verwezen naar bijlage 6.

9.3.4 Resultaten van de uitgewerkte scenario's

9.3.4.1 Huidige investerings- en energieprijzen zonder steunmaatregelen

Een eerste scenario dat werd uitgewerkt heeft betrekking op een situatie waarbij er geen steunmaatregelen voorhanden zouden zijn. Zoals in bijlage 6 beschreven wordt, is de NCW reeds negatief voor een kapitaalkost van 1% bij aardgas en stookolie. De terugverdientijd ligt bovendien gemiddeld hoger dan de levensduur van de zonnepanelen. Zonder fiscale aftrek en premie van de netbeheerder zouden deze investeringen economisch niet rendabel kunnen zijn. Ook in dit geval toont de elektriciteitsbesparing een positiever beeld. De NCW blijft positief bij respectievelijk 5, 6 en 5%. De investering wordt terugverdiend na 14.7, 13 en 13.8 jaar.

Bij vorige resultaten moet er op gewezen worden dat er uitgegaan is van een levensduur van 30 jaar. In de praktijk zou het mogelijk zijn dat de zonnepanelen langer functioneel zouden blijven. De levensduur van de randapparatuur wordt echter geschat op slechts 20 jaar. Alhoewel opgemerkt kan worden dat er bij het gebruik van zonneboilers bijna geen onderhoudskosten zijn (het overgrote deel van de onzuiverheden die op de panelen terecht komen, wordt immers via regenval weggespoeld), geldt dit niet meer na deze periode van ongeveer 20 jaar. Wanneer dit tijdstip bereikt is, wordt het meer waarschijnlijk dat de randapparatuur vervangen moet worden met extra kosten tot gevolg. Dit heeft op zijn beurt een negatieve impact op de NCW, IOV en TVT. Vanuit dit oogpunt werd er een tweede scenario uitgewerkt waarbij de levensduur van de systemen beperkt wordt tot 25 en 20 jaar. De scenario's werden enkel uitgewerkt voor een BTW-percentagte van 6%.

9.3.4.2 Levensduur van 25 en 20 jaar met steunmaatregelen

Indien de levensduur van de installaties daalt, daalt ook de NCW. Bij een besparing op aardgas is de NCW in deze situatie reeds bij een kapitaalkost van 2% negatief. Voor een reductie aan stookolie geldt dit bij een kapitaalkost van 3 en 4% voor een levensduur van 25 jaar en bij 2 en 3% voor een levensduur van 20 jaar. Indien de doelstelling een vermindering aan elektriciteitsverbruik inhoudt, dan zijn de waarden opnieuw beter. De NCW blijft in dergelijke omstandigheden voor alle systemen tot een discontovoet van 9% positief. Bij systeem 2 geldt dit zelfs tot 12% voor een levensduur van 20 jaar.

Tabel 18: Resultaten NCW bij een levensduur van 25 en 20 jaar

Brandstof		Systeem 1 NCW (in EUR)		Systeem 2 NCW (in EUR)		Systeem 3 NCW (in EUR)	
		25 jaar	20 jaar	25 jaar	20 jaar	25 jaar	20 jaar
Kapitaalkost							
Aardgas	1%	-92	-430	28	-418	253	-255
	2%	-304	-574	-252	-608	-66	-472
Stookolie	1%	432	-0	716	146	1023	375
	2%	160	-185	358	-97	616	99

	3%	-69	-345	55	-308	272	-141
	4%	-264	-485	-201	-492	-19	-350
	5%	-430	-608	-420	-654	-268	-534
Elektriciteit	1%	3471	2467	4823	3488	4922	3408
	2%	2840	2039	3984	2920	3971	2764
	3%	2307	1666	3276	2425	3168	2203
	4%	1854	1341	2675	1993	2486	1713
	5%	1469	1056	2162	1614	1905	1284
	6%	1138	806	1722	1281	1406	906
	7%	852	585	1343	987	976	573
	8%	605	389	1015	727	604	278
	9%	390	214	729	496	279	15
	10%	201	59	478	289	-4	-219
	11%	36	-80	258	105	-254	-428
	12%	-110	-205	64	-61	-474	-616
	13%	-240	-317	-108	-210	-669	-785

9.3.4.3 Jaarlijks stijgende energieprijzen, dalende investeringsuitgaven

Een volgende scenario dat uitgewerkt werd, is deze waarbij een jaarlijkse prijsstijging van de energieprijzen wordt verondersteld, met name 5% voor aardgas- en stookolieprijzen en 2% voor de elektriciteitsprijzen. Drie subscenario's werden hierbij uitgewerkt. Ten eerste werd er rekening gehouden met de huidige steunmaatregelen. Vervolgens werd de NCW berekend zonder deze voordelen. Als laatste werd er nagegaan welke invloed er op de NCW uitgeoefend wordt indien de energieprijzen zouden stijgen zoals hiervoor aangegeven in combinatie met een daling van de investeringsprijs met 5% per jaar. Er werd vanuit gegaan dat de investering binnen 10 jaar zou plaatsvinden en er geen steunmaatregelen verleend zouden worden. Voor de berekening van de besparing aan energieuitgaven werd vertrokken van het huidige peil met een jaarlijkse prijsstijging. Deze scenario's, uitgewerkt voor een kapitaalkost van 4 en 6%, leverden volgende resultaten op:

Tabel 19: Resultaten NCW bij dalende investeringsuitgaven en stijging van de energieprijzen per jaar, kapitaalkosten van respectievelijk 4 en 6%

Aardgas Stookolie Elektriciteit	Systeem 1		Systeem 2		Systeem 3	
	NCW (in EUR)		NCW (in EUR)		NCW (in EUR)	
	4%	6%	4%	6%	4%	6%
Kapitaalkost						
Stijging energieprijzen, met huidige steunmaatregelen	838	140	1254	333	1653	602
	1623	729	2284	1107	2806	1467
	3361	2232	4676	3176	5073	3054
Stijging energieprijzen, zonder steunmaatregelen	-779	-1478	-532	-1453	-133	-1184
	5	-889	498	-680	1019	-319
	1743	614	2890	1390	2969	1268
Dalende investeringsprijzen, stijgende energieprijzen, zonder steunmaatregelen	657	-41	1164	243	1613	561
	1442	548	2194	1016	2765	1427
	3231	2102	4637	3137	5073	3373

Zoals de resultaten aangeven, heeft een stijging van de energieprijzen een positieve invloed op de NCW. Indien er nog steunmaatregelen worden toegekend, is de NCW voor alle systemen bij een kapitaalkost van 6% positief. Uit de hoogte van de waarden kan afgeleid worden dat de discontovoet nog mag stijgen vooraleer de NCW negatief zou worden. Indien er in dit geval echter geen premies en fiscale aftrek worden toegestaan, dan blijkt de NCW negatief voor toepassingen met aardgas als bijverwarming bij een kapitaalkost van 4% en voor stookolie indien een kapitaalkost van 6% van toepassing is. Voor systemen die een

besparing op elektriciteit bewerkstelligen zouden daarentegen geen steunmaatregelen nodig zijn.

In de situatie waarbij een stijging van de energieprijzen hand in hand gaat met een daling van de investeringskost, zijn er geen steunmaatregelen nodig om de systemen economisch rendabel te maken. In de afwezigheid van deze financiële steun blijkt de NCW voor de verschillende systemen immers positief te zijn bij een kapitaalkost van 6%.

9.4 Isolatie

Om te berekenen hoeveel besparing een isolatievoorziening oplevert, dienen gegevens aanwezig te zijn van alle constructiedelen van het gebouw. Daarnaast dient onder andere bekend te zijn welk rendement het verwarmingssysteem heeft, welke brandstof gebruikt wordt en welke temperaturen er gewenst zijn. Ook speelt het woningtype een rol. Warmteverlies via woningscheidende wanden is bijvoorbeeld verwaarloosbaar. Naast deze gegevens dient er ook een beeld gevormd te worden van de buitentemperaturen (Isgj, 2006). Dit resulteert in een zeer complexe formule. Hier zal gebruik gemaakt worden van een vereenvoudigd model.

Om een schatting te maken van het warmteverlies in kWh/m² dat per jaar verloren gaat door een bepaald oppervlak van de woning en het hieraan gekoppelde verlies aan stookolie en gas zal gebruik gemaakt worden van onderstaande formule (Bouwteam, 2005, Instituut voor Studie en Stimulering van onderzoek op het gebied van verwarming en luchtbehandeling, 1987):

- Met betrekking tot muren en daken:

$$U=1/(R+0.17) \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

Met R = dikte van het materiaal / lambdawaarde

- Met betrekking tot vloeren:

$$U=1/(R+0.34) W/(m^2*K)$$

- En waarbij:

$$84*U = \text{kWh per vierkante meter per jaar warmteverlies}$$

$$8.4*U = \text{liter stookolie of m}^3 \text{ gas per vierkante meter per jaar warmteverlies}$$

Zoals reeds eerder aangehaald werd, is de energiebesparing groter bij een dikkere uitvoering van de isolatie, maar deze reductie neemt niet evenredig toe met de dikte. In volgende paragrafen zal achtereenvolgens voor muur-, dak- en vloerisolatie de mogelijke besparing worden nagegaan voor verschillen in dikte en materiaal. Er zal een vergelijking gemaakt worden tussen verscheidene uitvoeringsdikten, namelijk volgens de vroegere wetgeving en de aanbevolen dikte voor doorgedreven isolatie:

Tabel 20: Minimale en doorgedreven isolatiedikten

	Minimale isolatiedikte (isolatiereglementering voor 2006)	Doorgedreven isolatie (aanbeveling)
Spouwmuur	4-6cm	10cm
Daken	8-10cm	15cm
Vloeren	4cm	6cm

9.4.1 Muurisolatie

Voor de calculatie werd gebruik gemaakt van de isolatiematerialen geëxtrudeerd polystyreenschuim, polyurethaanschuim en glaswol. Er werd een vergelijking gemaakt tussen een isolatie-uitvoering van 4 en 10 cm. Hiernaast werden de berekeningen herhaald voor de situatie waarin er enkel een luchtsouw aanwezig is, maar geen isolatiemateriaal. De resultaten die met behulp van voorgaande formule werden bekomen, zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 21: R-waarde en energieverlies voor isolatiemateriaal van 4 en 10 cm

Isolatiemateriaal met bijhorende lambdawaarde {W/(m*K)}	Dikte = 0.04 m	Dikte = 0.10 m
Geëxtrudeerd polystyreenschuim (Lambdawaarde=0.0295)	R-waarde (m ² *K/W) = 1.3559	R-waarde (m ² *K/W) = 3.3898
	Verlies in kWh = 55.10	Verlies in kWh = 27.55
	Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 5.51	Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 2.76
Polyurethaanschuim (Lambdawaarde=0.0275)	R-waarde (m ² *K/W) = 1.4545	R-waarde (m ² *K/W) = 3.6364
	Verlies in kWh = 51.76	Verlies in kWh = 22.08
	Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 5.18	Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 2.21
Glaswol (Lambdawaarde=0.036)	R-waarde (m ² *K/W) = 1.1111	R-waarde (m ² *K/W) = 2.7778
	Verlies in kWh = 65.65	Verlies in kWh = 28.51
	Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 6.56	Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 2.85
Geen isolatie, enkel luchtpouw	R-waarde (m ² *K/W) = 0.62 Verlies in kWh = 106.33 Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 10.63	

Om de private vermeden kosten te berekenen, wordt gebruik gemaakt van de gemiddelde aardgasprijs van Luminus en Electrabel (zie bijlage 1 en 2) van 0.04668232 EUR/kWh en een stookolieprijs van 0.5154 EUR/liter (gemiddelde prijs 2005) (Luminus, 2006; Electrabel, 2006; Informazout, 2006):

Tabel 22: Private vermeden kost per jaar per m² door dikkere wandisolatie

Isolatiemateriaal		Besparing aardgaskosten/m ² (in EUR)	Besparing stookoliekosten/m ² (in EUR)
Geëxtrudeerd polystyreenschuim	10 ipv 4 cm	1.29	1.42
	4 ipv 0 cm	2.40	2.64
	10 ipv 0cm	3.67	4.06
Polyurethaanschuim	10 ipv 4 cm	1.39	1.53
	4 ipv 0 cm	2.54	2.81
	10 ipv 0 cm	3.93	4.34
Glaswol	10 ipv 4 cm	1.73	1.91
	4 ipv 0 cm	1.90	2.10
	10 ipv 0cm	3.63	4.01

Om de NCW, IOV en TVT per m² te berekenen werd uitgegaan van een levensduur van 50 jaar en gemiddelde investeringsprijzen (EUR/m²) van de marktnotering van CASAS, maart 2006. (Deze bevatten alle nodige verwerkingsmaterialen en werkuren, zie bijlage 7 voor verdere details.)

Indien een isolatiedikte van 4 cm aangebracht wordt in plaats van enkel een luchtspouw dan bedraagt de IOV respectievelijk 29, 25 en 25% in het geval dat er op aardgas bespaard wordt en 35, 27 en 29% als er een reductie van stookolie bewerkstelligd wordt. De investering wordt tussen de 2.78 en 4.16 jaar terugverdiend.

Een isolatiedikte van 10 cm in vergelijking met een uitvoering van 4 cm levert volgende waarden op:

Tabel 23: NCW voor verschillende kapitaalkosten bij extra muurisolatie (10 ipv 4cm)

Kapitaalkost	Geëxtrudeerd polystyreenschuim NCW (in EUR)		Polyurethaanschuim NCW (in EUR)		Glaswol NCW (in EUR)	
	Aardgas	Aardolie	Aardgas	Aardolie	Aardgas	Aardolie
2%	31,21	35,41	29,91	34,44	45,61	51,28
3%	23,88	27,33	22,02	25,73	35,74	40,39
4%	18,42	21,30	16,13	19,23	28,38	32,26
5%	14,27	16,71	11,66	14,29	22,79	26,08
6%	11,06	13,17	8,21	10,48	18,46	21,31
7%	8,54	10,39	5,49	7,48	15,06	17,55
8%	6,52	8,16	3,32	5,08	12,35	14,55
9%	4,89	6,36	1,56	3,14	10,14	12,12
10%	3,54	4,87	0,11	1,54	8,33	10,12
11%	2,42	3,63	-1,10	0,20	6,81	8,45
12%	1,47	2,58	-2,12	-0,93	5,54	7,03
13%	0,63	1,66	-3,03	-1,93	4,41	5,79
14%	-0,04	0,92	-3,75	-2,72	3,50	4,79
15%	-0,64	0,25	-4,40	-3,44	2,69	3,89
16%	-1,18	-0,34	-4,98	-4,08	1,97	3,10
18%	-2,07	-1,32	-5,94	-5,13	0,77	1,77
20%	-2,78	-2,11	-6,70	-5,98	-0,19	0,71
22%		-2,76		-6,67		-0,16
IOV (%)	13.6	15.5	10.2	11.5	19.1	21
TVT (jaar)	7.16	6.49	9.48	8.91	5.11	4.63

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de NCW ook bij relatief hoge kapitaalkosten positief blijft. Rekening houdend met de gebruikte gegevens blijkt dat een investering in extra muurisolatie zeker de moeite waard is. Er werd eveneens een NCW-profiel opgesteld. Hieruit kan afgeleid worden dat de IOV van respectievelijk geëxtrudeerd polystyreenschuim, polyurethaanschuim en glaswol 13.6%, 10.2% en 19.1% bedragen in geval een besparing aan aardgas optreedt en 15.5%, 11.5% en 21% bij stookolie. De terugverdientijd van de materialen bedraagt respectievelijk 7.16, 9.48 en 5.11 jaar voor aardgas en 6.49, 8.91 en 4.63 jaar voor stookolie. Rekening houdend met de lange levensduur van isolatiematerialen

is een dergelijke investering economisch zeker rendabel. Wanneer er een besparing gerealiseerd wordt op het stookolieverbruik is de opbrengst zelfs nog hoger dan bij aardgas.

9.4.2 Dakisolatie

Om na te gaan hoeveel private kosten er bespaard kunnen worden met behulp van extra dakisolatie worden de materialen uit vorige paragraaf vergeleken voor een dikte van 10 en 20 cm en wordt eveneens rekening gehouden met het feit dat in heel wat bestaande woningen geen dakisolatie aanwezig is:

Tabel 24: R-waarde en energieverlies voor isolatiemateriaal van 0, 10 en 20 cm

Isolatiemateriaal met bijhorende lambdawaarde {W/(m*K)}	Dikte = 0.1 m	Dikte = 0.2 m
Geëxtrudeerd polystyreenschuim (Lambdawaarde=0.0295)	R-waarde (m ² *K/W) = 3.3890	R-waarde (m ² *K/W) = 6.7797
	Verlies in kWh = 23.61	Verlies in kWh = 12.09
	Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 2.36	Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 1.21
Polyurethaanschuim (Lambdawaarde=0.0275)	R-waarde (m ² *K/W) = 3.64	R-waarde (m ² *K/W) = 7.27
	Verlies in kWh = 22.08	Verlies in kWh = 11.29
	Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 2.21	Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 1.13
Glaswol (Lambdawaarde=0.036)	R-waarde (m ² *K/W) = 2.7778	R-waarde (m ² *K/W) = 5.5556
	Verlies in kWh = 28.51	Verlies in kWh = 14.67

	Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 2.85	Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 1.47
Geen isolatie	R-waarde (m ² *K/W) = 0.83 Verlies in kWh = 84 Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 8.4	

In eerste instantie werden de private vermeden kosten nagegaan voor een isolatiedikte van 20 cm in plaats van 10 cm. Er werd eveneens een vergelijking gemaakt tussen het aanbrengen van 10 of 20 cm isolatie ten opzichte van de afwezigheid hiervan. Dezelfde brandstofprijzen als in vorige paragraaf werden meegenomen in de berekeningen.

Tabel 25: Private vermeden kost per jaar per m² door dikkere dakisolatie

Isoletiemateriaal 20 ipv 10 cm	Besparing aardgaskosten (in EUR)	Besparing stookoliekosten (in EUR)
Geëxtrudeerd polystyreenschuim	0.5376	0.5936
Polyurethaanschuim	0.5037	0.5565
Glaswol	0.6459	0.7131
Geen isolatie tov 10 cm		
Geëxtrudeerd polystyreenschuim	2.82	3.29
Polyurethaanschuim	2.89	3.19
Glaswol	2.59	2.86
Geen isolatie tov 20 cm		
Geëxtrudeerd polystyreenschuim	3.36	3.71
Polyurethaanschuim	3.39	3.75
Glaswol	3.24	3.57

Om de NCW, IOV en TVT per m² te berekenen werd opnieuw uitgegaan van een levensduur van 50 jaar en gemiddelde investeringsprijzen (EUR/m²) van de marktnotering van CASAS, maart 2006 (zie bijlage 7 voor verdere details). Er werd rekening gehouden met de fiscale aftrek die mogelijk is voor het aanbrengen van dakisolatie (fiscale aftrek 40% van het factuurbedrag, maximaal 1280 EUR). De voorwaarde die stelt dat het gebruikte isolatiemateriaal een thermische weerstand R moet hebben die gelijk is aan of groter is dan 2.5 m²K/W is immers voldaan. Er werd hier eveneens een opsplitsing gemaakt naar aardgas en huisbrandolie.

In eerste instantie werd de NCW berekend voor 10 cm isolatie in vergelijking met de afwezigheid ervan. Uit de gegevens blijkt dat de NCW ook bij hoge kapitaalkosten positief blijft. De IOV bevindt zich tussen 21 en 27% in geval er op aardgas bespaard wordt en tussen 23 en 31% bij een reductie aan stookolie. Het aanbrengen van dakisolatie kan dus als zeer rendabel bestempeld worden. De investering verdient zichzelf terug tussen 3.14 en 4.75 jaar.

Ook indien er geen fiscale aftrek toegestaan zou worden, blijft het aanbrengen van 10 cm isolatie economisch rendabel. De IOV ligt in dat geval tussen 13 en 18%. De uitgave wordt tussen 5.24 en 7.91 jaar terugverdiend.

Tabel 26: IOV en TVT van besparing aan aardgas en stookolie bij 10 ipv 0cm dakisolatie met en zonder fiscale aftrek

		Aardgas Met fiscale aftrek	Stookolie Met fiscale aftrek	Aardgas Zonder fiscale aftrek	Stookolie Zonder fiscale aftrek
Geëxtrudeerd polystyreenschuim	IOV (%)	27	31	17	18
	TVT (jaar)	3.66	3.14	6.11	5.24
Polyurethaanschuim	IOV (%)	21	23	13	14
	TVT (jaar)	4.75	4.3	7.91	7.17

Glaswol	IOV (%)	25	29	15	18
	TVT (jaar)	3.88	3.52	6.48	5.87

Indien de vergelijking gemaakt wordt tussen 20 en 10 cm isolatie, dan bekomt men volgende waarden:

Tabel 27: NCW, IOV en TVT voor dakisolatie 20 cm ipv 10 cm

Kapitaalkost	Geëxtrudeerd polystyreenschuim NCW (in EUR)		Polyurethaanschuim NCW (in EUR)		Glaswol NCW (in EUR)	
	Aardgas	Stookolie	Aardgas	Stookolie	Aardgas	Stookolie
2%	10,69	12,45	8,08	9,74	13,66	15,77
3%	7,63	9,07	5,21	6,57	9,98	11,71
4%	5,34	6,55	3,07	4,20	7,23	8,68
5%	3,61	4,63	1,44	2,41	5,15	6,38
6%	2,27	3,15	0,19	1,02	3,54	4,60
7%	1,21	1,99	-0,79	-0,07	2,27	3,20
8%	0,37	1,06	-1,59	-0,94	1,26	2,08
9%	-0,31	0,30	-2,23	-1,65	0,44	1,18
10%	-0,88	-0,32	-2,76	-2,23	-0,24	0,43
11%		-0,84		-2,72		-0,19
IOV (%)	8,6	9,5	6,2	6,8	9,6	10,7
TVT (jaar)	11,54	10,46	15,39	13,93	10,28	9,31

Uit de gegevens blijkt dat de NCW eveneens bij relatief hoge kapitaalkosten positief blijft. De IOV bedraagt respectievelijk 8.6, 6.2 en 9.6% bij een reductie aan aardgas. De extra investering wordt tussen de 10 en 15 jaar terugverdiend, wat economisch gezien goed is, rekening houdend met de lange levensduur van het materiaal. Bij een centrale verwarming op stookolie ligt de IOV iets hoger namelijk 9.5, 6.8 en 10.7%. De terugverdientijd bedraagt in dat geval tussen de 9 en 14 jaar. Uit de gegevens blijkt dat, indien er een fiscale aftrek

verleend wordt, een investering voor het aanbrengen van 20 cm dakisolatie de moeite waard is.

Indien er bij het aanbrengen van deze dikkere isolatie geen fiscale aftrek wordt toegekend, dan daalt de IOV tot respectievelijk 3.6, 3.2 en 5.5% voor aardgas en 5.5, 3.8 en 6.4% voor stookolie. Indien een kapitaalkost van 4% gehanteerd wordt, zien we dat enkel materiaal 3 in beide gevallen en materiaal 1 bij een besparing op stookolie economisch rendabel blijft. De investering wordt tussen 15.52 en 25.65 jaar terug verdiend, wat vrij lang is.

9.4.3 Vloerisolatie

Om mogelijke besparingen na te gaan door middel van vloerisolatie wordt er een vergelijking gemaakt tussen een isolatie van 4 en 6 cm en de afwezigheid ervan. Hiervoor werden de isolatiematerialen geëxtrudeerd polystyreen, polyurethaan en cellenglas gebruikt. De berekeningen leverden de volgende resultaten op:

Tabel 28: R-waarde en energieverlies voor isolatiemateriaal van 0, 4 en 6 cm

Isolatiemateriaal	Dikte = 0.04 m	Dikte = 0.06 m
Geëxtrudeerd polystyreen (Lambdawaarde = 0.0295)	R-waarde ($m^2 \cdot K/W$) = 1.3559	R-waarde ($m^2 \cdot K/W$) = 2.0339
	Verlies in kWh = 49.53	Verlies in kWh = 35.38
	Verlies in m^3 aardgas of liter stookolie = 4.95	Verlies in m^3 aardgas of liter stookolie = 3.54
Polyurethaan (Lambdawaarde = 0.0275)	R-waarde ($m^2 \cdot K/W$) = 1.4545	R-waarde ($m^2 \cdot K/W$) = 2.1818
	Verlies in kWh = 46.81	Verlies in kWh = 33.31
	Verlies in m^3 aardgas of liter stookolie = 4.68	Verlies in m^3 aardgas of liter stookolie = 3.33

Cellenglas (Lambdawaarde = 0.046)	R-waarde (m ² *K/W) = 0.8696	R-waarde (m ² *K/W) = 1.3043
	Verlies in kWh = 69.44	Verlies in kWh = 51.09
	Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 6.94	Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 5.11
Geen isolatie	R-waarde (m ² *K/W) = 0.19 Verlies in kWh = 157.08 Verlies in m ³ aardgas of liter stookolie = 15.71	

Met behulp van de gemiddelde aardgas- en stookolieprijzen kunnen uit vorige tabel de vermeden private kosten voor energie-uitgaven berekend worden. Deze zien er als volgt uit:

Tabel 29: Private vermeden kost per jaar per m² door dikkere vloerisolatie

Isolatiemateriaal	Besparing aardgaskosten (in EUR)	Besparing stookoliekosten (in EUR)
6 ipv 4 cm		
Geëxtrudeerd polystyreen	0.6582	0.7267
Polyurethaan	0.6302	0.6958
Cellenglas	0.8543	0.9432
Geen isolatie tov 4 cm		
Geëxtrudeerd polystyreen	5.0230	5.5457
Polyurethaan	5.1491	6.3807
Cellenglas	4.0940	5.4632
Geen isolatie tov 6 cm		
Geëxtrudeerd polystyreen	5.6812	6.2724
Polyurethaan	5.1491	6.3807
Cellenglas	4.0940	5.4632

In eerste instantie werden de berekeningen uitgevoerd voor een isolatiedikte van 4 cm in vergelijking met de situatie waarin er geen isolatie aanwezig is. Hieruit blijkt dat de NCW ook bij hoge kapitaalkosten positief blijft en de investering dus aanvaardbaar is. De IOV ligt tussen de 24 en 53 %. De investering wordt tussen 2.2 en 4.47 jaar terugverdiend. Hieruit blijkt dat het zeker aan te raden is om vloerisolatie te plaatsen.

Tabel 30: IOV en TVT van besparing aan aardgas en stookolie bij 4 ipv 0 cm vloerisolatie

		Aardgas	Stookolie
Geëxtrudeerd polystyreenschuim	IOV (%)	42	46
	TVT (jaar)	2.39	2.2
Polyurethaanschuim	IOV (%)	43	53
	TVT (jaar)	2.33	1.88
Glaswol	IOV (%)	24	29
	TVT (jaar)	4.47	3.35

De berekeningen werden eveneens herhaald voor een isolatiedikte van 6 in plaats van 4 cm.

Dit leverde volgende resultaten op:

Tabel 31: NCW-waarden voor vloerisolatie 6 ipv 4 cm

Kapitaalkost	Geëxtrudeerd polystyreenschuim NCW (in EUR)		Polyurethaan-Schuim NCW (in EUR)		Glaswol NCW (in EUR)	
	Aardgas	Stookolie	Aardgas	Stookolie	Aardgas	Stookolie
2%	15,28	17,44	14,41	16,47	18,61	21,40
3%	11,54	13,36	10,82	12,51	13,74	16,03
4%	8,74	10,21	8,14	9,55	10,11	12,02
5%	6,62	7,87	6,1	7,30	7,36	8,98
6%	4,97	6,05	4,54	5,57	5,23	6,63
7%	3,68	4,63	3,30	4,20	3,55	4,78
8%	2,65	3,49	2,31	3,11	2,21	3,30
9%	1,81	2,57	1,51	2,23	1,13	2,10
10%	1,13	1,81	0,85	1,50	0,23	1,11
11%	0,55	1,17	0,30	0,89	-0,51	0,29
12%	0,07	0,63	-0,16	0,38	-1,14	-0,41
13%	-0,35	0,18	-0,56	-0,06	-1,68	-1,00
14%	-0,71	-0,22	-0,90	-0,43	-2,14	-1,51
IOV (%)	12,2	13,4	11,7	12,4	10,4	11,3
TVT (jaar)	8,2	7,43	10,15	7,76	9,64	8,73

Zoals uit de tabel blijkt, blijft de NCW opnieuw voor relatief hoge waarden positief. De IOV bedraagt respectievelijk 12.2, 11.7 en 10.4% in het geval van aardgas en 13.4, 12.4 en 11.3% voor stookolie. De investering wordt tussen 7.43 en 10.15 jaar terugverdiend. Een investering in dikkere vloerisolatie blijkt dus eveneens economisch rendabel.

9.4.4 Opmerking

Waarmee in voorgaande paragrafen geen rekening gehouden werd, is het feit dat er een extra ventilatiesysteem vereist is wanneer er een doorgedreven vorm van isolatie werd toegepast om de luchtkwaliteit op peil te houden. Het aanbrengen van zulke systemen gaat gepaard met een extra investeringskost wat negatieve gevolgen heeft voor de NCW, IOV en TVT.

9.5 Beglazing

Door het gebruik van dubbel of hoogrendementsglas kan men eveneens voorkomen dat er warmte verloren gaat. Met gewoon dubbel glas bespaart men gemiddeld 16 tot 20 m³ aardgas per m² per jaar ten opzichte van enkel glas. HR++-glas zorgt voor een besparing van gemiddeld 24 tot 30m³ gas per m² per jaar in vergelijking met enkele beglazing. Afwijkingen kunnen optreden afhankelijk van zaken zoals de situering van de glaspartij (in een verwarmde of onverwarmde ruimte, zuid of noord gericht), de oppervlakte van het glas en de buitentemperatuur (VROM, 2006; West-Vlaanderen, 2006). ODE-Vlaanderen (2006) stelt dat 44 liter stookolie of 36 m³ aardgas per jaar kan bespaard worden bij vervanging van 1 m² enkel glas door hoogrendementsglas ($U=1.1W/m^2 \cdot K$).

De prijs van dubbel glas situeert zich rond 50 à 60 EUR/m². Indien men rekening houdt met de plaatsingskosten bereikt men een gemiddeld bedrag van 90 EUR. De kosten voor

plaatsing variëren echter naargelang de situatie. De kostprijs voor HR++-glas ligt tussen de 100 en 120 EUR/m², plaatsingskosten inbegrepen.

De plaatsing van hoogrendementsbeglazing komt in aanmerking voor een fiscale aftrek ten bedrage van 40% van de investering beperkt tot maximaal 1280 EUR. Er werd uitgegaan van een levensduur van 30 jaar. Voor de berekening van de NCW, IOV en TVT werd gebruik gemaakt van een prijs/m² van respectievelijk 90 en 110 EUR en een besparing aan aardgas van 18 en 28 m³ aardgas voor enerzijds dubbele en anderzijds hoogrendementsbeglazing.

Er werden vijf situaties uitgewerkt, met name:

- Situatie 1: Dubbele beglazing ten opzichte van enkele beglazing.
- Situatie 2: Hoogrendementsbeglazing ten opzichte van enkele beglazing, met steunmaatregelen.
- Situatie 3: Hoogrendementsbeglazing ten opzichte van enkele beglazing, zonder steunmaatregelen.
- Situatie 4: Hoogrendementsbeglazing ten opzichte van dubbele beglazing, met steunmaatregelen.
- Situatie 5: Hoogrendementsbeglazing ten opzichte van dubbele beglazing, zonder steunmaatregelen.

Tabel 32: NCW, IOV en TVT met betrekking tot dubbele en hoogrendementsbeglazing

Kapitaalkost	Situatie 1 NCW (in EUR)	Situatie 2 NCW (in EUR)	Situatie 3 NCW (in EUR)	Situatie 4 NCW (in EUR)	Situatie 5 NCW (in EUR)
2%	98,19	226,75	182,75	38,55	-5,45
3%	74,70	190,2	146,2	25,50	-18,5
4%	55,30	160,03	116,03	14,72	
5%	39,17	134,93	90,93	5,76	

6%	25,66	113,92	69,92	-1,74	
7%	14,27	96,19	52,20		
8%	4,597	81,15	37,15		
9%	-3,67	68,29	24,29		
10%		57,22	13,22		
11%		47,64	3,64		
12%		39,29	-4,71		
19%		2,42			
20%		-0,92			
IOV (%)	8,5	19,50	11,5	5,7	/
TVT (jaar)	10,71	5,05	8,42	14,14	/

Zoals uit de resultaten afgeleid kan worden, loont het de moeite om enkel glas te vervangen door dubbele beglazing. De IOV bedraagt 8.5% en de investering wordt op 10.7 jaar terug verdiend. Wanneer enkel glas vervangen wordt door hoogrendementsbeglazing is het rendement nog hoger. De IOV haalt een hoogte van 19.5% en de extra kost wordt op slechts 5 jaar terug verdiend. Zelfs zonder steunmaatregelen blijkt de investering een IOV te hebben van 11.5% indien de hoogrendementsbeglazing in de plaats van enkele beglazing komt. De TVT bedraagt dan 8.4 jaar. Gezien de huidige lage rentevoet en de mogelijkheid tot premies en fiscale aftrek, is het ook aan te raden om dubbele beglazing te vervangen door hoogrendementsbeglazing. In een dergelijke situatie bedraagt de IOV 5.7%. Indien er in de toekomst daarentegen geen steunmaatregelen meer zouden toegekend worden, zou het vervangen van dubbele- door hoogrendementsbeglazing niet meer economisch rendabel zijn.

Hoofdstuk 10: Externe kosten en baten

Naast de private kosten en opbrengsten kunnen er ook externe kosten vermeden worden door energiezuiniger te gaan wonen. Externe kosten ontstaan wanneer sociale of economische activiteiten van bepaalde personen invloed hebben op andere individuen en het milieu waarbij de impact niet geheel wordt aangerekend of gecompenseerd door de eerst genoemden. Het zijn schadekosten verbonden aan negatieve neveneffecten van maatschappelijke activiteiten. Ze worden meestal niet (volledig) via het prijsmechanisme in rekening gebracht en bijgevolg afgewenteld op de maatschappij, andere landen of toekomstige generaties (VMM, 2005). Het gaat hierbij vooral om kosten verbonden aan schade die wordt toegebracht aan de gezondheid en het milieu. Ook al bestaan deze kosten in realiteit, het is vaak zeer moeilijk om er een welbepaald geldbedrag aan vast te koppelen.

Een manier waarop de overheid deze kosten toch in rekening brengt, is via fiscale maatregelen en het aanmoedigen van milieusparend gedrag door subsidies. De subsidies voor energiezuinige toepassingen kunnen in dit licht gezien worden. Ze kunnen beschouwd worden als een compensatie voor de externe kosten die vermeden worden, namelijk de vermindering aan uitstoot van schadelijke gassen en dan vooral CO₂.

Dat er nog een hele weg afgelegd moet worden om het beoogde resultaat van het Kyoto-protocol te behalen blijkt uit volgende inventarisgegevens van de broeikasgasemissies die in Vlaanderen opgemeten werden voor respectievelijk de huishoudens en voor alle sectoren samen (VMM, Energiebalans Vlaanderen VITO, Econotec, 2005):

Tabel 33: CO₂-equivalentemissies in Vlaanderen naar huishoudens en naar alle sectoren samen

	Huishoudens CO₂-uitstoot in ton	Alle sectoren samen CO₂- uitstoot in ton	Huishoudens CO₂-eq in ton	Alle sectoren samen CO₂-eq in ton
1990	11.765.100	66.611.400	12.321.300	87.111.800
1995	13.031.500	71.374.100	13.621.000	92.876.400
1996	15.711.400	75.716.700	16.408.800	97.111.700
1997	13.324.900	73.232.000	13.942.700	91.766.300
1998	13.725.400	77.882.900	14.346.200	95.897.100
1999	13.212.000	73.674.500	13.790.500	90.701.600
2000	12.417.300	74.122.700	12.937.700	90.793.700
2001	13.432.300	73.026.900	13.987.600	89.277.900
2002	12.640.800	74.077.100	13.157.100	89.837.600
2003	13.827.100	76.483.800	14.393.100	91.056.100

Bron: VMM, Energiebalans Vlaanderen Vito, Econotec, 2004)

In 1990 bedroegen de emissies in Vlaanderen 87.111.800 ton CO₂-equivalenten. De beoogde doelstelling van 5.2% betekent dus een reductie van 4.529.814 ton tot een hoeveelheid van 82.581.986 ton. Aangezien de totale emissies gestegen zijn in plaats van gedaald, is er nog een bijkomende inspanning nodig. Indien we de cijfers van 2003 hanteren (91.056.100 ton) dient er een reductie van 8.474.114 ton gerealiseerd te worden. Indien men rekening houdt met 6.058.368 Vlamingen (Federale Overheid, statbel, juli 2005) betekent dit dus een reductie van 1,398745339 ton per persoon in Vlaanderen.

De gegevens kunnen ook vertaald worden per woning. Volgens de gegevens van de Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie (2006) bevinden er zich 1.831.905 eengezinswoningen op Vlaams grondgebied. Rekening houdend met voorgaande gegevens betekent dit dus een reductie van 4,625847956 ton CO₂ per eengezinswoning.

In volgende paragrafen zal dieper ingegaan worden op de besparing aan CO₂ met behulp van PV-systemen, zonneboilers, het gebruik van extra isolatie en hoogrendementsbeglazing

en zal deze vergeleken worden met de toegekende subsidies en andere steunmaatregelen. Er zal hierbij tevens nagegaan worden in hoeverre de steunmaatregelen in overeenstemming zijn met de kostprijs van emissierechten. Het verlenen van subsidies kan immers vanuit de drie reeds aangehaalde standpunten gemotiveerd worden:

- Vergoeding voor vermeden externe kosten
- Toekomstvisie en transgenerationele solidariteit
- Multiplicatoreffect van subsidies in België in plaats van uitgaven aan emissierechten aan het buitenland

Er bestaat nu reeds een handel in emissierechten tussen de verschillende bedrijven van deelnemende landen aan het Kyoto-protocol. De uitstoot van CO₂ heeft hiermee een prijs gekregen. Hoe hoog die prijs is, wordt bepaald door vraag en aanbod. De prijs van een emissierecht (dit vertegenwoordigt 1 ton CO₂-emissies) is aan schommelingen onderhevig. De prijs was sinds het begin van de handel sterk gestegen: van 7 EUR in januari 2005 naar 30 EUR in juli. In oktober 2005 bedroeg deze dan weer 23.5 EUR, terwijl in mei 2006 een prijs van 9 EUR/ton opgemeten werd. Vanaf 2008 zal er een internationale handel plaatsvinden tussen de verschillende landen die het protocol geratificeerd hebben. Indien Vlaanderen de doelstelling van 5.2% reductie niet haalt, zullen er voor het tekort emissierechten moeten aangekocht worden. Indien men zou aannemen dat Vlaanderen deze emissierechten zou moeten aankopen dan zou men de besparing aan CO₂ en dus het minder moeten aankopen van emissierechten door energiezuiniger te wonen als een compensatie kunnen zien voor de verleende subsidies.

10.1 Fotovoltaïsche zonnepanelen

Door gebruik te maken van fotovoltaïsche systemen kan men elektriciteit opwekken zonder uitstoot aan schadelijke gassen. Om een kWh aan elektriciteit op te wekken met behulp van de huidige centrales komt gemiddeld 0.307 kg CO₂ in de lucht terecht (Ministerie van

Economie, Commissie Ampère, 2000). De Vlaamse gezinnen gebruikten in 2004 gemiddeld 4670 kWh elektriciteit (VMM, 2005). Indien men er theoretisch vanuit zou gaan dat aan elke woning een PV-systeem zou kunnen aangebracht worden onder optimale hoek en zonder beschaduwing dan zou dit een reductie betekenen van gemiddeld 1.43369 ton CO₂-emissies per woning. Alle huishoudens samen verbruikten in 2004 39.1 PJ aan elektriciteit. Indien dit geheel met behulp van PV-installaties opgewekt zou kunnen worden en er geen rekening gehouden wordt met de uitstoot tijdens de productie van de systemen dan zou dit een reductie van 3.3344 Mton betekenen oftewel 39.35% van de Kyoto-doelstelling. Alle woningen lenen zich echter niet tot het plaatsen van PV-systemen.

Zoals reeds vermeldt in voorgaande hoofdstukken tonen studies aan dat 12 tot 25% van het Vlaamse elektriciteitsverbruik opgewekt zou kunnen worden door middel van zonne-energie (ODE-Vlaanderen, 2004a). Indien er geen rekening wordt gehouden met de uitstoot tijdens de productie van de PV-systemen zou dit een daling van de CO₂-uitstoot voor alle sectoren samen betekenen als volgt:

$48230\text{GWh} * 12\% * 307\text{ton/MWh} = 1.777\text{Mton}$ oftewel 20.97% van de doelstelling

$48230\text{GWh} * 25\% * 307\text{ton/MWh} = 3.702\text{Mton}$ oftewel 43.69% van de doelstelling

Indien deze percentages ook voor de huishoudens van toepassing zouden zijn, zou men met behulp van het plaatsen van PV-systemen 0.4001 tot 0.8336 Mton CO₂-uitstoot kunnen vermijden oftewel 4.72 tot 9.84 % van de doelstelling. In volgende paragrafen wordt dieper ingegaan op de mogelijke emissiebesparingen van de PV-gevalstudies in vorig hoofdstuk en worden deze gekoppeld aan de kosten voor subsidies en de aankoop van emissierechten.

Indien de uitstoot van 0.307 kg/kWh gekoppeld wordt aan de geschatte jaarlijkse elektriciteitsopbrengst van de PV-systemen vermeld in vorig hoofdstuk, dan kan er nagegaan worden hoeveel CO₂-uitstoot er gereduceerd kan worden met behulp van deze toepassingen.

Tabel 34: Uitsparing aan CO₂-uitstoot met behulp van PV-systemen

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3	Systeem 4
Jaarlijkse elektriciteits-opbrengst in kWh	1836	2754	3672	6426
Besparing CO₂				
In kg/jaar	563.652	845.478	1127.304	1972.782
In ton/jaar	0.563652	0.845478	1.127304	1.972782
In kg gedurende de levensduur van 25 jaar	14091.3	21136.95	28182.6	49319.55
In ton gedurende de levensduur van 25 jaar	14.0913	21.13695	28.1826	49.31955

Deze emissiebesparing kan vergeleken worden met de verleende subsidies voor de PV-systemen, namelijk als volgt:

Tabel 35: Subsidies voor PV-systemen en kost per ton uitgespaarde CO₂ uitgaande van de subsidies

Subsidies Vlaamse overheid 10% (max 3000 Wp, max 7000 EUR/kWp)	Systeem 1 (in EUR)	Systeem 2 (in EUR)	Systeem 3 (in EUR)	Systeem 4 (in EUR)
Bij 6% BTW-tarief	1603	2226	2201	2179
Bij 21% BTW-tarief	1829.52	2100	2512.01	2486.93

Kost per ton uitgespaarde CO ₂ vanuit het oogpunt van verleende subsidies				
Bij 6% BTW-tarief	113.76	105.31	78.10	44.18
Bij 21% BTW-tarief	129.83	99.35	89.13	50.42

Als men hypothetisch zou aannemen dat een emissierecht, welk 1 ton CO₂-emissies vertegenwoordigt, enerzijds 9 EUR en anderzijds 23.5 EUR zou kosten, dan zou men de besparing aan CO₂ en dus het minder moeten aankopen van emissierechten mee in de berekening van de NCW, IOV en TVT van de PV-systemen kunnen opnemen waardoor de eerste twee zouden stijgen en de TVT zou dalen. De PV-systemen zouden op die manier jaarlijks de volgende extra besparingen in EUR met zich meebrengen:

Tabel 36: Geldbesparing ten gevolge van CO₂-reductie rekening houdend met aankoop emissierechten (23.5 EUR per ton CO₂)

Besparing aan emissierechten bij:	Systeem 1 (in EUR)	Systeem 2 (in EUR)	Systeem 3 (in EUR)	Systeem 4 (in EUR)
▪ 9 EUR/ton				
▪ 23.5EUR/ton				
Per jaar	5.07	7.61	10.15	17.76
	13.25	19.87	26.49	46.36
Over de levensduur van 25 jaar	126.82	190.23	253.64	443.88
	331.15	496.72	662.29	1159.01

Als enkel rekening gehouden wordt met de aankoopkost van emissierechten tegen respectievelijk 9 en 23.5 EUR dan blijkt dat de uitgaven aan subsidies hoger liggen dan deze vermeden uitgaven. Hierbij is echter nog geen rekening gehouden met het multiplicatoreffect van de subsidies voor de Belgische economie, welke anders verloren zou gaan aan de aankoop van buitenlandse emissierechten. Het is bovendien heel moeilijk te voorspellen wat de reële kostprijs van een emissierecht zal zijn wanneer er een effectieve handel zal ontstaan tussen de deelnemende landen. Er dient eveneens op gewezen te worden dat er nog andere externe kosten verbonden zijn aan het verbruik van de klassieke brandstoffen zoals de aantasting van gebouwen door zure regen en het vrijkomen van stofdeeltjes die een schadelijke impact hebben op de gezondheid. Het is echter zeer moeilijk om hier een prijs voor te hanteren.

Anderzijds kunnen de verleende subsidies gedeeltelijk gezien worden vanuit het oogpunt van transgenerationele solidariteit. Bij het gebruik van PV-systemen worden geen beperkte voorraden fossiele brandstoffen aangesproken. Bovendien krijgt men door deze toepassingen in de praktijk te gebruiken meer ervaring, met de mogelijkheid om de technologie te verbeteren waardoor de markt zich verder kan ontwikkelen en prijsdalingen kunnen bewerkstelligd worden..

10.2 Gebruik van zonneboilers

Met behulp van een zonneboiler kan men een reductie aan aardgas, stookolie of elektriciteit bewerkstelligen. Een gemiddeld persoon in België verbruikt 40 liter warm water per dag. Voor een gezin van 4 personen betekent dit een energieverbruik van ongeveer 3000 kWh per jaar. Gemiddeld gaat 18% van de warmtebehoefte van een woning naar het verwarmen van water (ODE-Vlaanderen, 2003a). Zoals reeds eerder werd aangehaald worden de systemen meestal zodanig gedimensioneerd dat ze instaan voor de helft van het jaarlijks warm waterverbruik.

Zoals reeds eerder werd aangehaald verbruikten de Vlaamse gezinnen in 2004 257.6 PJ aan energie. Als er verondersteld wordt dat 55% hiervan naar de warmtebehoefte van de woning gaat en bijkomend aangenomen wordt dat 12 tot 25% van de gezinnen gebruik zou kunnen maken van een zonneboiler kan hieruit de mogelijke reductie aan CO₂ afgeleid worden. Er wordt uitgegaan van een CO₂-emissie van 1.77 kg per m³ aardgas, 2.62 kg per liter stookolie en zoals reeds in vorige paragraaf werd vermeld 0.307 kg per kWh elektriciteit (Comissie Ampère, 2000, Menckveld, 2001). Indien aangenomen zou worden dat 40% van het water verwarmd wordt met behulp van aardgas, 40% door middel van aardolie en 20% met elektriciteit dan zou hiermee een vermindering van CO₂ kunnen behaald worden tussen de 0.1051 en 0.2189 Mton oftewel 1.24 tot 2.58% van de Kyoto-doelstelling.

Met de systemen vermeld in vorig hoofdstuk kon men de volgende hoeveelheden vermijden:

Tabel 37: Besparing aan energieverbruik met behulp van zonneboilersystemen

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
Besparing gas (in m ³ /jaar)	182	240	274
Besparing stookolie (liter/jaar)	211	278	316
Besparing elektriciteit (kWh/jaar)	1597	2122	2406

Met de installaties zou men een CO₂-reductie kunnen bewerkstelligen als volgt:

Tabel 38: Besparing aan CO₂-emissies met behulp van zonneboilersystemen

CO₂ besparing	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
Bij gas (in kg/jaar)	322.14	424.80	484.98
Bij gas over 30 jaar (in ton)	9.66	12.74	14.55
Bij stookolie (in kg/jaar)	552.82	728.36	827.92
Bij stookolie over 30 jaar (in ton)	16.58	21.85	24.84
Bij elektriciteit (in kg/jaar)	490.28	651.45	738.64
Bij elektriciteit over 30 jaar (in ton)	14.71	19.54	22.16

Met behulp van voorgaand cijfermateriaal kan de kostprijs van de verleende premies en toegestane fiscale aftrek afgewogen worden tegen de uitgespaarde CO₂-emissies:

Tabel 39: Kostprijs steunmaatregelen per ton CO₂

	Systeem 1 (in EUR)	Systeem 2 (in EUR)	Systeem 3 (in EUR)
Verleende premie (75 EUR /m ²) en fiscale aftrek	1617.5	1786.25	1786.25
Steunmaatregel per ton CO ₂ bij aardgas	167.37	140.16	122.77
Steunmaatregel per ton CO ₂ bij stookolie	97.53	81.75	71.92
Steunmaatregel per ton CO ₂ bij elektriciteit	109.97	91.40	80.61

Indien de uitgaven voor de steunmaatregelen vergeleken worden met de hypothetische 9 en 23.5 EUR aan emissierechten dan blijkt dat de kostprijs aan premies en fiscale aftrek hoger liggen. Er moet hier evenwel opnieuw opgemerkt worden dat er geen rekening is gehouden met het multiplicatoreffect en er geen duidelijkheid bestaat over de toekomstige prijs van emissierechten, het feit dat er nog andere externe kosten verbonden zijn aan het traditionele energieverbruik en motieven zoals toekomstvisie en transgenerationale solidariteit.

10.3 Gebruik van isolatie

Zoals reeds meerdere malen werd vermeld, kan er door middel van een aangepaste isolatie van muren, daken en vloer bespaard worden op de verbranding van aardgas en aardolie en dus op de uitstoot van schadelijke gassen. Er zal hier nagegaan worden hoeveel de reductie aan CO₂ bedraagt door gebruik te maken van de voorbeelden uitgewerkt in voorgaand hoofdstuk.

10.3.1 Muurisolatie

In vorig hoofdstuk werd nagegaan hoeveel de besparing aan brandstof bedraagt bij het plaatsen van isolatie uit respectievelijk geëxtrudeerd polystyreenschuim, polyurethaanschuim en glaswol met een dikte van 10 cm in plaats van 4 cm. Indien verondersteld wordt dat per m³ aardgas die verbrand wordt 1.77 kg CO₂ vrijkomt en per liter huisbrandolie 2.62 kg CO₂, dan kan uit deze gegevens afgeleid worden hoeveel de reductie bedraagt per m² bij het plaatsen van dikkere isolatie voor een centrale verwarming op aardgas of stookolie:

Tabel 40: Besparing aan CO₂-emissies door het plaatsen muurisolatie

	Besparing CO ₂ /m ²				
		Aardgas		Stookolie	
		Per jaar (kg)	50 jaar (ton)	Per jaar (kg)	50 jaar (ton)
Geëxtrudeerd polystyreenschuim	10 ipv 4cm	2.28	0.144	3.72	0.186
	4 ipv 0 cm	4.25	0.213	6.92	0.346
	10 ipv 0cm	6.53	0.327	10.64	0.532
Polyurethaanschuim	10 ipv 4cm	2.46	0.123	4.01	0.201
	4 ipv 0 cm	4.50	0.225	7.36	0.368
	10 ipv 0cm	6.96	0.348	11.37	0.569
Glaswol	10 ipv 4cm	3.06	0.153	5.00	0.250
	4 ipv 0 cm	3.36	0.168	5.50	0.275
	10 ipv 0cm	6.42	0.321	10.50	0.525

Voor muurisolatie worden geen subsidies toegekend. Indien men hypothetisch zou aannemen dat door middel van deze extra isolatie minder emissierechten zouden moeten aangekocht worden aan respectievelijk 9 en 23.5 EUR dan zou een steunmaatregel van

gemiddeld 2.40 en 6.25 EUR/m² voor een breakeven zorgen tussen de uitgave voor de subsidie en de besparing aan rechten bij de plaatsing van 4 cm en 3.65 en 9.54 EUR/m² indien het gaat om 6 cm muurisolatie.

10.3.2 Dakisolatie

In volgende tabel werden de mogelijke CO₂-besparingen opgenomen die gerealiseerd kunnen worden met behulp van dakisolatie.

Tabel 41: Besparing aan CO₂-emissies/m² door het plaatsen van dakisolatie: 10 ipv 0cm, 20 ipv 0cm en 10 ipv 20cm

Isolatiemateriaal	Besparing CO ₂ in kg per m ² per jaar			
	0-10cm	0-20cm	10-20cm	
Geëxtrudeerd polystyreenschuim	Aardgas	10.33	12.73	2.40
	Stookolie	15.82	18.84	3.02
Polyurethaanschuurim	Aardgas	10.96	12.87	1.91
	Stookolie	16.22	19.05	2.83
Glaswol	Aardgas	9.82	12.27	2.45
	Stookolie	14.54	18.16	3.62
	Besparing CO ₂ in ton per m ² over 50 jaar			
	0-10cm	0-20cm	10-20cm	
Geëxtrudeerd polystyreenschuurim	Aardgas	0.517	0.637	0.120
	Stookolie	0.791	0.942	0.151
Polyurethaanschuurim	Aardgas	0.548	0.644	0.096
	Stookolie	0.811	0.953	0.142

Glaswol	Aardgas	0.491	0.614	0.123
	Stookolie	0.727	0.908	0.181

Voor dakisolatie wordt een fiscale aftrek toegestaan van 40% op het factuurbedrag met een maximum van 1280 EUR. Voor de gebruikte materialen kwam dit neer op 6.90, 9.94 en 6.71 EUR. Als we de uitgespaarde CO₂ vermenigvuldigen met de hypothetische 23.5 EUR aan emissierechten dan bekomen we een uitgespaarde kost tussen 11.54 en 19.06 EUR voor een isolatie van 10 cm in vergelijking met de afwezigheid ervan, tussen 14.43 en 22.14 EUR voor 20 cm isolatie in vergelijking met 0 cm en 2.26 en 4.25 EUR voor 20 cm in plaats van 10 cm. Uit deze gegevens blijkt dat de kost voor steunmaatregelen als stimulans om dakisolatie aan te brengen hoger is dan de potentiële kosten aan emissierechten, maar bij een doorgedreven isolatie van 20 cm toch in de buurt komt.

Uit de gegevens die ANRE ter beschikking stelt, blijkt dat 66.1% van de woningen in Vlaanderen in 2003 over dakisolatie beschikte (55.5% in 1998, 65.7% in 2001). Uitgaande van het cijfermateriaal van 2003 is er dus nog een potentieel van 33.9% oftewel 621.016 woningen waarbij nog dakisolatie kan aangebracht worden. Uitgaande van de hiervoor gebruikte cijfers, kan er gemiddeld 15.65 kg CO₂/m² vermeden worden door het aanbrengen van 20 cm. Als verondersteld wordt dat de gemiddelde dakoppervlakte 120 m² bedraagt, zou hiermee 0.58 Mton CO₂/jaar uitgespaard kunnen worden (15.65 kg CO₂/m²*621.016*60 m²/1000) oftewel 6.88% van de Kyoto-doelstelling. Bovendien zal de dikte in de bestaande woningen waarschijnlijk dunner zijn dan deze aanbevolen voor doorgedreven isolatie. Indien hier nog bijkomende isolatie zou aangebracht worden, zou het potentieel mogelijk nog groter kunnen zijn.

10.3.3 Vloerisolatie

De mogelijke CO₂-besparingen die gerealiseerd kunnen worden met behulp van vloerisolatie worden hierna weergegeven:

Tabel 42: Besparing aan CO₂-emissies/m² door het plaatsen van vloerisolatie: 4 ipv 0cm, 6 ipv 0cm en 6 ipv 4cm

Isolatiemateriaal		Besparing CO ₂ in kg per m ² per jaar		
		0-4cm	0-6cm	4-6cm
Geëxtrudeerd polystyreen	Aardgas	19.05	21.54	2.49
	Stookolie	28.19	31.89	3.69
Polyurethaan	Aardgas	19.52	21.91	2.39
	Stookolie	28.90	32.44	3.54
Cellenglas	Aardgas	15.52	18.76	3.24
	Stookolie	22.98	27.77	4.79
		Besparing CO ₂ in ton per m ² over 50 jaar		
		0-4cm	0-6cm	4-6cm
Geëxtrudeerd polystyreen	Aardgas	0.953	1.077	0.125
	Stookolie	1.410	1.595	0.185
Polyurethaan	Aardgas	0.976	1.096	0.120
	Stookolie	1.445	1.622	0.177
Cellenglas	Aardgas	0.776	0.938	0.162
	Stookolie	1.149	1.389	0.240

Per m² kan er gemiddeld 1.12 ton uitgespaard worden over een levensduur van 50 jaar bij een isolatie van 4 cm, 1.29 ton voor 6 cm en 0.168 ton wanneer men bij een isolatie van 4 cm nog 2 cm bijvoegt. Voor vloerisolatie worden er geen steunmaatregelen ter beschikking

gesteld. Als compensatie voor vermeden uitgaven voor emissierechten zou een subsidie van respectievelijk 26.27, 30.22 en 3.95 EUR mogen toegekend worden bij een emissierechtenprijs van 23.5 EUR en 10.06, 11.57 en 1.51 EUR indien de prijs voor een emissierecht 9 EUR zou bedragen..

10.4 Beglazing

Zoals in vorig hoofdstuk werd aangegeven, zorgt HR++-glas voor een besparing van gemiddeld 30 m³ gas per m² per jaar in vergelijking met enkel glas. Uitgaande van een emissiefactor van 1.77 kg CO₂ per m³ aardgas, betekent dit dus ongeveer 53.4 kg CO₂ minder uitstoot per jaar dan bij het gebruik van enkel glas. Met gewoon dubbel glas bespaart men gemiddeld 20 m³ aardgas per m² per jaar ten opzichte van enkel glas, wat een reductie van 35.4 kg CO₂ inhoudt.

Uit gegevens van ANRE blijkt dat 78.4% van de Vlaamse woningen in 2003 beschikten over dubbel glas (69% in 1998, 78.1% in 2001). In de veronderstelling dat dit vervangen zou worden door hoogrendementsglas en aannemend dat de gemiddelde glasoppervlakte 20 m² bedraagt, zou dit een reductie aan CO₂-uitstoot van 659485.8 ton (1.831.905 woningen*20m²*18kg/m²) oftewel 7.78 % van de Kyoto-doelstelling met zich meebrengen. Uit de gegevens is niet duidelijk over welk soort glas de overige 21.6% woningen beschikken waardoor het potentieel waarschijnlijk nog hoger ligt.

Voor hoogrendementsbeglazing wordt een fiscale aftrek toegestaan van 40% op het factuurbedrag. In vorig hoofdstuk werd bij de berekening van de NCW rekening gehouden met een fiscale aftrek van 44 EUR/m², wat dus zou neer komen op 16.48 EUR/ton uitgespaarde CO₂ bij vervanging van enkel glas door hoogrendementsbeglazing en 48.49 EUR/ton indien hoogrendementsglas in de plaats van dubbel glas komt.

Bij een emissierechtenprijs van 9 EUR/ton zou de toegekende subsidie hoger liggen dan dit bedrag. Indien de prijs daarentegen 23.5 EUR zou bedragen, dan ligt de subsidie bij de vervanging van enkel glas door hoogrendementsglas lager dan de emissierechtenprijs. In dit laatste geval zou de subsidie dus nog mogen stijgen vooraleer men tot een breakeven komt.

Hoofdstuk 11: Conclusie

Energiezuinig bouwen is geen aandachtspunt in de Vlaamse woontraditie geweest. De voorkeur gaat uit naar open bebouwing, een grote gemiddelde woonoppervlakte en beperkte compactheid van de woningen met dikwijls een ontoereikende warmte-isolatie. Dit zijn mede de oorzaken van een hoog energieverbruik in vergelijking met andere Europese landen.

Door energiezuiniger te gaan wonen kan men niet enkel op de energiefactuur besparen. Men draagt ook bij tot een beter leefmilieu. Bovendien kan er met behulp van energiezuinigheid in de wooncultuur bijgedragen worden tot de doelstellingen van het Kyoto-protocol.

De toekomstige energiebehoefte van een woning begint reeds bij het ontwerp. Er wordt best geopteerd voor een zo compact mogelijke vormgeving en een zuidelijke oriëntatie van de ramen. Bij de constructie van het gebouw moet er vooral aan isolatie gedacht worden. Niet enkel muurisolatie is van belang, er gaat ook veel warmte verlonen indien het dak en de vloer niet voldoende geïsoleerd zijn. Bij het aanbrengen van de isolatie moeten koudebruggen vermeden worden.

Een ander aandachtspunt ligt bij de beglazing. Glas heeft een hogere warmtedoorgangscoefficiënt dan de meeste andere materialen, waardoor er best voor hoogrendementsbeglazing gekozen wordt. Om emissieverliezen te voorkomen is het eveneens belangrijk om zo luchtdicht mogelijk te bouwen. Om hierbij een voldoende luchtkwaliteit te behouden, moet er een ventilatiesysteem voorzien worden.

Niet enkel de constructie, maar ook de gebruikte installaties bepalen het energieverbruik. Indien men gebruik maakt van de traditionele centrale verwarming op stookolie en aardgas, wordt er best geopteerd voor een zo zuinig mogelijk toestel, de zogenaamde hoogrendements- en condensatieketels.

Er zijn echter ook minder toegepaste technieken die in de toekomst mogelijk een belangrijke bijdrage kunnen leveren. Met behulp van een warmtepomp kan men warmte onttrekken aan de omgeving via een warmtedragend medium om deze later op hogere temperatuur in de woning weer af te geven. Hierbij is een doorgedreven isolatie en een warmteafgiftesysteem op lage temperatuur noodzakelijk. Het probleem is echter de vaak hoge investeringskost.

Een ander alternatief ligt bij hernieuwbare energie. Door gebruik te maken van een zonneboiler kan sanitair water opgewarmd worden met behulp van zonne-energie. Hiermee vermijdt men de uitstoot aan schadelijke gassen. Gezien de schommelende zoninstraling is er echter vaak noch een hulpverwarming noodzakelijk. Grotere systemen kunnen in beperkte mate ingezet worden bij woningverwarming.

Door gebruik te maken van een PV-systeem kan men met behulp van zonne-energie eveneens elektriciteit opwekken. In België wordt vooral gebruik gemaakt van netgekoppelde systemen. Hierbij wordt er elektriciteit aan het net geleverd en kan men bij onvoldoende zonnestraling nog beroep doen op de traditionele leverancier.

Ook de overheden doen inspanningen om de huishoudens aan te zetten zuiniger om te springen met hun energieverbruik. De Federale Overheid staat een belastingsaftrek toe voor een aantal energiezuinige toepassingen. Naast deze maatregel kennen de netbeheerders, sommige provincies en gemeentes nog extra premies toe. De Vlaamse Overheid verleent dan weer subsidies voor het plaatsen van PV-systemen. Bovendien kan de eigenaar van een dergelijk systeem genieten van een terugleververgoeding en groenestroomcertificaten.

Naast deze steunmaatregelen, handelt de overheid ook vanuit verplichte initiatieven. Sinds 1 januari 2006 is de EnergiePrestatie en Binnenklimaatreglementering van toepassing. Alle woningen waarvoor vanaf dit tijdstip een aanvraag om te bouwen of verbouwen wordt ingediend, moeten een bepaald niveau van thermische isolatie (K45) en energieprestatie

(E100) behalen. In een nieuwbouwwoning zal bovendien een minimale en gecontroleerde ventilatie nodig zijn.

Energiezuinig wonen gaat echter vaak gepaard met een extra investering in het begin, om later te besparen op het energieverbruik. De private en externe kosten die met behulp van een aantal toepassingen vermeden kunnen worden, werden daarom vergeleken met de extra investeringskost.

In eerste instantie werd er een investeringsanalyse uitgevoerd met betrekking tot **PV-systemen**. Uitgaande van de gebruikte gegevens, de huidige steunmaatregelen en gezien de lage rentevoet die momenteel van toepassing is, blijkt dat een investering in een PV-systeem economisch rendabel is. De IOV ligt tussen 3.8 en 6.3%. De investering wordt tussen 11.5 en 14.5 jaar terug verdiend. Indien in de toekomst de rente echter gevoelig zou stijgen, zou dit een negatieve impact hebben op de rendabiliteit.

Er werden eveneens een aantal scenario's uitgewerkt. Als men rekening houdt met de huidige energie- en investeringsprijzen en het feit dat er geen steunmaatregelen toegekend worden, dan blijken de PV-systemen niet langer economisch rendabel. Indien de energieprijzen met 5% per jaar zouden stijgen en de steunmaatregelen behouden, dan zou de NCW voor de toepassingen positief blijven bij een hogere kapitaalkost van 6%. Uit de hoogte van de NCW-waarden kan opgemaakt worden dat de kapitaalkost nog mag stijgen vooraleer de NCW negatief zou worden. Zonder de steunmaatregelen zouden de toepassingen echter nog steeds economisch onrendabel zijn. Een belangrijke rol hierin spelen de groenestroomcertificaten. Het zou in dit scenario voldoende zijn om enkel deze groenestroomcertificaten uit te keren opdat de NCW bij een kapitaalkost van 6% positief zou blijven. Het alleen uitkeren van een subsidie zou echter niet voldoende zijn.

Een ander scenario dat werd uitgewerkt is deze waarbij de energieprijzen jaarlijks met 5% stijgen terwijl de investeringsprijzen 5% per jaar dalen. Als er echter geen steunmaatregelen zouden verleend worden, zou de NCW van de toepassingen nog steeds bij een kapitaalkost

van 4% negatief blijven. De steun zou wel mogen dalen. De groenestroomcertificaten voldoen om de NCW bij een kapitaalkost van 6% positief te houden. De subsidie op zich volstaat daarentegen ook in dit geval niet.

Een tweede investeringsanalyse die werd verricht, had betrekking op **zonneboilers**. Uit de resultaten kan geconcludeerd worden dat een investering in een zonneboiler met als oogpunt het besparen van aardgas of stookolie slechts bij zeer lage kapitaalkost rendabel is. De NCW wordt zeer snel negatief, de IOV is laag en de terugverdientijd lang. Vanuit een economisch standpunt zijn de systemen onder de gehanteerde omstandigheden niet aan te raden. De verleende premies van de netbeheerders en de mogelijkheid tot fiscale aftrek volstaan hierbij niet om de NCW voldoende hoog te houden.

Wanneer het doel daarentegen het besparen aan elektriciteitsverbruik is, dan zijn de projecten wel economisch aanvaardbaar bij een relatief hoge discontovoet. De IOV ligt in dit geval tussen 8.1 en 12.8%. De terugverdientijd bevindt zich tussen 7.6 en 11.4 jaar. Indien in dit laatste geval geen steunmaatregelen worden toegekend, blijft de NCW positief tot een kapitaalkost van 5 en 6% en ligt de TVT tussen 13 en 14.7 jaar. Gezien de huidige lage rentestand zouden de steunmaatregelen dus niet noodzakelijk zijn om de investering in een zonneboiler (met als doel minder elektriciteit te verbruiken) rendabel te maken.

Bij vorige berekeningen met betrekking tot de zonneboiler werd uitgegaan van een levensduur van 30 jaar. Hiernaast werden er nog scenario's uitgewerkt voor een gebruiksduur van 25 en 20 jaar. Installaties met als doel te besparen op aardgas en elektriciteitsverbruik zijn economisch niet rendabel. Indien de doelstelling een vermindering aan elektriciteitsverbruik inhoudt, dan zijn de waarden opnieuw beter. De NCW blijft in dergelijke omstandigheden tot een discontovoet van 9% positief.

Wanneer er een stijging van de energieprijzen zou plaatsvinden (5% voor aardgas en stookolie, 2% voor elektriciteit) en er nog steunmaatregelen worden toegekend, dan blijkt de NCW voor alle systemen bij een kapitaalkost van 6% positief te zijn. Indien er in dit

geval echter geen premies en fiscale aftrek worden toegestaan, dan blijft de NCW negatief voor toepassingen met aardgas als besparingsbron bij een kapitaalkost van 4% en voor stookolie indien een kapitaalkost van 6% van toepassing is. Voor systemen die een besparing op elektriciteit bewerkstelligen zouden daarentegen geen steunmaatregelen meer nodig zijn.

In de situatie waarbij een stijging van de energieprijzen hand in hand gaat met een daling van de investeringskost, dan zijn er geen steunmaatregelen nodig om de systemen economisch rendabel te maken. In de afwezigheid van deze financiële steun blijkt de NCW voor de verschillende systemen immers positief te zijn bij een kapitaalkost van 6%.

Wat betreft **isolatie** werd er een vergelijking gemaakt tussen verscheidene uitvoeringsdikten, namelijk deze volgens de vroegere wetgeving, de aanbevolen dikte voor doorgedreven isolatie en de afwezigheid ervan.

In eerste instantie werden de berekeningen uitgevoerd voor **muurisolatie**. Indien een isolatiedikte van 4 cm aangebracht wordt in plaats van enkel een luchtspouw dan ligt de IOV tussen 25 en 35%. De investering wordt tussen de 2.78 en 4.16 jaar terugverdiend.

Hiernaast werd er een analyse uitgevoerd voor 10 cm muurisolatie in vergelijking met 4 cm. Uit de calculatie blijkt dat de NCW ook bij relatief hoge kapitaalkosten positief blijft. Rekening houdend met de gebruikte gegevens blijkt dat een investering in extra muurisolatie zeker de moeite waard is. De IOV ligt tussen 10.2 en 21%. De terugverdientijd van de materialen ligt tussen 4.63 en 9.48 jaar. Rekening houdend met de lange levensduur van isolatiematerialen is een dergelijke investering economisch zeker rendabel.

De analyse werd daarna toegepast op **dakisolatie**. In eerste instantie werd de NCW berekend voor 10 cm isolatie, rekening houdend met de mogelijkheid tot fiscale aftrek. De IOV bevindt zich tussen 21 en 31%. Het aanbrengen van dakisolatie kan dus als zeer rendabel bestempeld worden. De investering verdient zichzelf terug tussen 3.14 en 4.75 jaar. Ook

indien er geen fiscale aftrek toegestaan zou worden, blijft het aanbrengen van 10 cm isolatie economisch rendabel.

Indien de vergelijking gemaakt wordt tussen 10 en 20 cm, blijkt dat de NCW eveneens bij relatief hoge kapitaalkosten positief blijft. De IOV ligt tussen 6.2 en 10.7%. De extra investering wordt tussen de 9 en 15 jaar terugverdiend, wat economisch gezien goed is, rekening houdend met de lange levensduur van het materiaal. Indien er bij het aanbrengen van deze dikkere isolatie geen fiscale aftrek wordt toegekend, dan daalt de IOV tot respectievelijk 3.2 en 6.4%. De investering wordt tussen 15.52 en 25.65 jaar terug verdiend, wat vrij lang is.

De volgende calculatie werd toegespitst op **vloerisolatie**. In eerste instantie werden de berekeningen uitgevoerd voor een isolatiedikte van 4 cm in vergelijking met de situatie waarin er geen isolatie aanwezig is. Hieruit blijkt dat de NCW ook bij hoge kapitaalkosten positief blijft en de investering dus aanvaardbaar is. De IOV ligt tussen de 24 en 53 %. De investering wordt tussen 2.2 en 4.47 jaar terugverdiend. Het is dus zeker aan te raden om vloerisolatie te plaatsen.

Indien de vergelijking gemaakt wordt tussen 4 en 6 cm, dan blijft de NCW opnieuw voor relatief hoge waarden positief. De IOV bevindt zich tussen 11.7 en 13.4%. De investering wordt tussen 7.43 en 10.15 jaar terugverdiend. De uitgave voor dikkere vloerisolatie blijkt dus eveneens economisch rendabel.

Als laatste werd er een investeringanalyse uitgevoerd met betrekking tot **beglazing**. Uit de resultaten kan afgeleid worden dat het de moeite loont om enkel glas te vervangen door dubbele beglazing. De IOV bedraagt 8.5% en de investering wordt op 10.7 jaar terug verdiend. Wanneer enkel glas vervangen wordt door hoogrendementsbeglazing is het rendement nog hoger. De IOV bedraagt 19.5% en de extra kost wordt op slechts 5 jaar terug verdiend. Zelfs zonder steunmaatregelen blijkt deze laatste investering een IOV te hebben van 11.5%. De TTV bedraagt dan 8.4 jaar. Gezien de huidige lage rentevoet en de

mogelijkheid tot premies en fiscale aftrek, is het ook aan te raden om dubbele beglazing te vervangen door hoogrendementsbeglazing. In een dergelijke situatie bedraagt de IOV 5.7%. Indien er in de toekomst daarentegen geen steunmaatregelen meer zouden toegekend worden, zou het vervangen van dubbele- door hoogrendementsbeglazing niet meer economisch rendabel zijn.

Naast de private kosten kunnen er ook externe kosten vermeden worden met behulp van energiezuinig wonen. Fiscale maatregelen en subsidies kunnen beschouwd worden als een compensatie voor externe kosten die vermeden worden, namelijk de vermindering aan uitstoot van schadelijke gassen en dan vooral CO₂. Voor de energiezuinige toepassingen werd er daarom nagegaan hoeveel CO₂-uitstoot zij kunnen bewerkstelligen, in welke mate de steunmaatregelen zich hiertoe verhouden en in welke mate de applicatie ervan kan bijdragen tot de Kyoto-doelstelling.

Indien verondersteld wordt dat 12 tot 25% van het elektriciteitsverbruik van de huishoudens opgewekt zou kunnen worden met PV-systemen, zou men met behulp van het plaatsen van deze installaties 0.40 tot 0.83 Mton CO₂-uitstoot kunnen vermijden oftewel 4.72 tot 9.84% van de Kyoto-doelstelling. Per ton vermeden CO₂ wordt er gemiddeld 85.34 EUR aan steunmaatregelen toegekend. Deze uitgaven voor subsidies werden ook vergeleken met de aankoopkost van emissierechten tegen respectievelijk 9 en 23.5 EUR. Hieruit bleek dat de uitgaven aan subsidies hoger liggen dan deze vermeden uitgaven aan emissierechten. Het is echter heel moeilijk te voorspellen wat de reële kostprijs van een emissierecht zal zijn wanneer er een effectieve handel zal ontstaan tussen de deelnemende landen. Bovendien is hierbij geen rekening gehouden met het multiplicatoreffect van de subsidies in België, welke anders mogelijk verloren zou gaan bij de aankoop van emissierechten in het buitenland. Er dient eveneens op gewezen te worden dat er nog andere externe kosten verbonden zijn aan het verbruik van de klassieke brandstoffen zoals de aantasting van gebouwen door zure regen en gassen die een schadelijke impact hebben op de gezondheid. Het is echter zeer moeilijk om hier een prijs voor te hanteren. Anderzijds kunnen de verleende subsidies gezien worden vanuit het oogpunt van transgenerationale solidariteit of

toekomstvisie. Door het gebruik van PV-systemen worden geen beperkte voorraden fossiele brandstoffen aangesproken. Bovendien krijgt men door deze toepassingen in de praktijk te gebruiken meer ervaring, met de mogelijkheid om de technologie te verbeteren waardoor de markt zich verder kan ontwikkelen en de prijzen mogelijk dalen.

Indien 12 tot 25% van de huishoudens een zonneboiler zouden gebruiken die zou instaan voor de helft van de behoefte aan warm water dan zou hiermee een reductie aan CO₂ kunnen behaald worden tussen de 0.1051 en 0.2189 Mton oftewel 1.24 tot 2.58% van de Kyoto-doelstelling. De kostprijs voor de steunmaatregelen voor een zonneboiler bedragen gemiddeld 107 EUR/ton uitgespaarde CO₂, wat opnieuw hoger is dan de hiervoor vermelde 9 en 23.5 EUR/ton emissierechten.

Door het toepassen van 4 cm muurisolatie kan er gemiddeld 4.04 kg CO₂/m² per jaar bespaard worden. Indien men hierbij nog 6 cm bijvoegt tot de aanbevolen 10 cm, dan kan men nog eens 2.6 kg CO₂/m² per jaar extra vermijden. Voor dakisolatie worden geen subsidies toegekend. Indien men hypothetisch zou aannemen dat door middel van deze extra isolatie minder emissierechten zouden moeten aangekocht worden aan respectievelijk 9 en 23.5 EUR dan zou een steunmaatregel van gemiddeld 2.4 en 6.25 EUR/m² voor een breakeven zorgen bij de plaatsing van 4 cm en 3.65 en 9.54 EUR/m² indien het gaat om 6 cm muurisolatie.

Met een dakisolatie van 10 cm kan gemiddeld 12.95 kg CO₂/m² per jaar vermeden worden. Met behulp van een isolatiedikte van 20 cm kan men nog eens 2.71 kg CO₂/m² per jaar extra besparen. Voor dakisolatie wordt een fiscale aftrek toegestaan. Voor de gebruikte materialen kwam dit neer op een gemiddelde van 7.85 EUR/m². Als we de uitgespaarde CO₂ vermenigvuldigen met de hypothetische 9 en 23.5 EUR, dan blijkt de steunmaatregel hoger te liggen dan de potentiële kosten aan emissierechten. Bij een doorgedreven isolatie van 20 cm komt deze echter toch in de buurt indien rekening gehouden wordt met 23.5 EUR per emissierecht. Als verondersteld wordt dat de gemiddelde dakoppervlakte 120 m² bedraagt en

33.9% van de daken niet geïsoleerd zijn, zou hiermee 0.58 Mton CO₂ uitgespaard kunnen worden oftewel 6.88% van de Kyoto-doelstelling.

Indien een vloerisolatie aangebracht wordt van 4 cm kan hiermee gemiddeld 22.36 kg CO₂/m² per jaar bespaard worden. Met een bijkomende laag van 2 cm bespaart men 3.36 kg extra. Als compensatie voor vermeden uitgaven voor emissierechten (9 en 23.5 EUR per ton verondersteld) zou een subsidie van gemiddeld 7.71 en 20.20 EUR mogen toegekend worden.

Via hoogrendementsbeglazing vermijdt men ongeveer 53.4 kg CO₂/m² per jaar ten opzichte van enkel glas. Met gewoon dubbel glas kan een reductie van 35.4 kg bewerkstelligd worden. De fiscale aftrek komt neer op een kost van 16.48 EUR/ton CO₂ bij vervanging van enkel glas door hoogrendementsbeglazing en 48.49 EUR/ton indien hoogrendementsglas in de plaats van dubbel glas komt. Bij een emissierechtenprijs van 9 EUR zou de toegekende subsidie hoger liggen dan dit bedrag. Bij een prijs van 23.5 EUR/ton ligt de subsidie daarentegen bij de vervanging van enkel glas door hoogrendementsglas lager.

Als uitgegaan wordt van het feit dat in 78.4% van de Vlaamse woningen het dubbel glas vervangen zou worden door hoogrendementsglas en aannemend dat de gemiddelde glasoppervlakte 20 m² bedraagt, zou dit een reductie aan CO₂-uitstoot van 0.66 Mton opleveren oftewel 7.78 % van de Kyoto-doelstelling.

Uit dit geheel kan geconcludeerd worden dat energiezuinig wonen een belangrijke bijdrage kan leveren tot de Kyoto-doelstelling. Er zal echter een combinatie nodig zijn met uitstootverminderingen in andere sectoren. Bovendien heeft de doelstelling reeds betrekking op de periode 2008-2012. De tussenliggende periode is waarschijnlijk te kort om het huizenbestand aan te passen.

Hoofdstuk 12: Toekomstvragen

Sinds de tweede wereldoorlog is de Belgische bevolking nog weinig toegenomen. De trend naar kleinere gezinnen vertaalt zich echter in een toenemend aantal wooneenheden. Bovendien is er een stijgende tendens bij eengezinswoningen naar grotere oppervlakten. Het gemiddeld beschermd volume van de 131 eengezinswoningen in de SENSIVV-studie bedroeg 680m³. Bij de Vlaamse bouwaanvragen in het voorjaar van 2003 bedroeg ze 760 m³ (viWTA, 2004). Dit is waarschijnlijk in belangrijke mate te verklaren door de algemene welvaartstijging, maar heeft eveneens tot gevolg dat er meer energie verbruikt wordt. Het is de vraag of deze evolutie zich in de toekomst zal verder zetten. Er kan eveneens de vraag gesteld worden in welke mate er in de toekomst een mentaliteitsverandering op het vlak van energiegebruik zal plaatsvinden en hoe de maatregelen uitgewerkt door de overheid deze zullen beïnvloeden.

De verwachte evolutie van de bevolkingspiramide in 2020 en 2040 vertoont bovendien een versmalling in de leeftijdscategorieën van de actieven en een verbreding in de hogere leeftijdscategorieën (viWTA, 2004). Deze evolutie zal structurele verschuivingen veroorzaken in de menselijke behoeftes aan bouwen en wonen met een directe en indirecte impact op het energieverbruik.

Niet enkel de demografische evoluties zullen in de toekomst een impact hebben op het energieverbruik. Een bepalende factor is weggelegd voor technologische innovaties. In een presentatie door professor M. D'Olieslaeger (2005) werd vermeld dat een mogelijke belangrijke rol is weggelegd voor nanotechnologie. Hierbij zou economische groei mogelijk zijn zonder toename van energiegebruik. Een ander reeds aangehaald onderzoek spitst zich toe op 'plastic' zonnecellen. Deze zijn zeer goedkoop, maar vertonen momenteel nog een zeer laag rendement, ongeveer 5%. Er wordt geschat dat dit probleem binnen 15 tot 20 jaar opgelost zal zijn.

Een ander aspect waarnaar onderzoek wordt gedaan is het gebruik van aerogel. Dit zou gebruikt kunnen worden bij dubbele beglazing als vervanging van de luchtspouw of vulling met edelgas. Het materiaal zou onder andere de eigenschap hebben veel luchtbelletjes te bezitten waardoor het een zeer goede isolator zou zijn.

Ook op het gebied van warmtekrachtkoppeling (WKK) wordt er veel onderzoek gedaan om de mogelijkheden in de woning hiervan na te gaan. Momenteel zijn er al systemen met microwarmtekrachtkoppeling beschikbaar, maar deze worden nog niet vaak toegepast. Een dergelijke installatie produceert gelijktijdig elektriciteit en warmte.

Een andere mogelijke toekomstige richting zou kunnen weggelegd zijn voor elektriciteitsopwekking met behulp van technieken zoals kernfusie, waardoor het concentreren op energiezuinigheid in de wooncultuur mogelijk minder aandacht zou vergen. Dit zijn echter allen veronderstellingen. De toekomst zal moeten uitwijzen of deze toepassingen ook in de praktijk gerealiseerd kunnen worden.

Hoofdstuk 13: Vragen voor verder onderzoek

In hoofdstuk 8 werd reeds gesproken over de drie transitiepaden waarlangs energiezuinig wonen gerealiseerd kan worden, met name via:

- Maximale isolatie en minimale uitstoot van installaties
- Lokale duurzame energieproductie (bijvoorbeeld het gebruik van zonne-energie)
- Centraal geproduceerde duurzame en klimaatneutrale energiedragers

Het zou interessant zijn om na te gaan hoe de houding is van de verschillende actoren ten aanzien van de beoogde ontwikkeling, hoe de actoren elkaar beïnvloeden en vooral welke mogelijkheden er zijn om hun houding te beïnvloeden.

Mogelijke nieuwe onderzoeksvragen zouden dus kunnen zijn:

- Welke sleutelveranderingen (technisch, politiek, sociaal-cultureel) zijn nodig om de drie transitiepaden te verwezenlijken?
- Welke actoren (in de gebouwde omgeving en energiesector) spelen daarbij een rol en wat is hun houding ten aanzien van die veranderingen?

Als verregaande CO₂-reductie op lange termijn een doelstelling van het beleid is, dan zou kunnen besloten worden voorlopig alle drie de transitiepaden te stimuleren. Het zou echter interessant zijn om na te gaan op welke wijze de grootste kosteneffectiviteit gerealiseerd kan worden. In dit eindwerk werd vooral geconcentreerd op transitiepad 1 en 2, maar ook in transitiepad 3 ligt een groot potentieel, denken we hierbij aan het gebruik van windenergie en biomassa.

Bovendien zijn er veel reductieopties in andere sectoren die mogelijk goedkoper, meer kosteneffectief zijn. Een mogelijk nieuwe onderzoeksvraag hierbij zou als volgt kunnen luiden:

- Wat is de economische impact in termen van kosteneffectiviteit in EUR/ton uitgespaarde CO₂ voor de mogelijkheden in de verschillende sectoren (zowel voor de eindverbruiker als voor de overheid)?

Naast de voornoemde voorstellen zou het ook interessant kunnen zijn om bijvoorbeeld onderzoek te doen naar de mogelijkheid en het potentieel van het gebruik van windenergie door particulieren, het toepassen van warmtekrachtkoppeling (WKK) in de woning en de impact van energiezuinige elektrische toestellen.

Lijst der geraadpleegde werken

Boeken en publicaties

Ardui, S. , Holst, S., Remes, H. (1999) *Hedendaagse leembouw*, Berchem, VIBE

Bourgeois, C. (2005) *Alternatieve energie: Zorgen voor uw portomonnee of voor het milieu*, Ik ga bouwen, jg 33, nr 271, Antwerpen

Broeckmans, J. (2002) *Methoden van onderzoek en rapportering*, Syllabus, Diepenbeek

Casas (2006) *Prijstabel voor bouw en verbouwing*, Casas, jg 34, nr 288, Antwerpen

Ecostream-Belgium (2006) *Fotovoltaïsche zonne-energie*, z. pl.

Eykens, P., Remes, H. (1998) *Thermische isolatie vanuit bio-ecologisch perspectief*, VIBE, Berchem

Feinstein, C. (1996) *In The World Directory 1996, Sun in Action: The solar thermal market, A strategic plan for action in Europe*, James&James, p 124

Giancoli, D.C. (1998) *Physics, Principles with applications*, fifth edition, , Prentice Hall, New Jersey

Instituut voor Studie en Stimulering van Onderzoek op het gebied van verwarming en luchtbehandeling (1987) *U- en R-waarden van bouwkundige constructies, Deel 2, Tabellenboek*, Rotterdam

Jansseune, E., Thoelen, P. (2000) *Energie in de woning*, VIBE, Berchem

Jansseune, E. (1998) *De bruikbaarheid van zonne-energie: rationeel energiegebruik, dwalingen over zonne-energie, handleiding bij de keuze van een zonnesysteem*, VIBE, Berchem

Le Paige, M., Gratia, E., De Herde, A. (1986) *Architectuur en klimaat, Handleiding voor het klimaatbewust ontwerpen*, Diensten voor Programmatie van het Wetenschapsbeleid, Brussel

Limere, A. (2002) *Financiering*, Diepenbeek

Luminus (2006) *Bijzondere voorwaarden en algemene voorwaarden*, Hasselt

Mercken, R. (2003) *Investeringscalculatie*, Diepenbeek

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen (2005) *Ideeën voor energiezuinig wonen, Praktische tips voor een energiezuinig huishouden*, Brussel

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen (2006a) *Energie besparen bij u thuis, Premies van uw netbeheerder in 2006*, Brussel

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen (2006b) *Ventilatie*, Brussel

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen (2006c) *Maak uw huis energiezuinig en betaal minder belastingen*, Brussel

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

ODE-Vlaanderen (2003a) *Warmte uit zonlicht*, Enschede

ODE-Vlaanderen (2003b) *Warmtepompen voor woningverwarming*, Enschede

ODE-Vlaanderen (2004a) *Bouwen met fotovoltaïsche zonne-energie*, Enschede

ODE-Vlaanderen (2004b) *Elektriciteit uit zonlicht*, Enschede

ODE-Vlaanderen (2004c) *Duurzame energie, Wegwijzer 2004*, Enschede

ODE-Vlaanderen (2006) *Warmtepompen, De natuur als bron van verwarming*, Enschede

Remes, H., Eykens, H., Thoelen, P. (2001) *Basispakket bio-ecologisch bouwen en verbouwen*, VIBE, Berchem

Renders, L. (2001) *Methoden van onderzoek en rapportering 1, Syllabus*, Diepenbeek

Sels, J. (2005) *Bespaar energie met de Canadese put*, *Ik ga bouwen*, jg 34, nr 283, p6-8, Antwerpen

Shearer, W. (1994) *Solar Energy: A Means of Development in Developing Countries*, *Yearbook of Renewable Energies*, James & James, z.pl.

Stichting Voorlichting Energiebesparing Nederland (1982) *Warmte-Isolatie*, Kluwer, Antwerpen

Smith, P. (2002) *Architecture in a climate of change, A guide to sustainable design*, *Architectural Press*, Oxford

Solar Technics (2006) *Netkoppeling 2006*, Beveren

Vlaams Gewest (1997) *De mogelijkheden en belemmeringen voor hernieuwbare energie in Vlaanderen*, Brussel

Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek (2004) *Bouwen, Wonen en energie: Eindrapport*, Brussel

Vlaamse Milieumaatschappij (2004) *MIRA-T 2004, Milieu- en natuurrapport Vlaanderen: thema's*, LannooCampus, Heverlee-Leuven

Vlaamse Milieumaatschappij (2005) *MIRA-T 2005, Milieu- en natuurrapport Vlaanderen: thema's*, LannooCampus, Heverlee-Leuven

Internetbronnen

Administratieve Planning en Statistiek (2003a) *De Kyoto-norm*, beschikbaar via <http://www.vlaanderen.be/statistiek/nieuws/milieu/2003-0.7-kyoto.htm>

Administratieve Planning en Statistiek (2003b) *Evolutie van het energiegebruik naar sector*, beschikbaar via <http://www.vlaanderen.be/statistiek/cijfers/energie/Algemeen/ENER002.xls>

Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie (2006) beschikbaar via http://www.statbel.fgov.be/downloads/pop_200507.com.xls

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006) *Wirkung des Ausbaus der Erneuerbaren Energien auf den Deutschen Arbeitsmarkt unter besonderer Berücksichtigung des Aussenhandels*, beschikbaar via <http://www.erneuerbare-energien.de%2Finhalt%2F36860%2F20049%2F&Horde=d40c316f46ef70ce179448bfc18dd441>

Commissie Ampère (2000) *Klimatologische aspecten van elektriciteitsproductie, Deel 2: uitstoot broeikasgassen ten gevolge van elektriciteitsproductie*, beschikbaar via <http://mineco.fgov.be/energy/ampere-commission/G2.pdf>

Ecolife (2006) beschikbaar via <http://www.ecolife.be/new2/downloads/pers/16-02-05-metro.jpg>

Energie en Milieu Informatiesysteem voor het Vlaamse Gewest (2005) *Energiebalans Vlaanderen* beschikbaar via <http://www.emis.vito.be>

Energiebureau Limburg (2005) *Zonneboilers* beschikbaar via <http://www.energiebureaulimburg.nl/2boiler.htm>

Energieonderzoek Centrum Nederland (2006) beschikbaar via <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2005/c05031.pdf>

Federaal Planbureau (2005) *Projecties van het Federaal Planbureau 2005: energie* beschikbaar via <http://www.plan.be>

Federale Overheid (2005) *Allocatieplan* beschikbaar via <http://www.klimaat.be/polfs>

Federale Overheid (2006a), *Beheer van de energievraag in het raam van de door België te leveren inspanningen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen*, beschikbaar via <http://mineco.fgov.be/energy/rational-energy-use/report.pdf>

Federale Overheid (2006b) *Elektriciteitsmarkt* beschikbaar via <http://www.belgium.be/eportal/application?languageParameter=nl&pageid=contentPage&docId=38670>

Federale Overheidsdienst Financiën (2006) *Belastingsvermindering voor energiebesparende investeringen* beschikbaar via <http://www.minfin.fgov.be/portail1/nl>

International Energy Agency (2005) beschikbaar via <http://www.iea.org>

Izen (2006) beschikbaar via <http://www.izen.be>

Landelijke Specialisten Gevel-Isolatie (2005) *Handboek Isolatie*
<http://www.lsgi.nl/handboek/hoofdstuk/l102.html>

Livos (2006) beschikbaar via <http://www.livos.be>

Milieu Centraal (2006) *Isolatie Trend* beschikbaar via
<http://www.milieucentraal.nl/pagina?onderwerp=Trend%20isolatie>

Milieuloket (2006) beschikbaar via <http://www.milieuloket.nl>

Ministerie voor ruimte, wonen, milieu en rijksgebouwen (2006) *Dossier energiebesparing*
<http://www.vrom.nl/pagina.html?id=9290>

Ministerie van de Vlaamse Overheid (2006) *De energieprestatieregelgeving* beschikbaar via
<http://www.energiesparen.be/energieprestatie/index.php>

Ministerie van de Vlaamse Overheid (2006) *Zonne-energie* beschikbaar via
http://www.energiesparen.be/duurzame_energie/zon/pv.php

Ministerie van de Vlaamse Overheid (2006) *Groenestroomcertificaten* beschikbaar via
http://www.energiesparen.be/duurzame_energie/groenestroomcertificaten.php

ODE-Vlaanderen (2006) *Fotovoltaïsche zonne-energie voor particulieren, Overzicht subsidies 2006*, beschikbaar via <http://www.ode.be>

Palmers, G. (2004) *Hernieuwbare energie in Vlaanderen*, beschikbaar via http://www.generaties.net/Portals/2/PP_BPS000_CommissieEnergieVlaamsParlement.ppt

Passiefhuisplatform (2006) *De reflex naar energiebewust bouwen* beschikbaar via <http://passiefhuisplatform.be>

Senternovem (2006) beschikbaar via <http://senternovem.nl/epn/epc-in-2006/CO2-emissie.asp>

Supersystems (2006) beschikbaar via <http://www.supersystems.be>

Vlaamse Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek (2005) Dossier Bouwen, wonen en energie beschikbaar via <http://viwta.be/files/BwWnpart2.pdf>

Vlaamse Overheid (2006a) *EnergiePrestatie en Binnenklimaatregelgeving* beschikbaar via: <http://www2.vlaanderen.be/ned/sites/economie/energiesparen/epb/doc/epb-besluit.pdf>

Vlaamse Overheid (2006b) beschikbaar via <http://www.vlaanderen.be/energiesparen/energieprestatierregelgeving>

Vlaamse Reguleringsinstantie voor de ELeKtriciteits- en Gasmarkt (2006) *Groenestroomcertificaten* beschikbaar via <http://www.vreg.be/vreg/sector/groen.htm>

West-Vlaanderen (2005) *Leefomgeving* beschikbaar via <http://www.west-vlaanderen.be/leefomgeving>

Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (2006) beschikbaar via <http://www.wtcb.be>

World Resource Institute (2005) beschikbaar via <http://www.wri.org>

Bijlagen

Overzicht van de bijlagen

	Blz
Bijlage 1: Elektriciteitsprijzen Luminus	179
Bijlage 2: Elektriciteitsprijzen Electrabel	180
Bijlage 3: Aardgasprijzen Luminus	182
Bijlage 4: Aardgasprijzen Electrabel	183
Bijlage 5: Investeringsanalyse PV-Systemen	184
Bijlage 6: Investeringsanalyse zonneboilers	200
Bijlage 7: Investeringsanalyse isolatie	231
Bijlage 8: Investeringsanalyse dubbel en hoogrendementsglas	257

Bijlage 1: Electriciteitsprijzen Luminus

Voor volgende berekeningen werd gebruik gemaakt van gegevens van Luminus:
(Luminus Actief Elektriciteit 01/2006)

Prijs per kWh inclusief BTW, transport- en distributiekosten (in eurocent/kWh):

Netbeheerder:

AGEM	12.85
DNB BA	16.28
EV/GHA	17.97
GASELWEST	14.09
IMEA	12.97
IMEWO	12.43
INTERELECTRA	14.85
INTERGEM	12.92
INTERMOSANE	15.32
IVEG	13.79
IVEKA	12.57
IVERLEK	12.79
PBE	14.12
SIBELGAS-N	13.49
WVEM	14.29

Gemiddelde kost **14.049**

(De prijzen werden berekend op basis van het jaarlijks gemiddelde 01/2005-12/2005)

Taksen, heffingen, bijdragen en toeslagen (in eurocent/kWh):

Federale bijdrage:

CREG-bijdrage	0.0131
ODV-bijdrage	0.0392
Kyotofondsbijdrage	0.041
Financiering nucleair passief	0.0846
Toeslag beschermde klanten	0.0455
Energietaks	0.231
Groenestroombijdrage 2006	0.4538
WKK-bijdrage 2005	0.1176
Heffing ten gunste van de gemeente	0.5941
Totaal	1.6199

Totale gemiddelde kost per netbeheerder: 15.6686 eurocent/kWh

Bijlage 2: Electriciteitsprijzen Electrabel

Voor volgende berekeningen werd gebruik gemaakt van gegevens van Electrabel. (01/2006)

A, Electrabel-energieprijzen voor elektriciteit:

Normaal tarief (verbruik in kWh)	Elek 20 (<=2000)	Elek 35 (2001-3500)	Elek 75 (3500-7500)	Elek 2000 (7500-20000)
Prijs per kWh (cent/kWh)	7.97	7.07	6.93	6.93
Bijdrage hernieuwbare energie (cent/kWh)	0.34	0.34	0.34	0.34
Bijdrage warmtekraftkoppeling (cent/kWh)	0.09	0.09	0.09	0.09
Totale prijs per kWh (cent/kWh)	8.39	7.5	7.36	7.36

(De prijzen werden berekend op basis van het jaarlijks gemiddelde 01/2005-12/2005)

B, Nettarieven (gebruik van het distributie- en transportnet in eurocent/kWh)

	Distributie	Transportnet
AGEM	5.09	1.04
DNB BA	8.1	1.16
EV/GHA	6.48	1.07
GASELWEST	10.4	0.84
IMEA	5.32	1.04
IMEWO	4.78	1.12
INTERELECTRA	7.11	1.21
INTERGEM	5.19	1.2
INTERMOSANE	7.47	1.12
IVEG	6.16	1.1
IVEKA	4.91	1.07
IVERLEK	5.15	1.11

PBE	6.4	1.06
SIBELGAS-N	5.88	1.06
WVEM	6.67	0.96
Gemiddelde	6.340667	1.077333

(*Tarieven gepubliceerd zoals op www.creg.be op 22/12/2005 voor kwartaal 1 2006)

C, Toeslagen (Zelfde voor de verschillende netbeheerders) (in eurocent/kWh)	
Energiebijdrage	0.23096
Federale bijdrage	0.21884
Bijdrage voor de gemeente	0.59411
Totaal	1.04391

Normaal tarief	Elek 20	Elek 35	Elek 75	Elek 2000
(verbruik in kWh)	(<=2000)	(2001-3500)	(3500-7500)	(7500-20000)
Totale kost (in eurocent/kWh)	16.85191	15.96191	15.82191	15.82191

Bijlage 3: Aardgasprijzen Luminus

(Luminus Actief Gas 01/2006)

Prijs per kWh in eurocent (inclusief distributiekosten en BTW)

kWh	Klein verbruik (<5000)	Gemiddeld verbruik (5000-150000)	Groot verbruik (150000-1000000)
GASELWEST	4.61	3.76	3.44
IGAO	4.51	3.27	3.12
IMEWO	4.54	3.45	3.27
INTERELECTRA	5.07	3.61	3.21
INTERGAS	2.94	2.92	2.91
INTERGEM	4.48	3.6	3.34
IVEG	3.96	3.38	3.01
IVEKA	4.36	3.42	3.22
IVERLEK	4.42	3.52	3.28
SIBELGAS-N	4.66	3.57	3.52
WVEM	5.47	3.44	3.03
Gemiddelde (eurocent/kwh)	4.45636364	3.449090909	3.213636364

Taksen, heffingen, bijdragen en toeslagen (eurocent/kWh)

Federale bijdrage	
CREG-bijdrage	0.0026
ODV-bijdrage	0.0125
Energietaks	0.1402
Toeslag beschermde klanten	0.0088
Totaal	0.1641

	Klein verbruik (<5000)	Gemiddeld verbruik (5000-150000)	Groot verbruik (150000-1000000)
Totale prijs eurocent/kWh	4.62046364	3.613190909	3.377736364

Bijlage 4: Aardgasprijzen Electrabel

Electrabel Service Plus tarieven geldig in Vlaams Gewest (01/2006)

	Gas 5 (kWh) (0-5000)	Gas 30 (5001-30000)	Gas 400 (300001-400000)
Prijs per kWh (eurocent)	2.847	2.797	2.774

Nettarieven (gebruik distributienet eurocent/kWh)

GASELWEST	1.859	1.009	0.688
IGAO	1.764	0.517	0.369
IMEWO	1.788	0.696	0.522
INTERELECTRA	2.315	0.863	0.462
INTERGAS	0.186	0.167	0.159
INTERGEM	1.731	0.85	0.589
IVEG	1.21	0.631	0.263
IVEKA	1.609	0.674	0.473
IVERLEK	1.667	0.773	0.53
SIBELGAS-N	1.906	0.823	0.77
WVEM	2.721	0.688	0.282
Gemiddelde netbeheerders	1.7051	0.6992	0.4643

Toeslagen (eurocent/kWh)

Energiebijdrage	0.14023
Federale bijdrage	0.01515
Toeslag bschermdde klanten	0.00878
Totaal	0.1642

	Gas 5 (kWh) (0-5000)	Gas 30 (5001-30000)	Gas 400 (300001-400000)
Totale prijs (cent/kWh)	4.7163	3.66034	3.4024

Bijlage 5: Investeringsanalyse PV-systemen

Voor volgende berekeningen werd uitgegaan van 4 systemen met een verschillend geïnstalleerd vermogen, met name 4 IZEN-elektro installaties geïntegreerd in een hellend dak bestaande uit leien.

Er werd uitgegaan van een levensduur van 25 jaar

1 In eerste instantie wordt rekening gehouden met een BTW-percentagte van 6%

1,1 Berekening NCW (rekening houdend met subsidies, fiscaal voordeel, groenestroomcertificaten en terugdraaiende meter)

	3 Volta720 4XPVT180 SB1700E met subsidie	3 Volta1080 6XPVT180 SB2500 met subsidie	6 Volta720 4XPVT 180 Xantrex GT3,8E met subsidie	7 Volta 1080 6XPVT180 Xantrex GT3,8E met subsidie
Geïnstalleerd vermogen in Wp	2160 15,6 m ²	3240 23,4 m ²	4320 31,2 m ²	7560 54,6 m ²
Oppervlakte				
Levering en plaatsing: in EUR zonder BTW	15822	23052	29895	51794
in EUR met 6% BTW	16771	24435	31689	54901
Met 3% contantkorting	16268	23702	30738	53254
Subsidie Vlaamse Overheid 10% (max 3000 Wp)	-1603	-2226	-2201	-2179
(max 7000 EUR/kWp)				
Gemeentesubsidie	-500	-500	-500	-500
Fiscaal voordeel	-1280	-1280	-1280	-1280
Totaal min de premies	12885	19696	26758	49296

Terugdraaiende meter:					
Opbrengst in kWh/jaar	1836	2754	3672	6426	
Elektriciteitsprijs(cent/kWh)	16.26023833	15.81523833	15.74523833	15.74523833	
Opbrengst in EUR (Jaar 1-25)	298.5379758	435.5516637	578.1651516	1011.789015	

Groenestroomcertificaten 2006 (20 jaar 450 EUR/1000kWh)					
GSC in EUR (Jaar 1-20)	826.2	1239.3	1652.4	2891.7	

Om de netto contante waarde te berekenen wordt gebruik gemaakt van een kapitaalkost van 2%					
NCW=					
Min investering:	-12885	-19696	-26758	-49296	
Opbrengst jaar 1 tot 25 verdisconteert tegen 2%(terugdraaiende meter):	5828.476317	8503.449351	11287.74952	19753.56166	
Opbrengst jaar 1 tot 20 verdisconteert tegen 2% (GSC):	13509.52668	20264.29002	27019.05336	47283.34338	
<u>NCW=</u>	<u>6453.002997</u>	<u>9071.739371</u>	<u>11548.80288</u>	<u>17740.90504</u>	

Om de netto contante waarde te berekenen wordt gebruik gemaakt van een kapitaalkost van 3 %					
NCW=					
Min investering:	-12885	-19696	-26758	-49296	
Opbrengst jaar 1 tot 25 verdisconteert tegen 3%(terugdraaiende meter):	5198.471626	7584.304675	10067.6476	17618.3833	
Opbrengst jaar 1 tot 20 verdisconteert tegen 3% (GSC):	12291.70788	18437.56182	24583.41576	43020.97758	
<u>NCW=</u>	<u>4605.179506</u>	<u>6325.866495</u>	<u>7893.063361</u>	<u>11343.36088</u>	

Om de netto contante waarde te berekenen wordt gebruik gemaakt van een kapitaalkost van 4%

NCW=				
Min investering:	-12885	-19696	-26758	-49296
Opbrengst jaar 1 tot 25 verdisconteert tegen 4%(terugdraaiende meter):	4663.760258	6804.18809	9032.095998	15806.168
Opbrengst jaar 1 tot 20 verdisconteert tegen 4% (GSC):	11228.30586	16842.45879	22456.61172	39299.07051
NCW=	<u>3007.066118</u>	<u>3950.64688</u>	<u>4730.707718</u>	<u>5809.238507</u>

Om de netto contante waarde te berekenen wordt gebruik gemaakt van een kapitaalkost van 5%

NCW=				
Min investering:	-12885	-19696	-26758	-49296
Opbrengst jaar 1 tot 25 verdisconteert tegen 5%(terugdraaiende meter):	4207.564377	6138.621593	8148.60183	14260.0532
Opbrengst jaar 1 tot 20 verdisconteert tegen 5% (GSC):	10296.26964	15444.40446	20592.53928	36036.94374
NCW=	<u>1618.834017</u>	<u>1887.026053</u>	<u>1983.14111</u>	<u>1000.996943</u>

Om de netto contante waarde te berekenen wordt gebruik gemaakt van een kapitaalkost van 6%

NCW=				
Min investering:	-12885	-19696	-26758	-49296
Opbrengst jaar 1 tot 25 verdisconteert tegen 6%(terugdraaiende meter):	3816.300506	5567.787583	7390.858582	12934.00252
Opbrengst jaar 1 tot 20 verdisconteert tegen 6% (GSC):	9476.43138	14214.64707	18952.86276	33167.50983
NCW=	<u>407.731886</u>	<u>86.43465258</u>	<u>-414.2786576</u>	<u>-3194.487651</u>

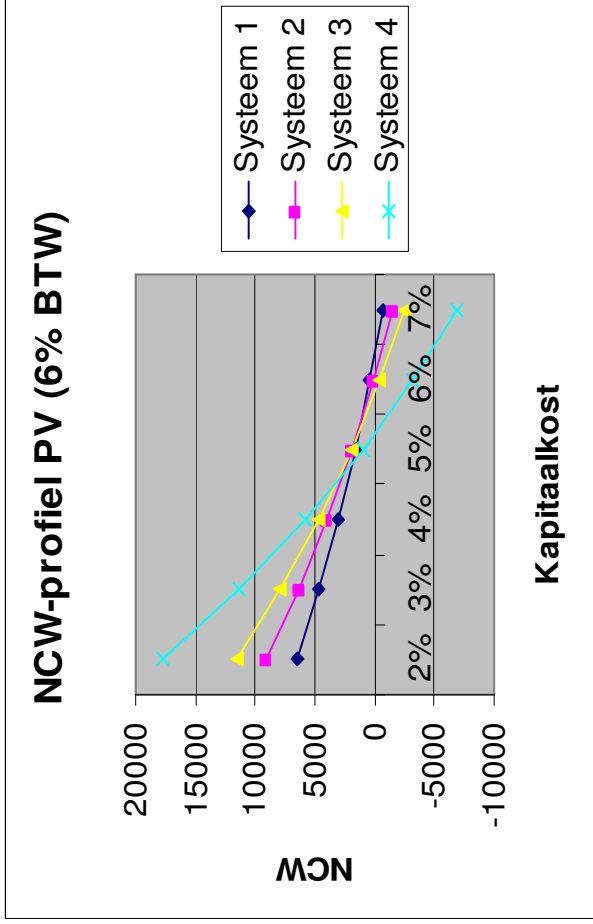
Om de netto contante waarde te berekenen wordt gebruik gemaakt van een kapitaalkost van 7%

NCW=			
Min investering:	-12885	-19696	-26758
Opbrengst jaar 1 tot 25 verdisconteert tegen 5% (terugdraaiende meter):	3479.042155	5075.744868	6737.705411
Opbrengst jaar 1 tot 20 verdisconteert tegen 5% (GSC):	8752.7628	13129.1442	17505.5256
<u>NCW=</u>	<u>-653.1950452</u>	<u>-1491.110932</u>	<u>-2514.768989</u>
			<u>-6870.345731</u>

Conclusie: Bij een kapitaalkost van 5% of lager is de NCW steeds positief en zijn de projecten dus aanvaardbaar. Vanaf een kapitaalkost van 6% is enkel de NCW van het 1° en 2° systeem nog positief. Vanaf een kapitaalkost van 7% is de NCW van alle toepassingen negatief en zijn ze dus niet langer aanvaardbaar

Bereking IOV

NCW	Systeem1	Systeem 2	Systeem 3	Systeem 4
2%	6453.002997	9071.739371	11548.80288	17740.90504
3%	4605.179506	6325.866495	7893.063361	11343.36088
4%	3007.066118	3950.64688	4730.707718	5809.238507
5%	1618.834017	1887.026053	1983.14111	1000.996943
6%	407.731886	86.43465258	-414.2786576	-3194.487651
7%	-653.1950452	-1491.110932	-2514.768989	-6870.345731



Conclusie: De interne opbrengstvoet van de systemen ligt rond 6%, enkel voor systeem 4 ligt deze iets lager, namelijk rond 5,25%

Terugverdientijd

Systeem 1	11,456 jaar
Systeem 2	11,760 jaar
Systeem 3	11,996 jaar
Systeem 4	12,629 jaar

Conclusie: De investeringskost voor de systemen wordt tussen circa 11,5 en 12,5 jaar terugverdiend. Na deze periode kan de geleverde stroom dus als 100% opbrengst gezien worden

Algemene conclusie: gezien de huidige lage rentestand is de investering in een fotovoltaïsch zonnepaneel economisch gezien rendabel, vanuit subjectief oogpunt zullen een aantal mensen echter de terugverdientijd mogelijk te lang vinden,

1,2 Berekening NCW (zonder rekening te houden met subsidies, fiscaal voordeel en groenestroomcertificaten)

Voor een woning met een 6 % BTW-tarief

	3 Volta720 4XPVT180 SB1700E	3 Volta1080 6XPVT180 SB2500	6 Volta720 4XPVT 180 Xantrex GT3,8E	7 Volta 1080 6XPVT180 Xantrex GT3,8E
Geïnstalleerd vermogen in Wp	2160 15,6 m ²	3240 23,4 m ²	4320 31,2 m ²	7560 54,6 m ²
Oppervlakte				
Levering en plaatsing: in EUR zonder BTW	15822 16771	23052 24435	29895 31689	51794 54901
Met 3% contantkorting	16268	23702	30738	53254
Totaal	16268	23702	30738	53254

Opbrengst in kWh/jaar	1836	2754	3672	6426
Elektriciteitsprijs(cent/kWh)	16.26023833	15.81523833	15.74523833	15.74523833
Opbrengst in EUR (jaar 1-25)	298.5379758	435.5516637	578.1651516	1011.789015

Om de netto contante waarde te berekenen wordt gebruik gemaakt van een kapitaalkost van 2%

NCW=			
Min investering:	-16268	-23702	-30738
Opbrengst jaar 1 tot 25 verdisconteert tegen 2%(terugdraaiende meter):	5828.476317	8503.449351	11287.74952
NCW=	-10439.52368	-15198.55065	-19450.25048
			-33500.43834

Conclusie: Bij een kapitaalkost van 2% is de NCW reeds negatief, indien deze kapitaalkost zou stijgen gaat de NCW nog verder dalen. We kunnen dus besluiten dat indien er geen steunmaatregelen van de overheid zouden zijn, de projecten vanuit de NCW-methode niet aanvaard kunnen worden. De berekening van de TVT levert eveneens een negatief resultaat.

2 Bij volgende berekeningen wordt rekening gehouden met een BTW-percentage van 21%

Er werd uitgegaan van een levensduur van 25 jaar

2.1 Berekening NCW (rekening houdend met subsidies, fiscaal voordeel, groenestroomcertificaten en terugdraaiende meter)

	3 Volta720 4XPVT180 SB1700E met subsidie	3 Volta1080 6XPVT180 SB2500 met subsidie	6 Volta720 4XPVT 180 Xantrex GT3,8E met subsidie	7 Volta 1080 6XPVT180 Xantrex GT3,8E met subsidie
Geïnstalleerd vermogen in Wp	2160	3240	4320	7560
Oppervlakte	15,6 m²	23,4 m²	31,2 m²	54,6 m²

Levering en plaatsing: in EUR zonder BTW	15822	23052	29895	51794
in EUR met 21% BTW	19144.62	27892.92	36172.95	62670.74
Met 3% contantkorting	18570.28	27056.13	35087.76	60790.62
Subsidie Vlaamse overheid 10% (max 3000 Wp) (max 7000 EUR/kWp)	-1829.52	-2100	-2512.01	-2486.93
Gemeente subsidie	-500	-500	-500	-500
Fiscaal voordeel	-1280	-1280	-1280	-1280
Totaal min de premies	14960.76	23176.13	30795.75	56523.69
Terugdraaiende meter:				
Opbrengst in kWh/jaar	1836	2754	3672	6426
Elektriciteitsprijs(cent/kWh)	16.26023833	15.81523833	15.74523833	15.74523833
Opbrengst in EUR (Jaar 1-25)	298.5379758	435.5516637	578.1651516	1011.789015
Groenestroomcertificaten 2006 (20 jaar 450EURO/1000kWh)				
GSC in EUR (Jaar 1-20)	826.2	1239.3	1652.4	2891.7
Om de netto contante waarde te berekenen wordt gebruik gemaakt van een kapitaalmarkt van 2%				
NCW=				
Min investering:	-14960.76	-23176.13	-30795.75	-56523.69
Opbrengst jaar 1 tot 25 verdisconteert tegen 2%(terugdraaiende meter):	5828.476317	8503.449351	11287.74952	19753.56166
Opbrengst jaar 1 tot 20 verdisconteert tegen 2% (GSC):	13509.52668	20264.29002	27019.05336	47283.34338
NCW=	4377.242997	5591.609371	7511.052881	10513.21504

Om de netto contante waarde te berekenen wordt gebruik gemaakt van een kapitaalkost van 3 %

NCW=				
Min investering:	-14960.76	-23176.13	-30795.75	-56523.69
Opbrengst jaar 1 tot 25 verdisconteert tegen 3%(terugdraaiende meter):	5198.471626	7584.304675	10067.6476	17618.3833
Opbrengst jaar 1 tot 20 verdisconteert tegen 3% (GSC):	12291.70788	18437.56182	24583.41576	43020.97758
<u>NCW=</u>	<u>2529.419506</u>	<u>2845.736495</u>	<u>3855.313361</u>	<u>4115.670882</u>

Om de netto contante waarde te berekenen wordt gebruik gemaakt van een kapitaalkost van 4 %

NCW=				
Min investering:	-14960.76	-23176.13	-30795.75	-56523.69
Opbrengst jaar 1 tot 25 verdisconteert tegen 4%(terugdraaiende meter):	4663.760258	6804.18809	9032.095998	15806.168
Opbrengst jaar 1 tot 20 verdisconteert tegen 4% (GSC):	11228.30586	16842.45879	22456.61172	39299.07051
<u>NCW=</u>	<u>931.3061179</u>	<u>470.5168803</u>	<u>692.9577183</u>	<u>-1418.45149</u>

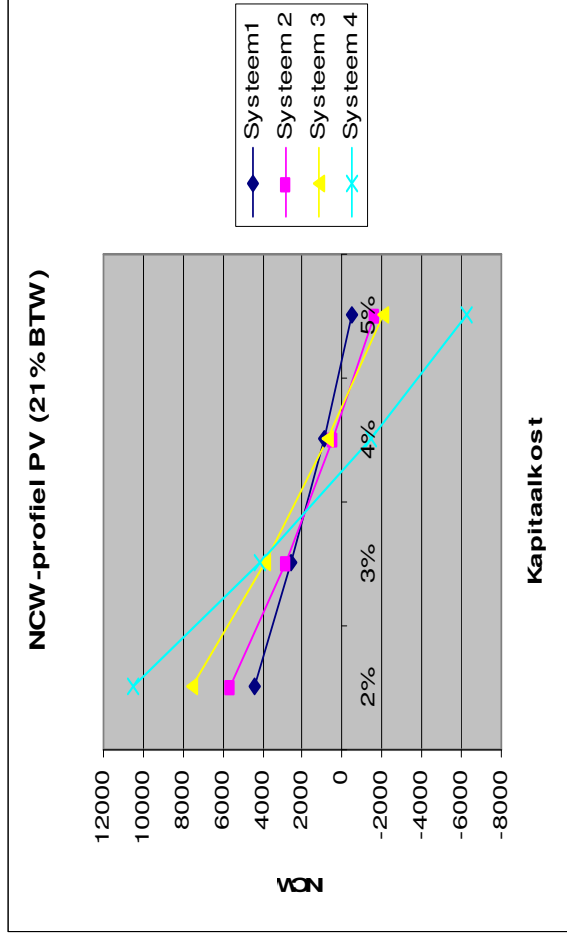
Om de netto contante waarde te berekenen wordt gebruik gemaakt van een kapitaalkost van 5 %

NCW=				
Min investering:	-14960.76	-23176.13	-30795.75	-56523.69
Opbrengst jaar 1 tot 25 verdisconteert tegen 5%(terugdraaiende meter):	4207.564377	6138.621593	8148.60183	14260.0532
Opbrengst jaar 1 tot 20 verdisconteert tegen 5% (GSC):	10296.26964	15444.40446	20592.53928	36036.94374
<u>NCW=</u>	<u>-456.9259829</u>	<u>-1593.103947</u>	<u>-2054.60889</u>	<u>-6226.69305</u>

Conclusie: Bij een kapitaalkost van 4% of lager is de NCW steeds positief voor de eerste 3 systemen en zijn deze projecten dus aanvaardbaar. Vanaf een kapitaalkost van 4% is de NCW van het 4^o systeem negatief en vanaf een kapitaalkost van 5% is de NCW van alle toepassingen negatief en zijn ze dus niet langer aanvaardbaar.

Berekening IOV

NCW	Systeem1	Systeem 2	Systeem 3	Systeem 4
2%	4377.242997	5591.609371	7511.052881	10513.21504
3%	2529.419506	2845.736495	3855.313361	4115.670882
4%	931.3061179	470.5168803	692.9577183	-1418.451493
5%	-456.9259829	-1593.103947	-2054.60889	-6226.693057



Conclusie: De interne opbrengstvoet van systeem 1 ligt rond 4,75%. Deze van de systemen 2 en 3 ligt rond 4,25%. De IOV van systeem 4 ligt lager, namelijk rond 3,75%.

Terugverdientijd

Systeem 1	13,302 jaar
Systeem 2	13,838 jaar
Systeem 3	13,806 jaar
Systeem 4	14,480 jaar

Conclusie: De investeringskost voor de systemen wordt tussen circa 13,3 en 14,5 jaar terugverdiend. Na deze periode kan de geleverde stroom dus als 100% opbrengst gezien worden

Algemene conclusie: gezien de huidige lage rentestand is de investering in een fotovoltaïsch zonnepaneel ook bij 21% BTW economisch gezien rendabel, vanuit subjectief oogpunt zullen een aantal mensen echter de terugverdientijd mogelijk te lang vinden,

2,2 Berekening NCW (zonder rekening te houden met subsidies, fiscaal voordeel en groenestroomcertificaten)

Voor een woning met een 21 % BTW-tarief

	3 Volta720	3 Volta1080	6 Volta720	7 Volta 1080
	4XPVT180	6XPVT180	4XPVT 180	6XPVT180
	SB1700E	SB2500	Xantrex GT3,8E	Xantrex GT3,8E
Geïnstalleerd vermogen	2160	3240	4320	7560
in Wp				
Oppervlakte	15,6 m ²	23,4 m ²	31,2 m ²	54,6 m ²
Levering en plaatsing				
in EUR zonder BTW	15822	23052	29895	51794
in EUR met 21% BTW	19144.62	27892.92	36172.95	62670.74
Met 3% contantkorting	18570.28	27056.13	35087.76	60790.62
Totaal	18570.28	27056.13	35087.76	60790.62

Opbrengst in kWh/jaar	1836	2754	3672	6426
Elektriciteitsprijs(cent/kWh)	16.26023833	15.81523833	15.74523833	15.74523833
Opbrengst in EUR	298.5379758	435.5516637	578.1651516	1011.789015

Om de netto contante waarde te berekenen wordt gebruik gemaakt van een kapitaalcost van 2%

NCW=				
Min investering:	-18570.28	-27056.13	-35087.76	-60790.62
Opbrengst jaar 1 tot 25 verdisconteert tegen 2%(terugdraaiende meter):	5828.476317	8503.449351	11287.74952	19753.56166
NCW=	-12741.80368	-18552.68065	-23800.01048	-41037.05834

Conclusie: Bij een kapitaalkost van 2% is de NCW reeds negatief. Indien deze kapitaalkost zou stijgen, gaat de NCW nog verder dalen. We kunnen dus besluiten dat indien er geen steunmaatregelen van de overheid zouden zijn de systemen vanuit de NCW-methode niet aanvaard kunnen worden. De berekening van de TVT levert eveneens een negatief resultaat.

3 Scenario's: Jaarlijkse stijging van de elektriciteitskosten met 5% en daling van de investeringsprijs met 5%

Er wordt rekening gehouden met een BTW-percentagte van 6%

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3	Systeem 4
Investeringskost onder huidige omstandigheden:				
Totaal min de premies	12885	19696	26758	49296
Totaal zonder steunmaatregelen	16268	23702	30738	53254
Investeringskost over 10 jaar met steunmaatregelen rekening houdend met een jaarlijkse investeringsprijsdaling van 5%	7714.725462	11792.72276	16021.00302	29515.33616
Investeringskost over 10 jaar zonder steunmaatregelen rekening houdend met een jaarlijkse investeringsprijsdaling van 5%	9740.252528	14191.26293	18403.97604	31885.13696

Jaarlijkse besparing aan elektriciteitsuitgaven bij een daling van 5% per jaar op de elektriciteitskost

Jaar	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3	Systeem 4
1	298.5379758	435.5516637	578.1651516	1011.789015
2	313.4648746	457.3292469	607.0734092	1062.378466
3	329.1381183	480.1957092	637.4270796	1115.497389
4	345.5950242	504.2054947	669.2984336	1171.272259
5	362.8747754	529.4157694	702.7633553	1229.835872
6	381.0185142	555.8865579	737.9015231	1291.327665
7	400.0694399	583.6808858	774.7965992	1355.894049
8	420.0729119	612.8649301	813.5364292	1423.688751
9	441.0765575	643.5081766	854.2132506	1494.873189
10	463.1303854	675.6835854	896.9239132	1569.616848
11	486.2869047	709.4677647	941.7701088	1648.09769
12	510.6012499	744.9411529	988.8586143	1730.502575
13	536.1313124	782.1882106	1038.301545	1817.027704
14	562.937878	821.2976211	1090.216622	1907.879089
15	591.0847719	862.3625021	1144.727453	2003.273043
16	620.6390105	905.4806273	1201.963826	2103.436696
17	651.670961	950.7546586	1262.062017	2208.60853
18	684.2545091	998.2923915	1325.165118	2319.038957
19	718.4672345	1048.207011	1391.423374	2434.990905
20	754.3905963	1100.617362	1460.994543	2556.74045
21	792.1101261	1155.64823	1534.04427	2684.577472
22	831.7156324	1213.430641	1610.746483	2818.806346
23	873.301414	1274.102173	1691.283808	2959.746663
24	916.9664847	1337.807282	1775.847998	3107.733996
25	962.8148089	1404.697646	1864.640398	3263.120696

Discontovoet 4%

	Systeem 1 NCW (in EUR)	Systeem 2 NCW (in EUR)	Systeem 3 NCW (in EUR)	Systeem 4 NCW (in EUR)
A Jaarlijkse stijging energieprijzen met 5%, met huidige steunmaatregelen	6412.14	8518.48	11325.2	17349.5
B Jaarlijkse stijging energieprijzen met 5%, zonder steunmaatregelen	-4813.4	-7920	-11126	-21940
C Jaarlijkse stijging energieprijzen met 5%, met subsidies, maar zonder GSC	-8196.4	-11926	-15106	-25898
D Jaarlijkse stijging energieprijzen met 5%, zonder subsidies, maar met GSC	3029.14	4912.48	7345.17	13391.5
E Investing over 10 jaar met steunmaatregelen in de veronderstelling dat de investeringsprijzen elk jaar met 5 % dalen en de energieprijzen met 5% stijgen	11585.2	16825.8	22067.5	37139.5
F Investing over 10 jaar zonder steunmaatregelen in de veronderstelling dat de investeringsprijzen elk jaar met 5 % dalen	-1668.7	-2415.2	2777.4	-4529.3
G Investing over 10 jaar met subsidies, zonder GSC in de veronderstelling dat de investeringsprijzen elk jaar met 5 % dalen en de energieprijzen met 5% stijgen	356.861	-16.69	-389.12	-2159.5
H Investing over 10 jaar zonder subsidies, met GSC in de veronderstelling dat de investeringsprijzen elk jaar met 5 % dalen en de energieprijzen met 5% stijgen	9559.64	14427.2	19684.5	34769.7

<u>Discontovoet 6%</u>	Systeem 1 NCW (in EUR)	Systeem 2 NCW (in EUR)	Systeem 3 NCW (in EUR)	Systeem 4 NCW (in EUR)
A Jaarlijkse stijging energieprijzen met 5%, zonder steunmaatregelen	-9969.3	-14513	-18540	-31907
B Jaarlijkse stijging energieprijzen met 5%, met huidige steunmaatregelen	4641.96	6335.88	7896.94	11350
C Jaarlijkse stijging energieprijzen met 5%, met subsidies, maar zonder GSC	-9969	-14513	-18540	-31907
D Jaarlijkse stijging energieprijzen met 5%, zonder subsidies, maar met GSC	1258.96	2329.88	3916.94	7392.15
E Investing over 10 jaar met steunmaatregelen in de veronderstelling dat de investeringsprijzen elk jaar met 5 % dalen en de energieprijzen met 5% stijgen	9812.24	14239.2	18633.9	31130.8
F Investing over 10 jaar zonder steunmaatregelen in de veronderstelling dat de investeringsprijzen elk jaar met 5 % dalen en de energieprijzen met 5% stijgen	-3442	-5002	-6206	-10538
G Investing over 10 jaar met subsidies, zonder GSC in de veronderstelling dat de investeringsprijzen elk jaar met 5 % dalen en de energieprijzen met 5% stijgen	-1416.1	-2603.3	-3822.7	-8168.3
H Investing over 10 jaar zonder subsidies, met GSC in de veronderstelling dat de investeringsprijzen elk jaar met 5 % dalen en de energieprijzen met 5% stijgen	7786.71	11840.6	16251	28761

Bijlage 6: Investeringsanalyse zonneboilers

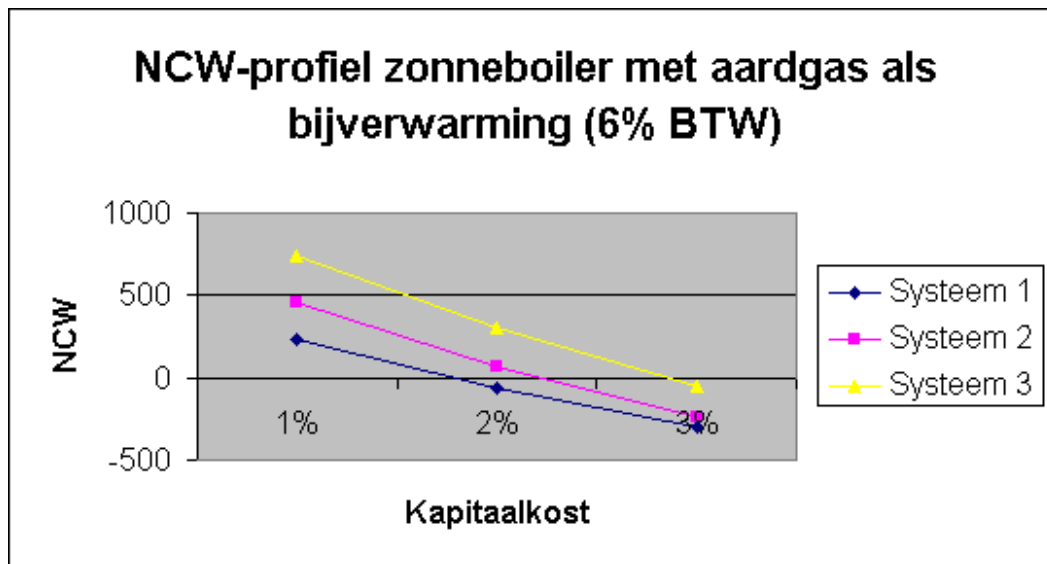
6,1 Bijverwarming op aardgas (levensduur 30 jaar)

6,1,1 BTW 6% met fiscale aftrek en premie netbeheerder

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
	(in EUR)	(in EUR)	(in EUR)
Investing	3580.38	4225.92	4349.94
Premie (75 EUR/m ²)	337.5	506.25	506.25
Fiscale aftrek	1280	1280	1280
Totaal	1962.88	2439.67	2563.69
Besparing/jaar	84.9618224	112.037568	127.909557

Berekening NCW (in EUR)

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
1%	229.789224	451.7619437	737.361469
2%	-60.0325446	69.57939171	301.0363889
3%	-297.594296	-243.688852	-56.6115229



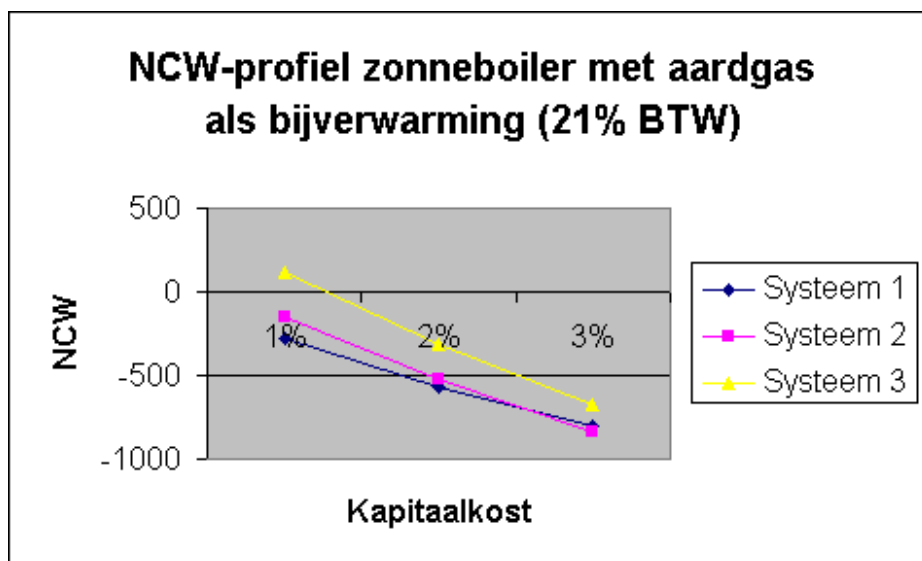
IOV (%)	1.9	2.15	2.9
TVT (jaar)	23.1031	21.7755	20.043

6,1,2 BTW 21% met fiscale aftrek en premie netbeheerder

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
	(in EUR)	(in EUR)	(in EUR)
Investering	4087.06	4823.9	4965.45
Premie (75 EUR/m ²)	337.5	506.25	506.25
Fiscale aftrek	1280	1280	1280
Totaal	2469.56	3037.65	3179.2
Besparing/jaar	84.9618224	112.03757	127.9095568
Levensduur 30 jaar			

Berekening NCW (in EUR)

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
1%	-276.890776	-146.21805	121.851469
2%	-566.712544	-528.40060	-314.4736111
3%	-804.274296	-841.66885	-672.1215229



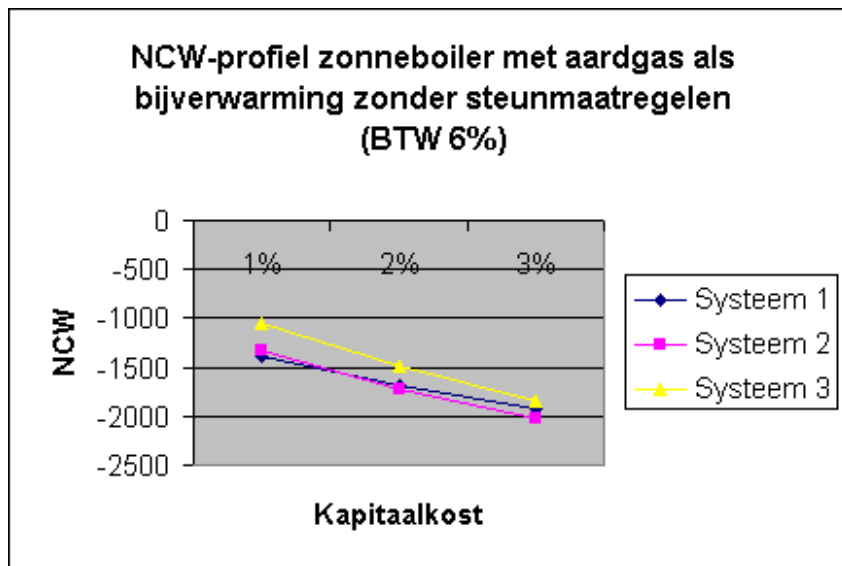
IOV (%)	negatief	negatief	1.25
TVT (Jaar)	29.0667	27.1128	24.8551

6,1,3 BTW 6% zonder steunmaatregelen

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
	(in EUR)	(in EUR)	(in EUR)
Investing	3580.38	4225.92	4349.94
Totaal	3580.38	4225.92	4349.94
Besparing/jaar	84.9618224	112.03757	127.9096
Levensduur 30 jaar			

Berekening NCW (in EUR)

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
1%	-1387.71078	-1334.488	-1048.888
2%	-1677.53254	-1716.6706	-1485.213
3%	-1915.0943	-2029.9388	-1842.861



IOV (%)	negatief	negatief	negatief
TVT (Jaar)	42.141	37.7188	34.0075

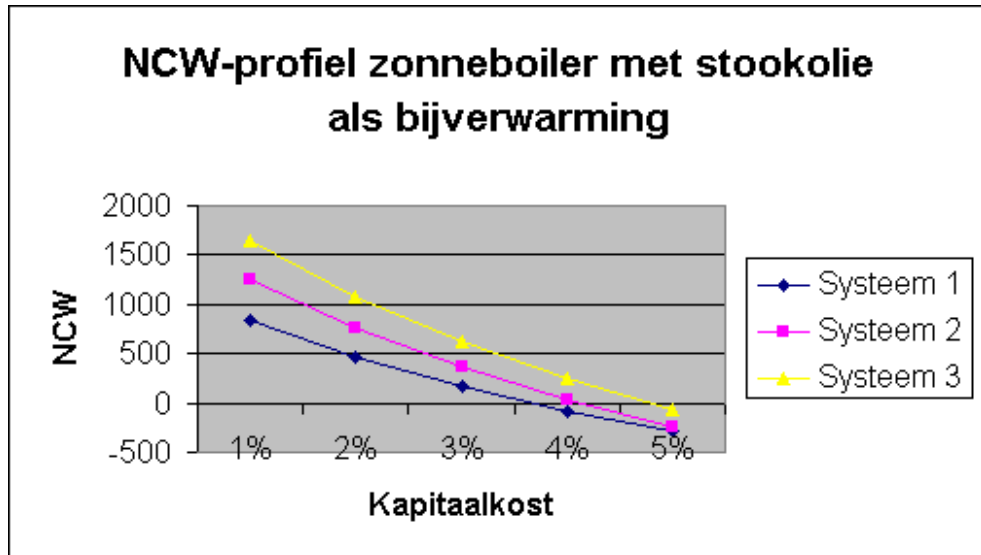
6,2 Bijverwarming op stookolie (levensduur 30 jaar)

6,2,1 BTW 6% met fiscale aftrek en premie netbeheerder

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
BTW	6%	6%	6%
	(in EUR)	(in EUR)	(in EUR)
Investering	3580.38	4225.92	4349.94
Premie (75 EUR/m ²)	337.5	506.25	506.25
Fiscale aftrek	1280	1280	1280
Totaal	1962.88	2439.67	2563.69
Besparing/jaar	108.7494	143.2812	162.8664

Berekening NCW (in EUR)

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
1%	843.6918904	1258.088225	1639.517191
2%	472.7259371	769.3273958	1083.947328
3%	168.6517398	368.6988325	628.5565866
4%	-82.3853752	37.9485104	252.5957888
5%	-291.140723	-237.094081	-60.0425526



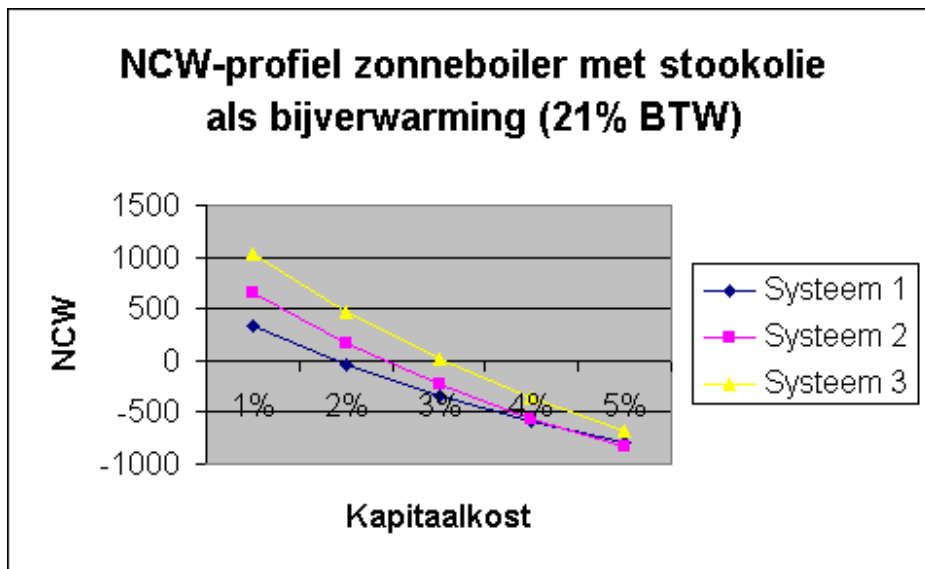
IOV (%)	3.9	4.1	4.9
TVT (Jaar)	18.0496	17.0271	15.7411

6,2,2 BTW 21% met fiscale aftrek en premie netbeheerder

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
BTW	21%	21%	21%
	(in EUR)	(in EUR)	(in EUR)
Investering	4087.06	4823.9	4965.5
Premie (75 EUR/m ²)	337.5	506.25	506.25
Fiscale aftrek	1280	1280	1280
Totaal	2469.56	3037.65	3179.25
Besparing/jaar	108.7494	143.2812	162.8664
Levensduur 30 jaar			

Berekening NCW (in EUR)

	System 1	System 2	System 3
1%	337.0118904	660.1082252	1023.957191
2%	-33.9540629	171.3473958	468.3873276
3%	-338.028260	-229.281168	12.99658656
4%	-589.065375	-560.03149	-362.964211
5%	-797.820723	-835.074081	-675.602552



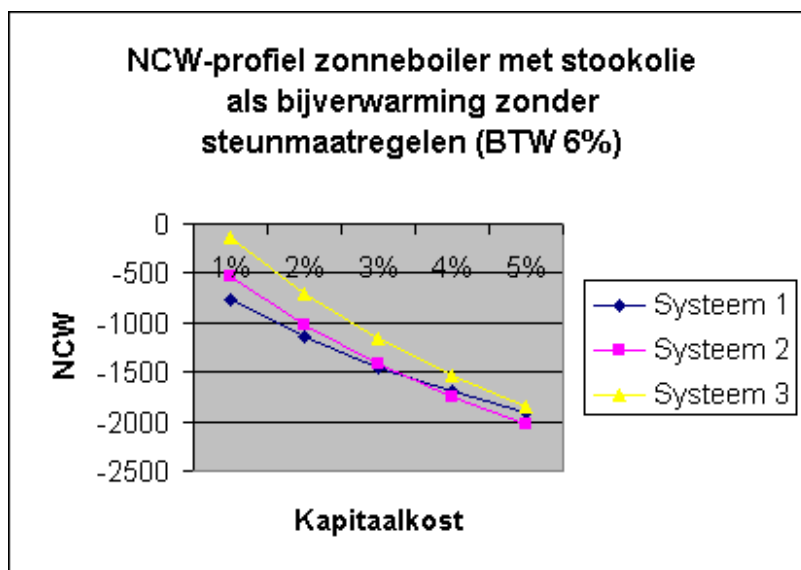
IOV (%)	1.9	2.5	3.1
TVT (Jaar)	22.7087	21.2006	19.5206

6,2,3 BTW 6% zonder steunmaatregelen

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
BTW	6%	6%	6%
	(in EUR)	(in EUR)	(in EUR)
Investerings	3580.38	4225.92	4349.94
Totaal	3580.38	4225.92	4349.94
Besparing/jaar	108.7494	143.2812	162.8664
Levensduur 30 jaar			

Berekening NCW

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
1%	-773.80811	-528.16177	-146.7328
2%	-1144.7740	-1016.922	-702.3026
3%	-1448.8482	-1417.5511	-1157.693
4%	-1699.8853	-1748.3014	-1533.654
5%	-1908.6407	-2023.3440	-1846.292



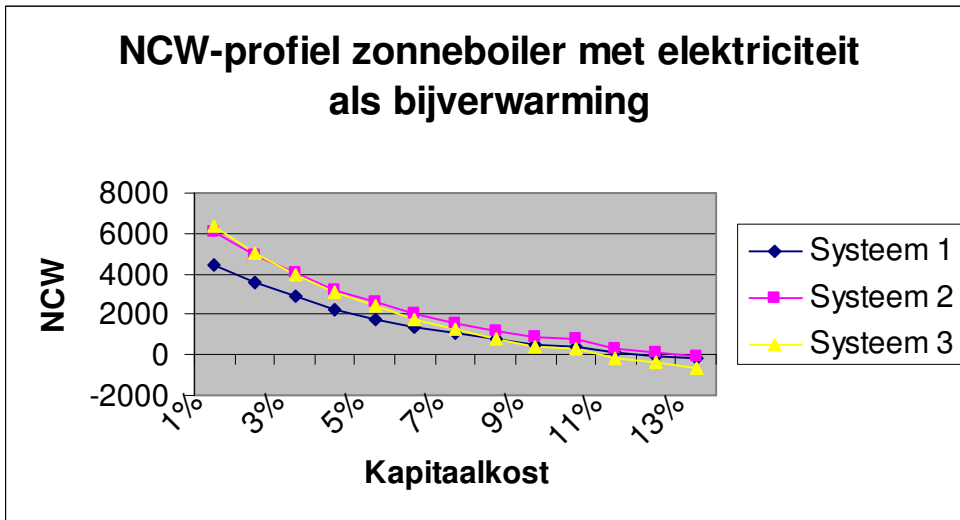
IOV (%)	<1%	<1%	<1%
TVT (Jaar)	32.9232	29.4939	26.7086

6,3 Bijverwarming op elektriciteit (levensduur 30 jaar)
6,3,1 BTW 6% met fiscale aftrek en premie netbeheerder

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
Elektriciteitsprijs eurocent/kWh			15,81523833
BTW	6%	6%	6%
	(in EUR)	(in EUR)	(in EUR)
Investering	3708,64	4354,18	5244,58
Premie (75 EUR/m ²)	337,5	506,25	506,25
Fiscale aftrek	1280	1280	1280
Totaal	2091,14	2567,93	3458,33
Besparing/jaar	252,569383	335,599393	380,514674

Berekening NCW (in EUR)

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
1%	4427,09486	6093,11845	6361,878563
2%	3565,530182	4948,321801	5063,866905
3%	2859,320931	4009,952339	3999,909824
4%	2276,289767	3235,2547	3121,52975
5%	1791,45758	2591,038106	2391,093781
6%	1380,880791	2045,487733	1772,529126
7%	1042,993471	1596,522865	1263,476595
8%	752,2608546	1210,214404	825,4661529
9%	503,6820681	879,9174818	450,9636104
10%	413,0349166	759,4708597	314,3968937
11%	104,6477002	349,7040011	-150,211523
12%	-56,6431077	135,3902289	-393,208194
13%	-197,955677	-52,3776314	-606,106155



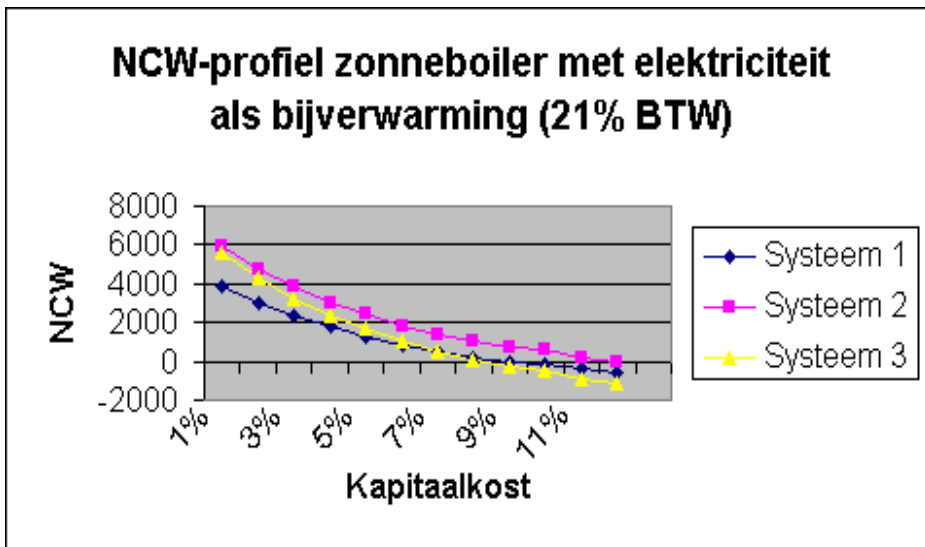
IOV (%)	11,75	12,75	10,75
TVT (jaar)	8,2795	7,6518	9,0886

6,3,2 BTW 21% met fiscale aftrek en premie netbeheerder

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
Elektriciteitsprijs eurocent/kWh			15.81523833
BTW	21%	21%	21%
	(in EUR)	(in EUR)	(in EUR)
Investering	4233.45	4541.86	5986.76
Premie (75 EUR/m ²)	337.5	506.25	506.25
Fiscale aftrek	1280	1280	1280
Totaal	2615.95	2755.61	4200.51
Besparing/jaar	252.569383	335.59939	380.5146744
Levensduur 30 jaar			

Berekening NCW (in EUR)

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
1%	3902.28486	5905.43845	5619.698563
2%	3040.720182	4760.641801	4321.686905
3%	2334.510931	3822.272339	3257.729824
4%	1751.479767	3047.5747	2379.34975
5%	1266.64758	2403.358106	1648.913781
6%	856.0707915	1857.807733	1030.349126
7%	518.1834712	1408.842865	521.2965946
8%	227.4508546	1022.534404	83.28615293
9%	-21.1279319	692.2374818	-291.2163896
10%	-111.775083	571.7908597	-427.7831063
11%	-420.162299	162.0240011	-892.3915237
12%	-581.453107	-52.2897711	-1135.388195



IOV (%)	8.8	11.4	8.1
TVT (Jaar)	10.3574	8.211	11.039

6,3,3 BTW 6% zonder steunmaatregelen

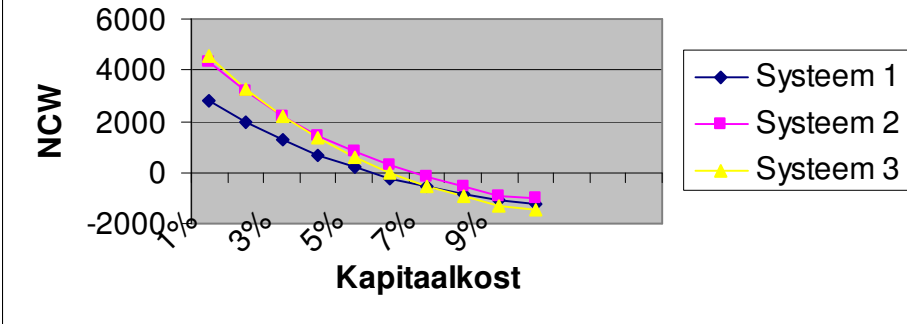
	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
Elektriciteitsprijs eurocent/kWh			15.815238
BTW	6%	6%	6%
	(in EUR)	(in EUR)	(in EUR)
Investering	3708.64	4354.18	5244.58

Totaal	3708.64	4354.18	5244.58
Besparing/jaar	252.569383	335.59939	380.5147
Levensduur 30 jaar			

Berekening NCW (in EUR)

	System 1	System 2	System 3
1%	2809.59486	4306.86845	4575.6286
2%	1948.030182	3162.0718	3277.6169
3%	1241.820931	2223.70234	2213.6598
4%	658.7897674	1449.0047	1335.2797
5%	173.9575802	804.788106	604.84378
6%	-236.619209	259.237733	-13.72087
7%	-574.506529	-189.72713	-522.7734
8%	-865.239145	-576.03559	-960.7838
9%	-1113.81793	-906.33251	-1335.286
10%	-1204.46508	-1026.7791	-1471.853

NCW-profiel zonneboiler met elektriciteit als bijverwarming zonder steunmaatregelen (6% BTW)



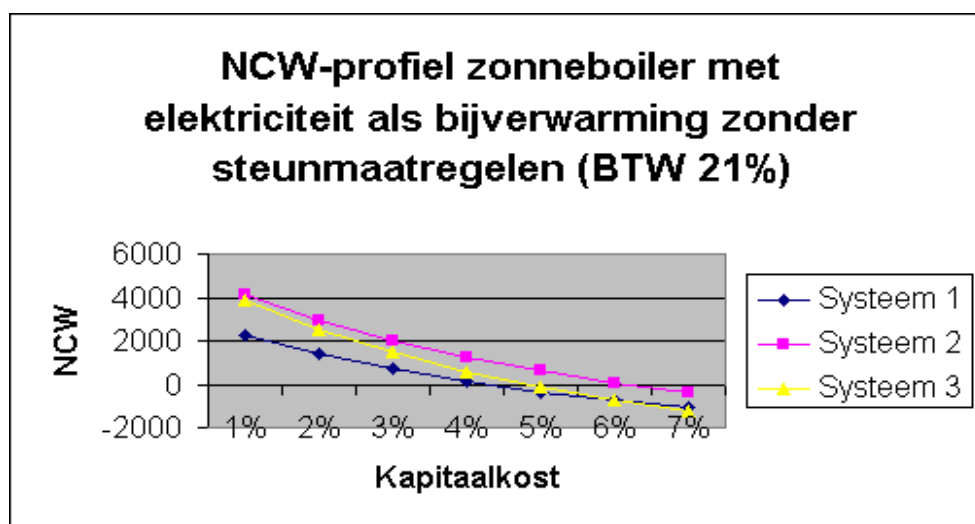
IOV (%)	5.40	6.60	5.97
TVT (Jaar)	14.6836	12.9743	13.7829

6,3,4 BTW 21% zonder steunmaatregelen

	System 1	System 2	System 3
Elektriciteitsprijs eurocent/kWh			15.81523833
BTW	21%	21%	21%
	(in EUR)	(in EUR)	(in EUR)
Investering	4233.45	4541.86	5986.76
Totaal	4233.45	4541.86	5986.76
Besparing/jaar	252.56938	335.59939	380.514674
Levensduur 30 jaar			

Berekening NCW

	System 1	System 2	System 3
1%	2284.78486	4119.18845	3833.448563
2%	1423.22018	2974.391801	2535.436905
3%	717.010931	2036.022339	1471.479824
4%	133.979767	1261.3247	593.0997497
5%	-350.85242	617.1081059	-137.336219
6%	-761.42920	71.55773294	-755.900874
7%	-1099.3165	-377.407135	-1264.95340



IOV (%)	4.20	6.10	4.90
TVT (jaar)	16.7615	13.5336	15.7336

6,4 Scenario's: Invloed van mogelijke toekomstige evoluties van energieprijzen en investeringskost

6,4,1 Bijverwarming op aardgas (levensduur 30 jaar)

Stijging van 5% per jaar van de aardgasprijzen, rekening houdend met een kapitaalkost van 4% en 6%

Toepassing van 6% BTW

Jaarlijkse opbrengst gedurende de 30 jaar:

Investing zonder steunmaatregelen

-3580.38	-4225.92	-4349.94
----------	----------	----------

Investing met huidige steunmaatregelen

-1962.88	-2439.67	-2563.69
----------	----------	----------

Investing over 10 jaar zonder steunmaatregelen in de veronderstelling dat de prijzen elk jaar met 5 % dalen

-2143.7058	-2530.2144	-2604.4698
------------	------------	------------

Besparing per jaar indien de aardgasprijzen met 5% per jaar stijgen:

Jaar	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
1	84.96182	112.037568	127.909557
2	89.209911	117.6394464	134.3050349
3	93.67040655	123.5214187	141.0202866
4	98.35392688	129.6974897	148.0713009
5	103.2716232	136.1823641	155.474866
6	108.4352044	142.9914823	163.2486093
7	113.8569646	150.1410565	171.4110397
8	119.5498128	157.6481093	179.9815917
9	125.5273035	165.5305148	188.9806713
10	131.8036686	173.8070405	198.4297049
11	138.3938521	182.4973925	208.3511901
12	145.3135447	191.6222621	218.7687496
13	152.5792219	201.2033752	229.7071871
14	160.208183	211.263544	241.1925465
15	168.2185922	221.8267212	253.2521738
16	176.6295218	232.9180573	265.9147825
17	185.4609979	244.5639601	279.2105216
18	194.7340478	256.7921581	293.1710477

19	204.4707501	269.631766	307.8296
20	214.6942876	283.1133543	323.2210801
21	225.429002	297.2690221	339.3821341
22	236.7004521	312.1324732	356.3512408
23	248.5354747	327.7390968	374.1688028
24	260.9622485	344.1260517	392.8772429
25	274.0103609	361.3323543	412.5211051
26	287.7108789	379.398972	433.1471603
27	302.0964229	398.3689206	454.8045184
28	317.201244	418.2873666	477.5447443
29	333.0613062	439.2017349	501.4219815
30	349.7143716	461.1618217	526.4930806

Besparing per jaar verdisconteerd tegen 6%

Factor	System 1	System 2	System 3
0.9434	80.15298099	105.6962417	120.6698761
0.89	79.39682079	104.6991073	119.531481
0.83962	78.64754675	103.7110536	118.403453
0.79206	77.90221132	102.7281937	117.2813546
0.74726	77.17075317	101.7636334	116.1801483
0.70496	76.44248168	100.8032754	115.0837396
0.66506	75.72171288	99.85281101	113.9986261
0.62741	75.00674807	98.91000025	112.9222505
0.5919	74.29961093	97.97751168	111.8576593
0.55839	73.59785054	97.05211334	110.8011629
0.52679	72.90449734	96.1378014	109.7573234
0.49697	72.2164723	95.23051561	108.7215055
0.46884	71.5352424	94.33219045	107.6959176
0.4423	70.86007935	93.44186551	106.6794633
0.41726	70.19088977	92.55941769	105.672002
0.39365	69.53021125	91.68819324	104.6773541
0.37136	68.87279617	90.82127223	103.6876193
0.35034	68.22312629	89.96456468	102.7095448

0.33051	67.57962763	89.115995	101.7407611
0.3118	66.94167889	88.27474389	100.7803328
0.29415	66.30994095	87.44168284	99.82925473
0.2775	65.68437547	86.6167613	98.88746931
0.2618	65.06658729	85.80209555	97.95739257
0.24698	64.45245613	84.99225224	97.03282146
0.233	63.84441409	84.19043854	96.11741748
0.2198	63.23885119	83.39189404	95.20574584
0.2074	62.65479811	82.62171412	94.32645711
0.1956	62.04456333	81.8170089	93.40775198
0.18455	61.46646407	81.05468018	92.53742668
0.1741	60.88527209	80.28827315	91.66244533

A, Jaarlijkse stijging energieprijzen met 5%

Zonder steunmaatregelen en dicontoet van 6%

NCW (in EUR) **-1477.5389 -1452.943 -1184.124242**

Met huidige steunmaatregelen en discontovoet van 6%

NCW (in EUR) **139.961061 333.3073 602.1257579**

B Investering over 10 jaar zonder steunmaatregelen in de veronderstelling dat de investeringsprijzen elk jaar met 5 % dalen

NCW (in EUR) **-40.864701 242.7629 561.3459965**

Besparing per jaar verdisconteerd tegen 4%

Factor	System 1	System 2	System 3
0.9615	81.69078993	107.724122	122.98504
0.2455	21.90103315	28.8804841	32.971886
0.88899	83.27205472	109.809306	125.36562
0.8548	84.07293669	110.865414	126.57135
0.8219	84.87894713	111.928285	127.78479
0.7903	85.69634202	113.006168	129.01538
0.7599	86.5199074	114.092189	130.25525
0.73069	87.35385274	115.191897	131.51075

0.702586	88.19372604	116.299422	132.77517
0.6755	89.03337817	117.406656	134.03927
0.6495	89.88680693	118.532056	135.3241
0.62459	90.76138687	119.685349	136.64077
0.60057	91.63450331	120.836711	137.95525
0.5774	92.50420487	121.98357	139.26458
0.5552	93.39496237	123.158196	140.60561
0.5339	94.30250167	124.354951	141.9719
0.51337	95.21011247	125.5518	143.33831
0.4936	96.12072597	126.752609	144.70923
0.4746	97.04181802	127.967236	146.09593
0.4563	97.96500345	129.184624	147.48578
0.4388	98.91824609	130.441647	148.92088
0.421955	99.87693928	131.705858	150.36419
0.4057	100.8308421	132.963752	151.80028
0.3901	101.8013731	134.243573	153.26141
0.37511	102.7840265	135.539379	154.74079
0.360689	103.7741492	136.845036	156.23142
0.468	141.3811259	186.436655	212.84851
0.3334	105.7548948	139.457008	159.21342
0.32065	106.7961078	140.830036	160.78096
0.3083	107.8169407	142.17619	162.31782

A, Jaarlijkse stijging energieprijzen met 5%

Zonder steunmaatregelen en discontovoet van 4%

NCW (in EUR) **-779.21036 -532.0698 -132.794**

Met huidige steunmaatregelen en discontovoet van 4%

NCW (in EUR) **838.289639 1254.1802 1653.456**

**B Investering over 10 jaar zonder steunmaatregelen in de
veronderstelling dat de investeringsprijzen elk jaar met 5 %
dalen**

NCW (in EUR) **657.463877 1163.6358 1612.676**

6,4,2 Bijverwarming op stookolie (levensduur 30 jaar)

Stijging van 5% per jaar van de aardolieprijzen, rekening houdend met een kapitaalkost van 4% en 6%

Toepassing van 6% BTW

Jaarlijkse opbrengst gedurende de 30 jaar:

Investing zonder steunmaatregelen

-3580.38	-4225.92	-4349.94
----------	----------	----------

Investing met huidige steunmaatregelen

-1962.88	-2439.67	-2563.69
----------	----------	----------

Investing over 10 jaar zonder steunmaatregelen in de veronderstelling dat de prijzen elk jaar met 5 % dalen

-2143.7058	-2530.2144	-2604.4698
------------	------------	------------

Besparing/jaar indien de stookoliekosten met 5%/jaar dalen

	System 1	System 2	System 3
Jaar			
1	108.7494	143.2812	162.8664
2	114.18687	150.44526	171.00972
3	119.8962135	157.967523	179.560206
4	125.8910242	165.8658992	188.5382163
5	132.1855754	174.1591941	197.9651271
6	138.7948542	182.8671538	207.8633835
7	145.7345969	192.0105115	218.2565526
8	153.0213267	201.6110371	229.1693803
9	160.672393	211.6915889	240.6278493
10	168.7060127	222.2761684	252.6592418
11	177.1413133	233.3899768	265.2922038
12	185.998379	245.0594756	278.556814
13	195.2982979	257.3124494	292.4846547
14	205.0632128	270.1780719	307.1088875
15	215.3163735	283.6869755	322.4643318
16	226.0821922	297.8713243	338.5875484
17	237.3863018	312.7648905	355.5169259
18	249.2556168	328.403135	373.2927722
19	261.7183977	344.8232917	391.9574108
20	274.8043176	362.0644563	411.5552813

21	288.5445335	380.1676792	432.1330454
22	302.9717601	399.1760631	453.7396976
23	318.1203481	419.1348663	476.4266825
24	334.0263655	440.0916096	500.2480166
25	350.7276838	462.0961901	525.2604175
26	368.264068	485.2009996	551.5234383
27	386.6772714	509.4610495	579.0996103
28	406.011135	534.934102	608.0545908
29	426.3116917	561.6808071	638.4573203
30	447.6272763	589.7648475	670.3801863

Besparing per jaar verdisconteerd tegen 6%

Factor	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
0.9434	102.594184	135.1714841	153.6481618
0.89	101.6263143	133.8962814	152.1986508
0.83962	100.6672588	132.6326917	150.7623402
0.79206	99.71324461	131.3757441	149.3335796
0.74726	98.77699306	130.1421994	147.9314209
0.70496	97.84482038	128.9140288	146.5353708
0.66506	96.92225099	127.6985108	145.1537029
0.62741	96.00711059	126.4927808	143.7831609
0.5919	95.10198944	125.3002515	142.427624
0.55839	94.20375043	124.1167897	141.082394
0.52679	93.31627245	122.9475059	139.7532801
0.49697	92.43561441	121.7872076	138.4343799
0.46884	91.56365401	120.6383688	137.1285055
0.4423	90.69945904	119.4997612	135.8342609
0.41726	89.84291	118.3712274	134.5514671
0.39365	88.99725494	117.2570468	133.2849884
0.37136	88.15577702	116.1483697	132.0247656
0.35034	87.32421281	115.0527543	130.7793898
0.33051	86.50054762	113.9675462	129.5458438
0.3118	85.68398622	112.8916975	128.3229367
0.29415	84.87537452	111.8263228	127.1119353

0.2775	84.07466344	110.7713575	125.9127661
0.2618	83.28390714	109.729508	124.7285055
0.24698	82.49783176	108.6938257	123.5512551
0.233	81.71955033	107.6684123	122.3856773
0.2198	80.94444215	106.6471797	121.2248517
0.2074	80.19686609	105.6622217	120.1052592
0.1956	79.415778	104.6331104	118.935478
0.18455	78.67582271	103.658193	117.8272985
0.1741	77.93190881	102.6780599	116.7131904

A, Jaarlijkse stijging energieprijzen met 5%

Zonder steunmaatregelen en dicontoet van 6%

NCW (in EUR) **-888.78625 -679.6496 -318.9275593**

Met huidige steunmaatregelen en discontoet van 6%

NCW (in EUR) **728.71375 1106.6004 1467.322441**

**B Investering over 10 jaar zonder steunmaatregelen in de
veronderstelling dat de investeringsprijzen elk jaar met 5 %
dalen**

NCW (in EUR) **547.887987 1016.056 1426.542679**

Besparing per jaar verdisconteerd tegen 4%

Factor	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
0.9615	104.5625481	137.764874	156.59604
0.2455	28.03287659	36.9343113	41.982886
0.88899	106.5865348	140.431548	159.62723
0.8548	107.6116475	141.782171	161.16247
0.8219	108.6433244	143.141442	162.70754
0.7903	109.6895732	144.519912	164.27443
0.7599	110.7437202	145.908788	165.85315
0.73069	111.8111532	147.315169	167.45177
0.702586	112.8861739	148.731547	169.06176
0.6755	113.9609116	150.147552	170.67132
0.6495	115.053283	151.58679	172.30729
0.62459	116.1727275	153.061698	173.9838

0.60057	117.2902988	154.534138	175.65751
0.5774	118.4034991	156.000819	177.32467
0.5552	119.5436506	157.503009	179.0322
0.5339	120.7052824	159.0335	180.77189
0.51337	121.8670057	160.564112	182.51172
0.4936	123.0325725	162.099787	184.25731
0.4746	124.2115515	163.653134	186.02299
0.4563	125.3932101	165.210011	187.79267
0.4388	126.6133413	166.817578	189.61998
0.421955	127.840449	168.434336	191.45773
0.4057	129.0614252	170.043015	193.28631
0.3901	130.3036852	171.679737	195.14675
0.37511	131.5614615	173.336902	197.03044
0.360689	132.8287984	175.006663	198.92844
0.468	180.964963	238.427771	271.01862
0.3334	135.3641124	178.34703	202.7254
0.32065	136.696844	180.102951	204.72134
0.3083	138.0034893	181.824502	206.67821

A, Jaarlijkse stijging energieprijzen met 5%

Zonder steunmaatregelen en discontovoet van 4%

NCW (in EUR) **5.06011408 498.02479 1019.724**

Met huidige steunmaatregelen en discontovoet van 4%

NCW (in EUR) **1622.56011 2284.2748 2805.974**

**B Investering over 10 jaar zonder steunmaatregelen in de
veronderstelling dat de investeringsprijzen elk jaar met 5 %
dalen**

NCW (in EUR) **1441.73435 2193.7304 2765.194**

6,4,3 Bijverwarming op elektriciteit (levensduur 30 jaar)

Stijging van 2% per jaar van de elektriciteitsprijzen, rekening houdend met een kapitaalkost van 4% en 6%

Toepassing van 6% BTW

Jaarlijkse opbrengst gedurende de 30 jaar:

Investing zonder steunmaatregelen

-3708.64	-4354.18	-5244.58
----------	----------	----------

Investing met huidige steunmaatregelen

-2091.14	-2567.93	-3458.33
----------	----------	----------

Investing over 10 jaar zonder steunmaatregelen in de veronderstelling dat de prijzen elk jaar met 5 % dalen

-2220.4998	-2607.0084	-3140.1238
------------	------------	------------

Besparing/jaar aan elektriciteitskosten bij een daling van 2%/jaar

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
1	252.5694	335.59939	380.51467
2	257.620788	342.3113778	388.1249634
3	262.7732038	349.1576054	395.8874627
4	268.0286678	356.1407575	403.8052119
5	273.3892412	363.2635726	411.8813162
6	278.857026	370.5288441	420.1189425
7	284.4341665	377.9394209	428.5213213
8	290.1228499	385.4982094	437.0917478
9	295.9253069	393.2081736	445.8335827
10	301.843813	401.072337	454.7502544
11	307.8806893	409.0937838	463.8452595
12	314.038303	417.2756594	473.1221646
13	320.3190691	425.6211726	482.5846079
14	326.7254505	434.1335961	492.2363001
15	333.2599595	442.816268	502.0810261
16	339.9251587	451.6725934	512.1226466
17	346.7236619	460.7060452	522.3650996
18	353.6581351	469.9201661	532.8124015
19	360.7312978	479.3185695	543.4686496
20	367.9459238	488.9049408	554.3380226

21	375.3048422	498.6830397	565.424783
22	382.8109391	508.6567005	576.7332787
23	390.4671579	518.8298345	588.2679443
24	398.276501	529.2064312	600.0333031
25	406.242031	539.7905598	612.0339692
26	414.3668717	550.586371	624.2746486
27	422.6542091	561.5980984	636.7601416
28	431.1072933	572.8300604	649.4953444
29	439.7294391	584.2866616	662.4852513
30	448.5240279	595.9723948	675.7349563

Besparing per jaar verdisconteerd tegen 6%

Factor	System 1	System 2	System 3
0.9434	238.273972	316.6044645	358.9775397
0.89	229.2825013	304.6571262	345.4312174
0.83962	220.6296373	293.1597086	332.3950314
0.79206	212.2947866	282.0848484	319.8379562
0.74726	204.2928444	271.4523373	307.7824323
0.70496	196.5830491	261.2080139	296.1670497
0.66506	189.1657868	251.3523913	284.99239
0.62741	182.0259772	241.8654315	274.2357335
0.5919	175.1581891	232.7399179	263.8888976
0.55839	168.5465667	223.9547823	253.9279945
0.52679	162.1884683	215.5065143	244.3490442
0.49697	156.0676155	207.3734845	235.1275222
0.46884	150.1783924	199.5482306	226.2549676
0.4423	144.5106668	192.0172895	217.7161155
0.41726	139.0560507	184.769516	209.498329
0.39365	133.8115387	177.8009164	201.5970798
0.37136	128.7592991	171.087797	193.9855034
0.35034	123.9005911	164.631831	186.6654968
0.33051	119.2253012	158.4195804	179.6218234
0.3118	114.725539	152.4405606	172.8425954

0.29415	110.3959193	146.6876161	166.3196999
0.2775	106.2300356	141.1522344	160.0434848
0.2618	102.2243019	135.8296507	154.0085478
0.24698	98.36633022	130.7034044	148.1962252
0.233	94.65439323	125.7712004	142.6039148
0.2198	91.07783839	121.0188843	137.2155678
0.2074	87.65848297	116.4754456	132.0640534
0.1956	84.32458656	112.0455598	127.0412894
0.18455	81.15206799	107.8301034	122.2616531
0.1741	78.08803326	103.7587939	117.6454559

A, Jaarlijkse stijging energieprijzen met 5%

Zonder steunmaatregelen en dicontoet van 6%

NCW (in EUR) **614.208763** **1389.7676** **1268.114612**

Met huidige steunmaatregelen en discontoet van 6%

NCW (in EUR) **2231.70876** **3176.0176** **3054.364612**

B Investering over 10 jaar zonder steunmaatregelen in de veronderstelling dat de investeringsprijzen elk jaar met 5 % dalen

NCW (in EUR) **2102.349** **3136.9392** **3372.570835**

Besparing per jaar verdisconteerd tegen 4%

Factor	System 1	System 2	System 3
0.9615	242.8454781	322.678813	365.86486
0.2455	63.24590345	84.0374432	95.284679
0.88899	233.6027504	310.39762	351.94
0.8548	229.1109053	304.429119	345.1727
0.8219	224.6986173	298.56633	338.52525
0.7903	220.3807077	292.828945	332.02
0.7599	216.1415232	287.196166	325.63335
0.73069	211.9898652	281.679687	319.37857
0.702586	207.9129776	276.262558	313.23643
0.6755	203.8954957	270.924364	307.1838

0.6495	199.9685077	265.706413	301.2675
0.62459	196.1451837	260.626204	295.50737
0.60057	192.3740233	255.615308	289.82584
0.5774	188.6512751	250.668738	284.21724
0.5552	185.0259295	245.851592	278.75539
0.5339	181.4860422	241.147998	273.42228
0.51337	177.9975263	236.512662	268.16657
0.4936	174.5656555	231.952594	262.9962
0.4746	171.2030739	227.484593	257.93022
0.4563	167.893725	223.087325	252.94444
0.4388	164.6837648	218.822118	248.10839
0.421955	161.5289898	214.630238	243.35549
0.4057	158.4125259	210.489264	238.6603
0.3901	155.367663	206.443429	234.07299
0.37511	152.3854483	202.480837	229.58006
0.360689	149.4575726	198.590448	225.169
0.468	197.8021699	262.82791	298.00375
0.3334	143.7311716	190.981542	216.54175
0.32065	140.9992447	187.351518	212.4259
0.3083	138.2799578	183.738289	208.32909

A, Jaarlijkse stijging energieprijzen met 5%

Zonder steunmaatregelen en discontovoet van 4%

NCW (in EUR) **1743.14367 2889.8301 2968.939**

Met huidige steunmaatregelen en discontovoet van 4%

NCW (in EUR) **3360.64367 4676.0801 5073.396**

**B Investering over 10 jaar zonder steunmaatregelen in de
veronderstelling dat de investeringsprijzen elk jaar met 5 %
dalen**

NCW (in EUR) **3231.28391 4637.0017 5073.396**

6,5 Scenario's: levensduur 25 jaar

6,5,1 Bijverwarming op aardgas

BTW 6% met fiscale aftrek en premie netbeheerder

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
	(in EUR)	(in EUR)	(in EUR)
Investering	3580.38	4225.92	4349.94
Premie (75 EUR/m ²)	337.5	506.25	506.25
Fiscale aftrek	1280	1280	1280
Totaal	1962.88	2439.67	2563.69
Besparing/jaar	84.9618224	112.037568	127.909557

Berekening NCW (in EUR)

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
1%	-91.7402967	27.76697133	253.3005423
2%	-304.136357	-252.315745	66.46055877

6,5,2 Bijverwarming op stookolie

BTW 6% met fiscale aftrek en premie netbeheerder

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
BTW	6%	6%	6%
	(in EUR)	(in EUR)	(in EUR)
Investering	3580.38	4225.92	4349.94
Premie (75 EUR/m ²)	337.5	506.25	506.25
Fiscale aftrek	1280	1280	1280
Totaal	1962.88	2439.67	2563.69
Besparing/jaar	108.7494	143.2812	162.8664

Berekening NCW (in EUR)

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
1%	432.140661	715.854852	1023.165587
2%	160.278036	357.6661801	616.0158738
3%	-69.2158228	55.29986372	272.3189098
4%	-263.996873	-201.331094	-19.3910992
5%	-430.176831	-420.279095	-268.267245

6,5,3 Bijverwarming op elektriciteit

BTW 6% met fiscale aftrek en premie netbeheerder

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
Elektriciteitsprijs eurocent/kWh			15.815238
BTW	6%	6%	6%
	(in EUR)	(in EUR)	(in EUR)
Investering	3708.64	4354.18	5244.58
Premie (75 EUR/m ²)	337.5	506.25	506.25
Fiscale aftrek	1280	1280	1280
Totaal	2091.14	2567.93	3458.33
Besparing/jaar	252.569383	335.59939	380.5147

Berekening NCW (in EUR)

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
1%	3471.271288	4823.07611	4921.8588
2%	2839.873088	3984.11119	3970.6102
3%	2306.87592	3275.89579	3167.6101
4%	1854.498898	2674.80371	2486.0702
5%	1468.547624	2161.97428	1904.6058
6%	1137.530191	1722.13772	1405.9032
7%	852.2025594	1343.01108	976.03581
8%	604.9876475	1014.5264	603.58805
9%	389.7480195	728.528596	279.31344
10%	201.4322877	478.305688	-4.398300
11%	35.92357113	258.387406	-253.7495
12%	-110.213074	64.2095977	-473.9153
13%	-239.806424	-107.98645	-669.1574

6,6 Scenario's : levensduur 20 jaar

6,6,1 Bijverwarming op aardgas

BTW 6% met fiscale aftrek en premie netbeheerder

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
	(in EUR)	(in EUR)	(in EUR)
Investering	3580.38	4225.92	4349.94
Premie (75 EUR/m ²)	337.5	506.25	506.25
Fiscale aftrek	1280	1280	1280
Totaal	1962.88	2439.67	2563.69
Besparing/jaar	84.9618224	112.037568	127.909557

Berekening NCW (in EUR)

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
1%	-429.684442	-417.873659	-255.472519
2%	-573.635257	-607.698911	-472.189672

6,6,2 Bijverwarming op stookolie

BTW 6% met fiscale aftrek en premie netbeheerder

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
BTW	6%	6%	6%
	(in EUR)	(in EUR)	(in EUR)
Investing	3580.38	4225.92	4349.94
Premie (75 EUR/m ²)	337.5	506.25	506.25
Fiscale aftrek	1280	1280	1280
Totaal	1962.88	2439.67	2563.69
Besparing/jaar	108.7494	143.2812	162.8664

Berekening NCW (in EUR)

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
1%	-0.42095242	145.9395508	375.3481945
2%	-184.675060	-96.8217863	99.40365296
3%	-344.971676	-308.018275	-140.6614206
4%	-484.943029	-492.435508	-350.2867641
5%	-607.623227	-654.071029	-534.0163499

6,6,3 Bijverwarming op elektriciteit

BTW 6% met fiscale aftrek en premie netbeheerder

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
Elektriciteitsprijs eurocent/kWh			15.815238
BTW	6%	6%	6%
	(in EUR)	(in EUR)	(in EUR)
Investering	3708.64	4354.18	5244.58
Premie (75 EUR/m ²)	337.5	506.25	506.25
Fiscale aftrek	1280	1280	1280
Totaal	2091.14	2567.93	3458.33
Besparing/jaar	252.569383	335.59939	380.5147

Berekening NCW (in EUR)

	Systeem 1	Systeem 2	Systeem 3
1%	2466.651311	3488.19596	3408.3237
2%	2038.723006	2919.58991	2763.6176
3%	1666.435736	2424.91641	2202.739
4%	1341.353683	1992.96643	1712.9786
5%	1056.430162	1614.37675	1283.72
6%	805.8055638	1281.36148	906.13526
7%	584.5800414	987.409967	572.84246
8%	388.6114573	727.018398	277.60112
9%	214.4396109	495.589057	15.198205
10%	59.13469741	289.228991	-218.7802
11%	-79.8542339	104.548645	-428.1774
12%	-204.598252	-61.203895	-616.1136
13%	-316.8906	-210.41138	-785.2905

Bijlage 7: Investeringsanalyse isolatie

7,1 Muurisolatie

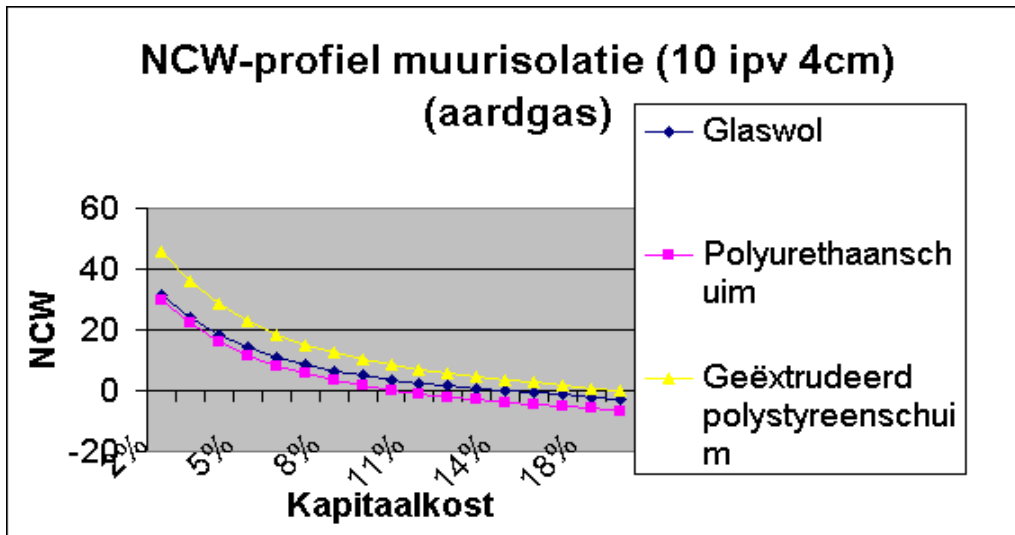
7,1,1 Besparing aardgas door muurisolatie

A) Berekening NCW per m² isolatie van 10 cm in plaats van 4 cm

Levensduur 50 jaar

	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuim</u>	<u>Glaswol</u>
Extra investeringskost/m ² (CASAS, maart 2006)	9.21	13.63	8.86
Besparing aan aardgaskosten (EUR/m²)			
	1.28620813	1.385443442	1.733561914

Kapitaalkost	NCW (in EUR)		
	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuim</u>	<u>Glaswol</u>
2%	31.20728979	29.90562053	45.61475616
3%	23.88387794	22.01718266	35.74420133
4%	18.42058029	16.1323731	28.38072375
5%	14.270887	11.66251692	22.78773295
6%	11.06308392	8.207220981	18.46422953
7%	8.54057254	5.490089303	15.06436791
8%	6.524827158	3.318822342	12.34752967
9%	4.889027659	1.556815373	10.14278563
10%	3.542496367	0.106394634	8.327919665
11%	2.419508049	-1.103236035	6.814346758
12%	1.471315416	-2.12458494	5.536364915
13%	0.632064611	-3.028586786	4.405215766
14%	-0.035863271	-3.748047565	3.504977064
15%	-0.64321075	-4.402253958	2.686389128
16%	-1.175958158	-4.976104631	1.968347783
18%	-2.066271425	-5.935108582	0.768376227
20%	-2.779602454	-6.703475514	-0.193057211



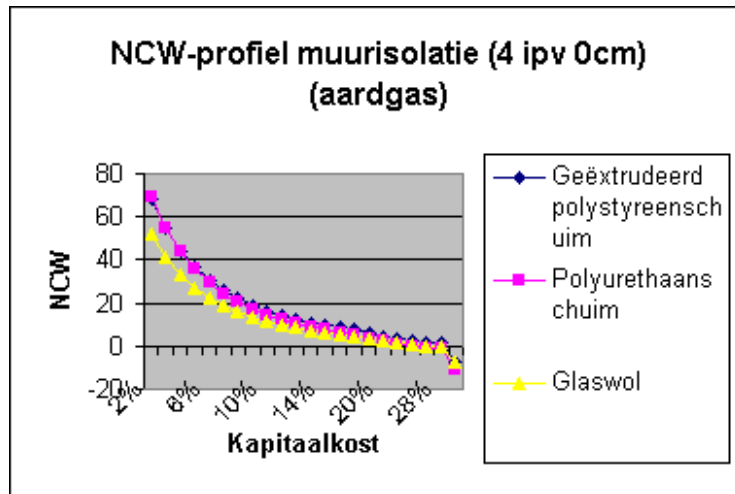
IOV (%)	13.6	10.2	19.1
TVT (jaar)	7.1606	9.838	5.1109

B) Berekening NCW per m² isolatie van 4 cm in plaats van 0 cm

Levensduur 50 jaar

	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuurim</u>	<u>Glaswol</u>
Extra investeringskost/m ² (CASAS, maart 2006)	7.34	10.56	7.39
Besparing aan aardgaskosten (EUR/m²)	2.4	2.54	1.9

Kapitaalkost	NCW (in EUR)	NCW (in EUR)	NCW (in EUR)
	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuurim</u>	<u>Glaswol</u>
2%	68.07664	69.255944	52.31484
3%	54.41152	54.793692	41.49662
4%	44.21728	44.004788	33.42618
5%	36.47416	35.809986	27.29621
6%	30.48856	29.475226	22.55761
7%	25.78168	24.493778	18.83133
8%	22.0204	20.51309	15.85365
9%	18.96808	17.282718	13.43723
10%	16.45552	14.623592	11.44812
11%	14.36008	12.405918	9.78923
12%	12.5908	10.53343	8.38855
13%	11.0248	8.87608	7.1488
14%	9.77848	7.557058	6.16213
15%	8.6452	6.35767	5.26495
16%	7.65112	5.305602	4.47797
18%	5.98984	3.547414	3.16279
20%	4.6588	2.13873	2.10905
22%	3.56848	0.984808	1.24588
24%	2.65984	0.023164	0.52654
26%	1.89064	-0.790906	-0.08241
28%	1.23136	-1.488644	-0.60434
30%	-7.34	-10.56	-7.39



IOV (%)
TVT (jaar)

29
3.06

25
4.16

25
3.89

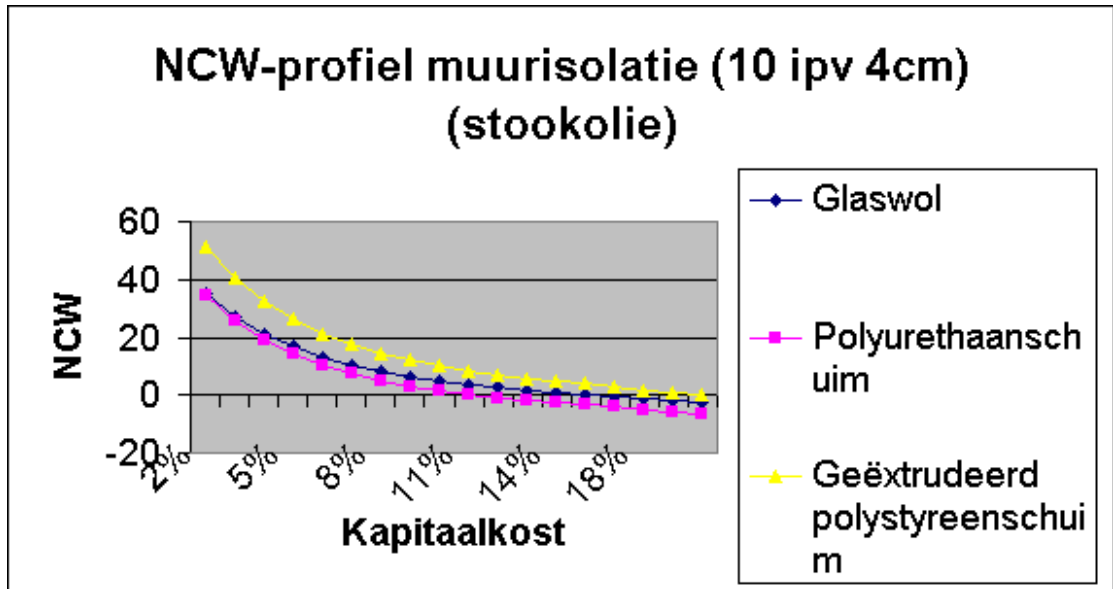
7,1,2 Besparing stookolie door muurisolatie

A) Berekening NCW per m² isolatie van 10 cm in plaats van 4 cm

Levensduur 50 jaar

	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuim</u>	<u>Glaswol</u>
Extra investeringskost/m ² (CASAS, maart 2006)	9.21	13.63	8.86
Besparing aan stookoliekosten(EUR/m²)			
	1.420048683	1.529610217	1.913953314

Kapitaalkost	NCW(in EUR)		
	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuim</u>	<u>Glaswol</u>
2%	35.4130418	34.43585961	51.28330336
3%	27.3275686	25.72656496	40.38563598
4%	21.29576982	19.2293926	32.25592788
5%	16.71426675	14.29441116	26.08094031
6%	13.17266534	10.47956328	21.30754074
7%	10.38766586	7.479691722	17.5538955
8%	8.162165563	5.08248659	14.55434787
9%	6.356147648	3.137128316	12.12018204
10%	4.869498682	1.53577938	10.11646432
11%	3.629654177	0.200276699	8.445391679
12%	2.582794288	-0.927351953	7.034425296
13%	1.656212522	-1.92542262	5.785570759
14%	0.918781241	-2.719749205	4.791654803
15%	0.248234253	-3.44203115	3.887886048
16%	-0.339949911	-4.075595702	3.095126585
18%	-1.32290761	-5.134391894	1.770288101
20%	-2.110466609	-5.98271372	0.708809593
22%	-2.755594726	-6.677615642	-0.160699397



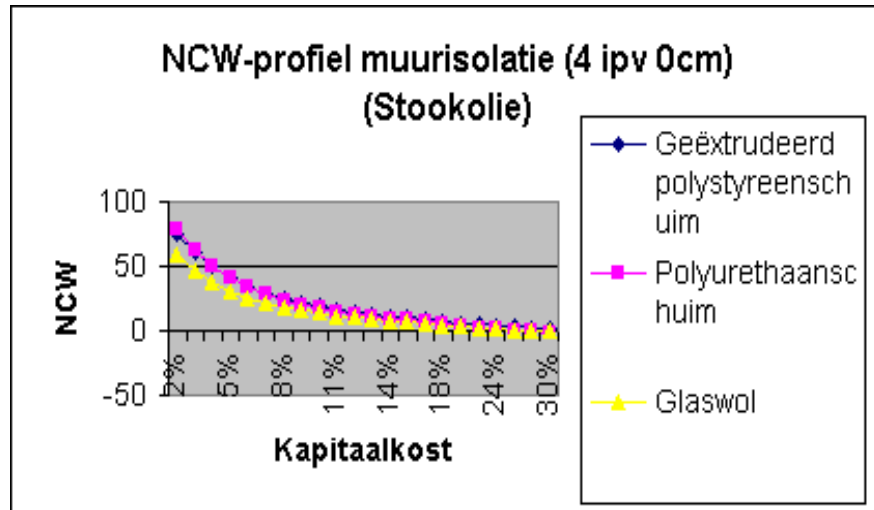
IOV (%)	15.5	11.5	21
TVT (jaar)	6.4857	8.9108	4.6292

B) Berekening NCW per m² isolatie van 4 cm in plaats van 0 cm

Levensduur 50 jaar

	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuim</u>	<u>Glaswol</u>
Extra investeringskost/m ² (CASAS, maart 2006)	7.34	10.56	7.39
Besparing aan stookoliekosten(EUR/m²)			
	2.64	2.81	2.1

Kapitaalkost	NCW(in EUR)	NCW(in EUR)	NCW(in EUR)
	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuim</u>	<u>Glaswol</u>
2%	75.618304	77.740316	58.59956
3%	60.586672	61.740738	46.64258
4%	49.373008	49.804982	37.72262
5%	40.855576	40.739079	30.94739
6%	34.271416	33.730939	25.70999
7%	29.093848	28.219967	21.59147
8%	24.95644	23.816135	18.30035
9%	21.598888	20.242377	15.62957
10%	18.835072	17.300588	13.43108
11%	16.530088	14.847177	11.59757
12%	14.58388	12.775645	10.04945
13%	12.86128	10.94212	8.6792
14%	11.490328	9.482887	7.58867
15%	10.24372	8.156005	6.59705
16%	9.150232	6.992103	5.72723
18%	7.322824	5.047021	4.27361
20%	5.85868	3.488595	3.10895
22%	4.659328	2.212012	2.15492
24%	3.6599824	1.1483146	1.359986
26%	2.813704	0.247541	0.68681
28%	2.088496	-0.524366	0.10994
30%	1.459912	-1.193427	-0.39007
32%	0.91	-1.77875	-0.8275
34%	0.424768	-2.295228	-1.21348
36%	-0.006608	-2.754382	-1.55662



IOV (%)
TVT (jaar)

35
2.78

27
3.76

29
3.52

7,2 Dakisolatie

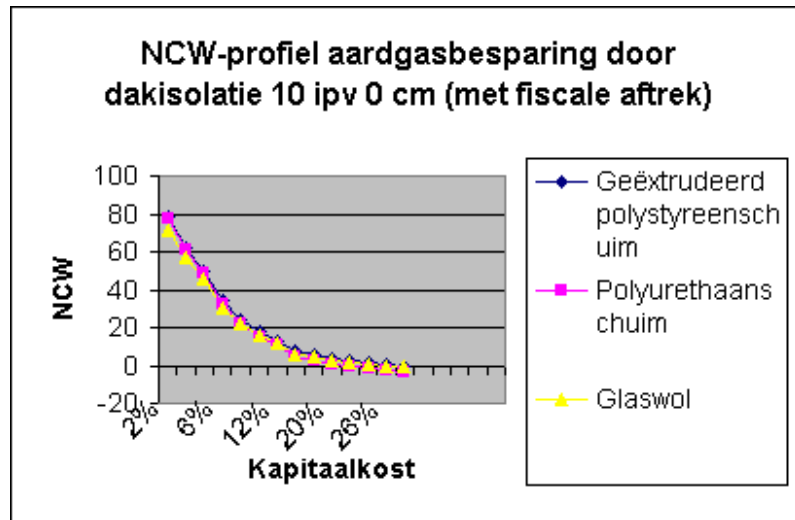
7,2,1 Besparing aardgas door dakisolatie van 10 cm ipv 0cm

A) Berekening NCW per m² isolatie met fiscale aftrek

Levensduur 50 jaar, fiscale aftrek 40% factuurbedrag, maximaal 1280 EUR

	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuim</u>	<u>Glaswol</u>
Extra investeringskost/m ² (CASAS, maart 2006)			
	17.24	22.86	16.78
Fiscale aftrek	6.896	9.144	6.712
Na fiscale aftrek			
	10.344	13.716	10.068
Besparing aan aardgaskosten(EUR/m²)			
	2.82	2.89	2.59

	NCW(in EUR)	NCW(in EUR)	NCW(in EUR)
Kapitaalkost	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuim</u>	<u>Glaswol</u>
2%	78.270552	77.098204	71.319124
3%	62.214036	60.643122	56.572182
4%	50.235804	48.367558	45.570898
6%	34.104558	31.835891	30.755321
8%	24.15447	21.638815	21.616765
10%	17.615736	14.937772	15.611332
12%	13.07469	10.284005	11.440655
16%	7.270566	4.335807	6.109917
18%	5.318562	2.335349	4.317119
20%	3.75459	0.732555	2.880705
22%	2.473464	-0.580372	1.704068
24%	1.405812	-1.674526	0.723494
26%	0.502002	-2.600771	-0.106601
28%	-0.272652	-3.394654	-0.818074



IOV (%)
TVT (jaar)

27
3.66

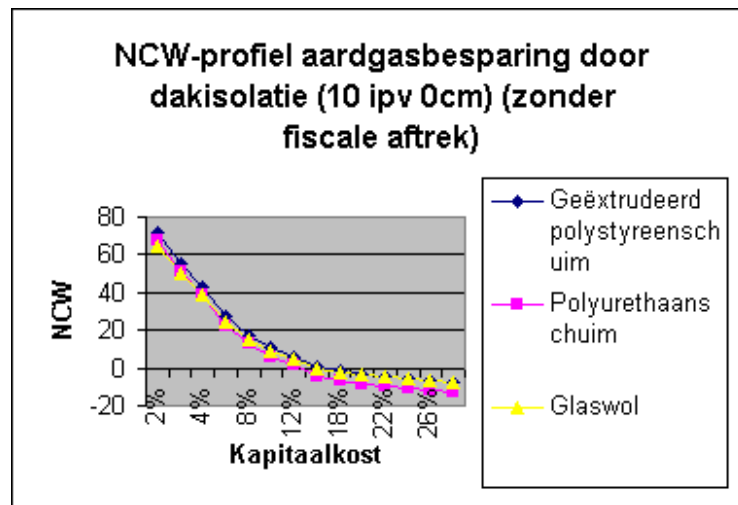
21
4.75

25
3.88

B) Berekening NCW per m² isolatie zonder fiscale aftrek

Levensduur 50 jaar, fiscale aftrek 40% factuurbedrag, maximaal 1280 EUR

	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuim</u>	<u>Glaswol</u>
Extra investeringskost/m ² (CASAS, maart 2006):			
	17.24	22.86	16.78
Besparing aan aardgaskosten (EUR/m²)			
	2.82	2.89	2.59
	NCW (in EUR)	NCW (in EUR)	NCW (in EUR)
Kapitaalkost	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuim</u>	<u>Glaswol</u>
2%	71.374552	67.954204	64.60712
3%	55.318036	51.499122	49.86018
4%	43.339804	39.223558	38.8589
6%	27.208558	22.691891	24.04332
8%	17.25847	12.494815	14.90477
10%	10.719736	5.793772	8.899332
12%	6.17869	1.140005	4.728655
16%	0.374566	-4.808193	-0.60208
18%	-1.577438	-6.808651	-2.39488
20%	-3.14141	-8.411445	-3.8313
22%	-4.422536	-9.724372	-5.00793
24%	-5.490188	-10.818526	-5.98851
26%	-6.393998	-11.744771	-6.8186
28%	-7.168652	-12.538654	-7.53007



IOV (%)	17	13	15
TVT (jaar)	6.11	7.91	6.48

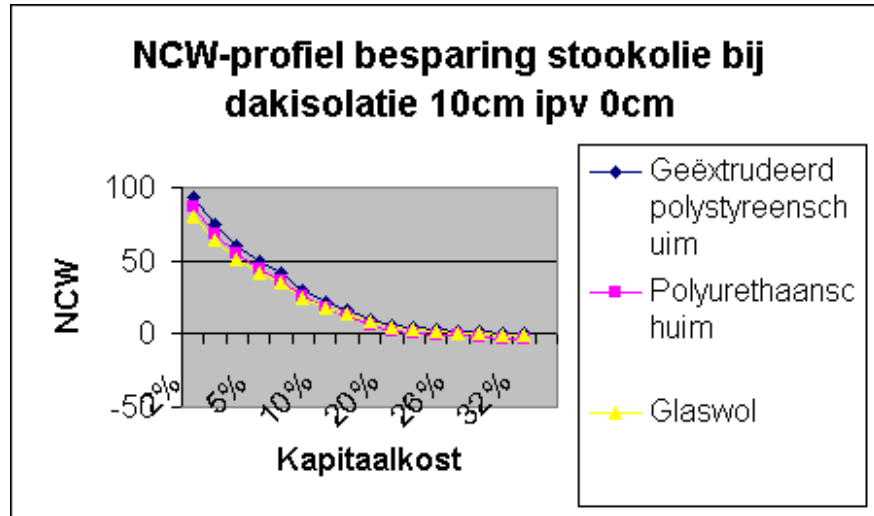
7,2,2 Besparing stookolie door dakisolatie van 10 cm ipv 0cm

A) Berekening NCW per m² isolatie met fiscale aftrek

Levensduur 50 jaar, fiscale aftrek 40% factuurbedrag, maximaal 1280 EUR

	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuim</u>	<u>Glaswol</u>
Extra investeringskost/m ² (CASAS, maart 2006)			
	17.24	22.86	16.78
Na fiscale aftrek			
	10.344	13.716	10.068
Besparing aan stookoliekosten(EUR/m²)			
	3.29	3.19	2.86

Kapitaalkost	NCW(in EUR)		NCW(in EUR)
	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuim</u>	<u>Glaswol</u>
2%	93.039644	86.525284	79.803496
3%	74.307042	68.362062	63.519228
4%	60.332438	54.812218	51.371092
5%	49.717911	44.520321	42.143874
6%	41.512651	36.564461	35.011034
8%	29.904215	25.308865	24.91981
10%	22.275692	17.912212	18.288328
12%	16.977805	12.775355	13.68287
16%	10.206327	6.209697	7.796418
20%	6.104355	2.232405	4.23057
22%	4.609708	0.783188	2.931272
24%	3.364114	-0.424546	1.848476
26%	2.309669	-1.446941	0.931846
28%	1.405906	-2.323234	0.146204
30%	0.622557	-3.082773	-0.534762
32%	-0.06275	-3.74725	-1.1305



IOV (%)
TVT (jaar)

31
3.14

23
4.3

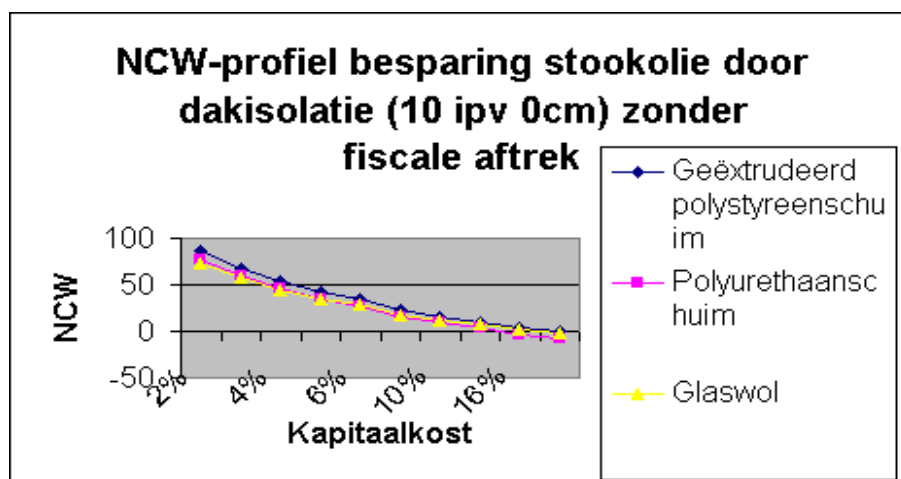
29
3.52

B) Berekening NCW per m² isolatie zonder steunmaatregelen

Levensduur 50 jaar, fiscale aftrek 40% factuurbedrag, maximaal 1280 EUR

	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuim</u>	<u>Glaswol</u>
Extra investeringskost/m ² (CASAS, maart 2006)			
	17.24	22.86	16.78
Besparing aan stookoliekosten(EUR/m²)			
	3.29	3.19	2.86

Kapitaalkost	<u>NCW(in EUR)</u> <u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>NCW(in EUR)</u> <u>Polyurethaanschuim</u>	<u>NCW(in EUR)</u> <u>Glaswol</u>
2%	86.143644	77.381284	73.0915
3%	67.411042	59.218062	56.80723
4%	53.436438	45.668218	44.65909
5%	42.821911	35.376321	35.43187
6%	34.616651	27.420461	28.29903
8%	23.008215	16.164865	18.20781
10%	15.379692	8.768212	11.57633
12%	10.081805	3.631355	6.97087
16%	3.310327	-2.934303	1.084418
20%	-0.791645	-6.911595	-2.48143



IOV (%)	18	14	18
TVT (jaar)	5.24	7.17	5.87

7,2,3 Besparing aardgas door dakisolatie van 20 cm ipv 10 cm

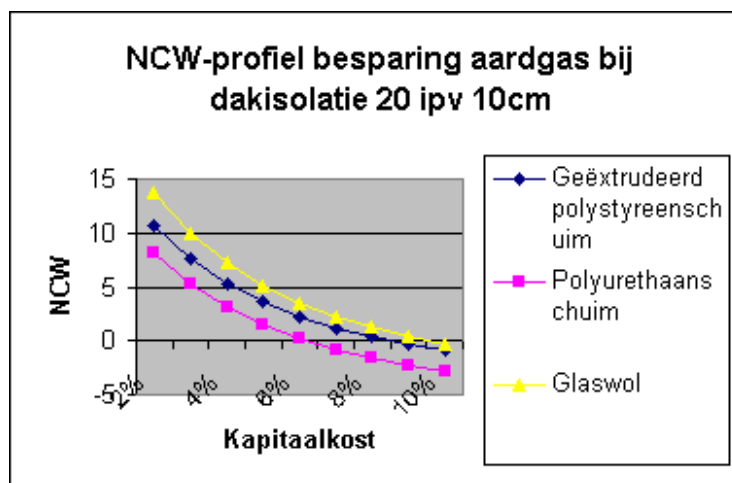
A) Berekening NCW per m² isolatie met fiscale aftrek

Levensduur 50 jaar

Fiscale aftrek 40% factuurbedrag, maximaal 1280 EUR

	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschium</u>	<u>Glaswol</u>
Extra investeringskost/m ² (CASAS, maart 2006)			
	10.344	12.916	11.068
Na fiscale aftrek			
	6.2064	7.7496	6.6408
Besparing aan aardgaskosten (EUR/m²)			
	0.537647406	0.503638715	0.645886995

	<u>NCW(in EUR)</u>	<u>NCW(in EUR)</u>	<u>NCW(in EUR)</u>
Kapitaalkost	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschium</u>	<u>Glaswol</u>
2%	10.68841703	8.076541525	13.65529458
3%	7.627160227	5.208923409	9.977743204
4%	5.343449105	3.069667603	7.234273604
5%	3.608837279	1.444778017	5.150448392
6%	2.267944649	0.188703062	3.539606226
7%	1.213510556	-0.799033186	2.272892652
8%	0.370909541	-1.58833578	1.260658553
9%	-0.31287043	-2.228863498	0.439219473
10%	-0.875733499	-2.756122869	-0.236959622



IOV (%)	8.6	6.2	9.6
TVT (jaar)	11.5436	15.3872	10.2817

B) Berekening NCW per m² isolatie zonder fiscale aftrek

Levensduur 50 jaar

Fiscale aftrek 40% factuurbedrag, maximaal 1280

EUR

Geëxtrudeerd polystyreenschuim Polyurethaanschium Glaswol

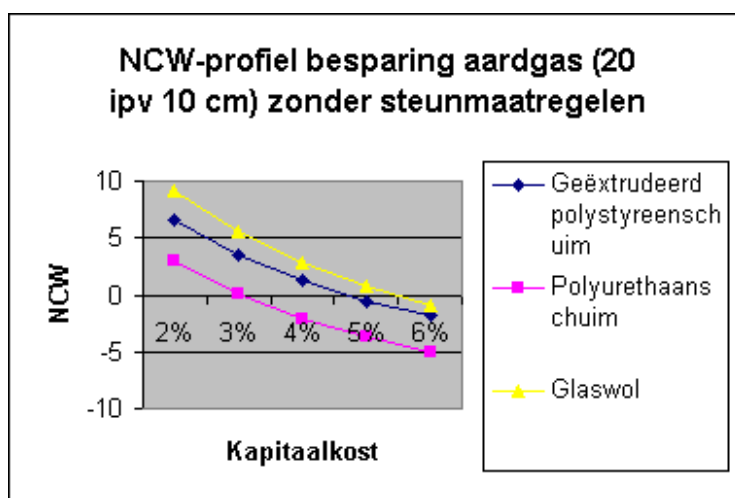
Extra investeringskost/m² (CASAS, maart 2006)

10.344 12.916 11.068

Besparing aan aardgaskosten(EUR/m²)

0.537647406 0.503638715 0.645887

Kapitaalkost	NCW(in EUR)		
	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschium</u>	<u>Glaswol</u>
2%	6.550817027	2.910141525	9.228095
3%	3.489560227	0.042523409	5.550543
4%	1.205849105	-2.096732397	2.807074
5%	-0.528762721	-3.721621983	0.723248
6%	-1.869655351	-4.977696938	-0.88759



IOV (%)	3.6	3.2	5.5
TVT (jaar)	19.24	25.65	17.14

7,2,4 Besparing stookolie door dakisolatie van 20 cm ipv 10 cm

A) Berekening NCW per m² isolatie met fiscale aftrek

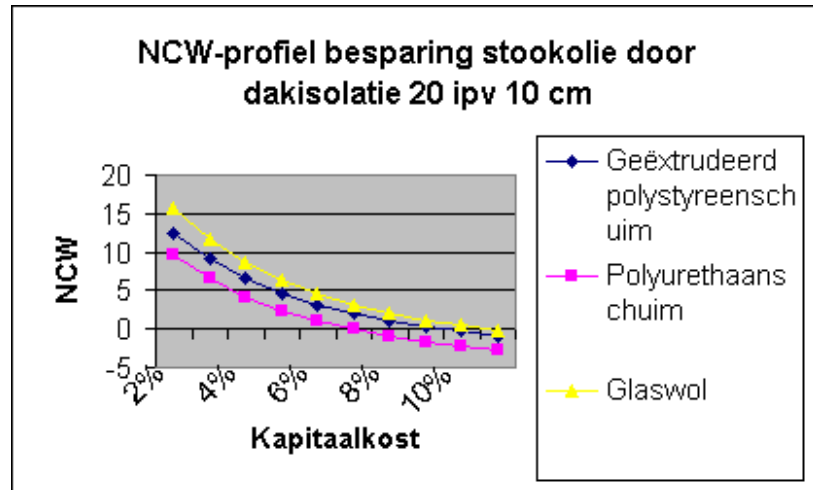
Berekening NCW per m² isolatie van 20 cm in plaats van 10 cm

Levensduur 50 jaar

Fiscale aftrek 40% factuurbedrag, maximaal 1280 EUR

	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuim</u>	<u>Glaswol</u>
Extra investeringskost/m ² (CASAS, maart 2006)	10.344	12.916	11.068
Na fiscale aftrek	6.2064	7.7496	6.6408
Besparing aan stookoliekosten(EUR/m²)	0.593594048	0.55646473	0.713097043

Kapitaalkost	NCW(in EUR)		
	<u>Geëxtrudeerd polystyreenschuim</u>	<u>Polyurethaanschuim</u>	<u>Glaswol</u>
2%	12.44646193	9.73652509	15.76727624
3%	9.066656136	6.56812621	11.7070443
4%	6.545306058	4.204486623	8.678093297
5%	4.630193581	2.409164464	6.377428307
6%	3.149770025	1.021341428	4.598964282
7%	1.985613378	-0.069997201	3.200438361
8%	1.055332786	-0.942088726	2.082872676
9%	0.300399876	-1.649800569	1.175955856
10%	-0.321033733	-2.232363495	0.429414562
11%	-0.839300696	-2.718212851	-0.193190466



IOV (%)
TVT (jaar)

9.5
10.4556

6.8
13.9265

10.7
9.3126

7,3 Vloerisolatie

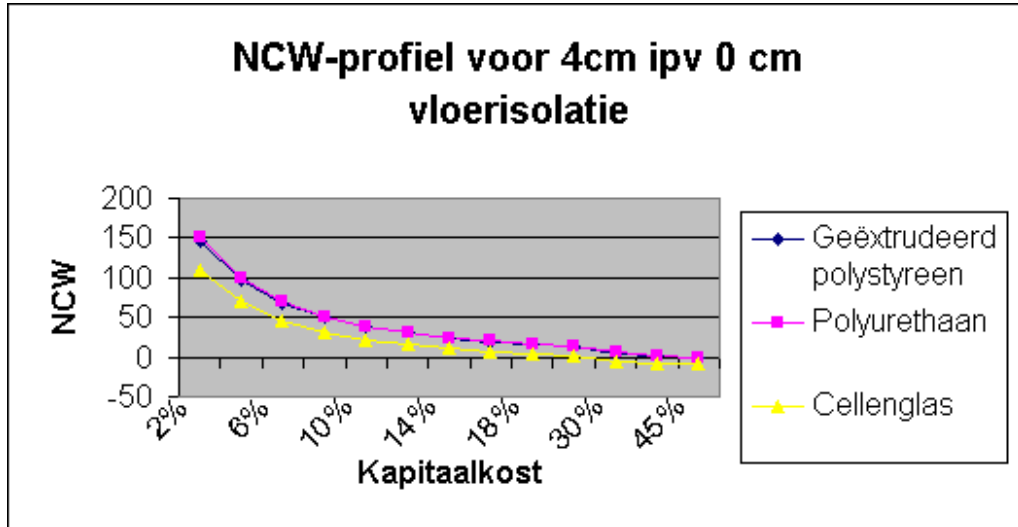
7,3,1 Besparing op aardgas door vloerisolatie van 4 cm ipv 0 cm

Berekening NCW per m² isolatie van 4 cm in plaats van 0 cm

Levensduur 50 jaar

	<u>Geëxtrudeerd polystyreen</u>	<u>Polyurethaan</u>	<u>Cellenglas</u>
Extra investeringskost/m ² in EUR (CASAS, maart 2006)	12	11.995	18.3075
Besparing aardgas (EUR/m²)	5.023	5.1491	4.094

	<u>NCW (in EUR)</u> <u>Geëxtrudeerd polystyreen</u>	<u>NCW (in EUR)</u> <u>Polyurethaan</u>	<u>NCW (in EUR)</u> <u>Cellenglas</u>
Kapitaalkost			
2%	145.8407428	149.8082588	110.3407184
4%	95.9050906	98.61899602	69.6406268
6%	67.1720237	69.16459929	46.2217186
8%	49.4488705	50.99651485	31.776449
10%	37.8020404	39.05729668	22.2836912
12%	29.7135035	30.76570095	15.691123
14%	23.8275521	24.73198557	10.8937738
16%	19.3751649	20.16782333	7.2648522
18%	15.8982443	16.60361631	4.4309854
20%	13.1124885	13.74792545	2.160453
30%	4.7431659	5.16849503	-4.6609698
40%	0.5575	0.87775	-8.0725
45%	-0.8378894	-0.55266998	-9.2098132



IOV (%)
TVT (jaar)

42
2.39

43
2.33

24
4.47

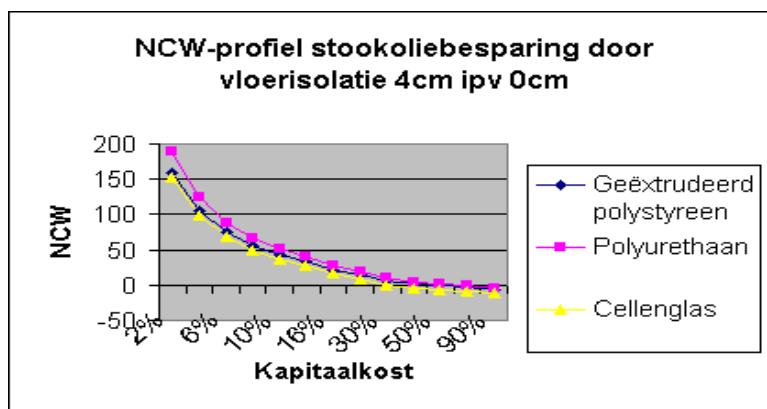
7,3,2 Besparing op stookolie door vloerisolatie van 4 cm ipv 0 cm

Berekening NCW per m² isolatie van 4 cm in plaats van 0 cm

Levensduur 50 jaar

	<u>Geëxtrudeerd polystyreen</u>	<u>Polyurethaan</u>	<u>Cellenglas</u>
Extra investeringskost/m ² in EUR (CASAS, maart 2006)	12	11.995	18.3075
Besparing stookolie (EUR/m²)	5.463	6.3807	5.4632

Kapitaalkost	NCW(in EUR)		NCW(in EUR)		NCW(in EUR)	
	<u>Geëxtrudeerd polystyreen</u>	<u>Polyurethaan</u>	<u>Polyurethaan</u>	<u>Cellenglas</u>	<u>Cellenglas</u>	<u>Cellenglas</u>
2%	159.6671268	188.5095645	188.5095645	153.3659115	153.3659115	153.3659115
4%	105.3572586	125.0764735	125.0764735	99.05405504	99.05405504	99.05405504
6%	74.1072597	88.57695533	88.57695533	67.80291208	67.80291208	67.80291208
8%	54.8316105	66.06329345	66.06329345	48.5265572	48.5265572	48.5265572
10%	42.1645524	51.26836436	51.26836436	35.85903536	35.85903536	35.85903536
12%	33.3674835	40.99352315	40.99352315	27.0616444	27.0616444	27.0616444
16%	22.1235369	27.86076641	27.86076641	15.81728616	15.81728616	15.81728616
20%	15.3122685	19.90530965	19.90530965	9.0057684	9.0057684	9.0057684
30%	6.2098179	9.27378731	9.27378731	-0.09701544	-0.09701544	-0.09701544
40%	1.6575	3.95675	3.95675	-4.6495	-4.6495	-4.6495
50%	-1.074	0.7664	0.7664	-7.3811	-7.3811	-7.3811
60%	-2.8948179	-1.36028731	-1.36028731	-9.20198456	-9.20198456	-9.20198456
90%	-5.93	-4.905333333	-4.905333333	-12.23727778	-12.23727778	-12.23727778



IOV (%)	46	53	29
TVT (jaar)	2.2	1.88	3.35

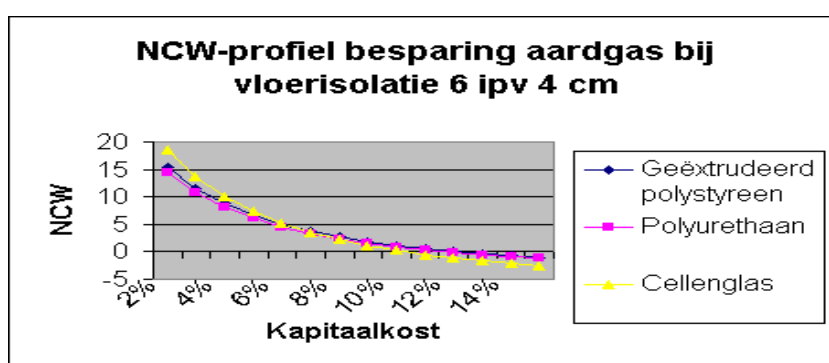
7,3,3 Besparing op aardgas door vloerisolatie van 6 cm ipv 4 cm

Berekening NCW per m² isolatie van 4 cm in plaats van 0 cm

Levensduur 50 jaar

	<u>Geëxtrudeerd polystyreen</u>	<u>Polyurethaan</u>	<u>Cellenglas</u>
Extra investeringskost/m ² in EUR (CASAS, maart 2006)	5.4	5.39775	8.238375
Besparing aardgas (EUR/m²)	0.6582	0.6302	0.8543

Kapitaalkost	NCW(in EUR)		
	<u>Geëxtrudeerd polystyreen</u>	<u>Polyurethaan</u>	<u>Cellenglas</u>
2%	15.28301352	14.40540272	18.60680648
3%	11.53535436	10.81716996	13.74259314
4%	8.73958404	8.14033244	10.11386846
5%	6.61603338	6.10711818	7.35764037
6%	4.97448258	4.53539938	5.22701617
7%	3.68362074	3.29945114	3.55156301
8%	2.6520897	2.3118017	2.21270405
9%	1.81499094	1.51031334	1.12620531
10%	1.12592136	0.85055696	0.23183864
11%	0.55124694	0.30032934	-0.51405069
12%	0.0660219	-0.1642541	-1.14384065
13%	-0.34818336	-0.56083896	-1.68145164
14%	-0.70525686	-0.90272246	-2.14490939
15%	-1.0160589	-1.2003029	-2.54830985



IOV (%)	12.2	11.7	10.4
TVT (jaar)	8.2	10.15	9.64

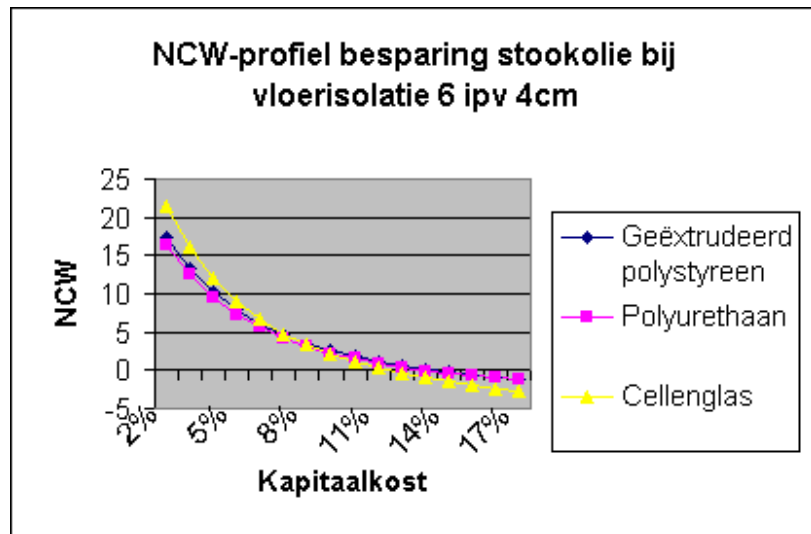
7,3,4 Besparing op stookolie door vloerisolatie van 6 cm ipv 4 cm

Berekening NCW per m² isolatie van 4 cm in plaats van 0 cm

Levensduur 50 jaar

	<u>Geëxtrudeerd polystyreen</u>	<u>Polyurethaan</u>	<u>Cellenglas</u>
Extra investeringskost/m ² in EUR (CASAS, maart 2006)	5.4	5.39775	8.238375
Besparing stookolie (EUR/m²)	0.7267	0.6958	0.9432

Kapitaalkost	NCW(in EUR)	NCW(in EUR)	NCW(in EUR)
	<u>Geëxtrudeerd polystyreen</u>	<u>Polyurethaan</u>	<u>Cellenglas</u>
2%	17.43553012	16.46679088	21.40036452
3%	13.29784566	12.50504484	16.02997236
4%	10.21111474	9.54956476	12.02363604
5%	7.86656253	7.30470522	8.98058988
6%	6.05417273	5.56938002	6.62824908
7%	4.62896869	4.20477706	4.77844524
8%	3.49008445	3.1143193	3.3002622
9%	2.56586739	2.22940086	2.10070044
10%	1.80508516	1.50096784	1.11326436
11%	1.17060339	0.89346486	0.28975644
12%	0.63488015	0.3805211	-0.4055706
13%	0.17756784	-0.05734584	-0.99912636
14%	-0.21666691	-0.43481734	-1.51081236
15%	-0.55981465	-0.7633741	-1.9561914
16%	-0.86081379	-1.05157446	-2.34686484
17%	-1.126959881	-1.306403757	-2.692301736



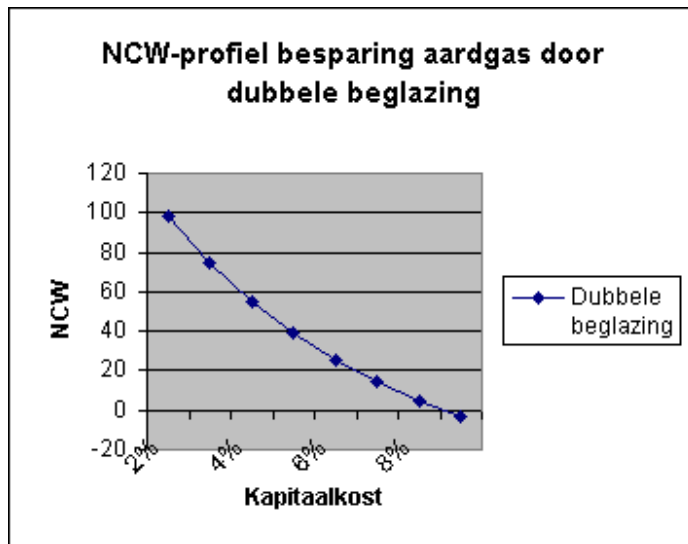
IOV (%)	13.4	12.4	11.3
TVT (jaar)	7.43	7.76	8.73

Bijlage 8: Investeringsanalyse dubbel en hoogrendementsglas

1 Dubbele beglazing ten opzichte van enkele beglazing

Kostprijs/m ² in EUR	90
Jaarlijkse aardgasbesparing in m ³	18
Jaarlijkse besparing in EUR/m ²	8.40282
Levensduur 30 jaar	

Kapitaalkost	NCW (in EUR)
2%	98.1933
3%	74.6989
4%	55.3018
5%	39.1719
6%	25.6634
7%	14.2709
8%	4.5971
9%	-3.6724



IOV (%)	8.5
TVT (Jaar)	10.71

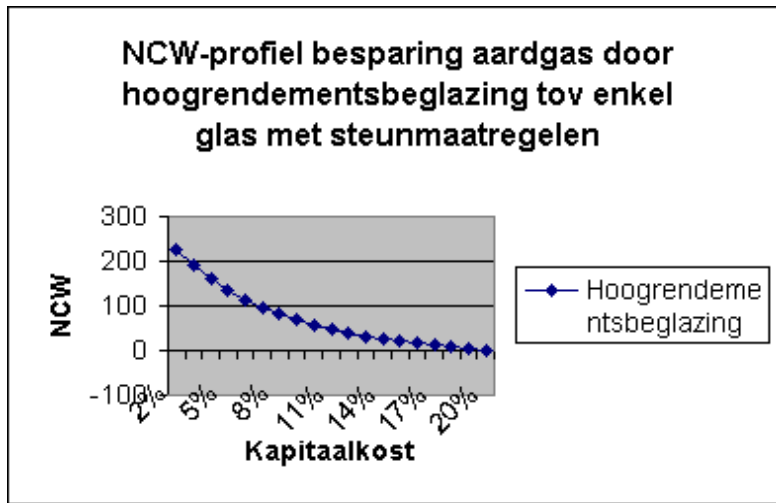
2 Hoogrendementsglas ten opzichte van enkele beglazing

2,1 Met steunmaatregelen

Kostprijs/m ² in EUR	110
40% fiscale aftrek in EUR	-44
TOTAAL in EUR	66
Jaarlijkse aardgasbesparing in m ³	28
Jaarlijkse besparing in EUR/m ²	13.071

Levensduur 30 jaar

Kaptitaalkost	NCW (in EUR)
2%	226.745
3%	190.198
4%	160.025
5%	134.934
6%	113.921
7%	96.1992
8%	81.151
9%	68.2874
10%	57.2197
11%	47.637
12%	39.2897
13%	31.9761
14%	25.7572
15%	22.5936
16%	17.2103
17%	14.7425
18%	10.1962
19%	2.42247
20%	-0.9201



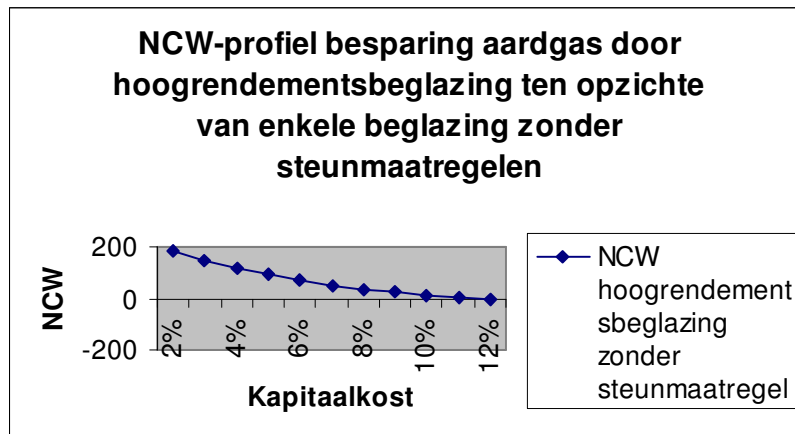
IOV (%)	19.50%
TVT (Jaar)	5.05

2,2 Zonder steunmaatregelen

Kostprijs/m ² in EUR	110
Jaarlijkse aardgasbesparing in m ³	28
Jaarlijkse besparing in EUR/m ²	13.071

Levensduur 30 jaar

Kapitaalkost	NCW (in EUR)
2%	182.745
3%	146.198
4%	116.025
5%	90.9341
6%	69.9208
7%	52.1992
8%	37.151
9%	24.2874
10%	13.2197
11%	3.63699
12%	-4.7103



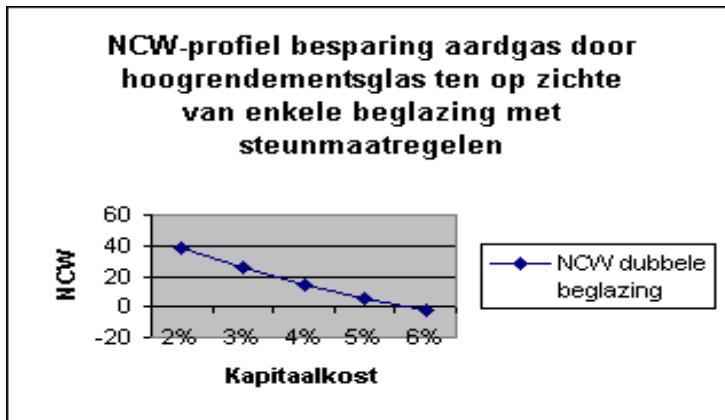
IOV (%)	11.5
TVT (Jaar)	8.42

3 Hoogrendementsglas ter vervanging van dubbele beglazing 3,1 Met steunmaatregelen

Kostprijs/m ² in EUR	110
40% fiscale aftrek in EUR	-44
TOTAAL in EUR	66
Jaarlijkse aardgasbesparing in m ³	10
Jaarlijkse besparing in EUR/m ²	4.66823

Levensduur 30 jaar

Kaptitaalkost	NCW (in EUR)
2%	38.5519
3%	25.4994
4%	14.7232
5%	5.76217
6%	-1.7426



IOV (%)	5.7
TVT (Jaar)	14.14

3,2 Zonder steunmaatregelen

Kostprijs/m ² in EUR	110
Jaarlijkse aardgasbesparing in m ³	10
Jaarlijkse besparing in EUR/m ²	4.66823

Levensduur 30 jaar

Kaptitaalkost	NCW (in EUR)
2%	-5.4481
3%	-18.501

Auteursrechterlijke overeenkomst

Opdat de Universiteit Hasselt uw eindverhandeling wereldwijd kan reproduceren, vertalen en distribueren is uw akkoord voor deze overeenkomst noodzakelijk. Gelieve de tijd te nemen om deze overeenkomst door te nemen en uw akkoord te verlenen.

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

Energiezuinig wonen : een economische en ecologische analyse

Richting: **Handelsingenieur**

Jaar: **2006**

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

Deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt houdt in dat ik/wij als auteur de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij kan reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

U bevestigt dat de eindverhandeling uw origineel werk is, en dat u het recht heeft om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. U verklaart tevens dat de eindverhandeling, naar uw weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

U verklaart tevens dat u voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen hebt verkregen zodat u 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 u als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze licentie

Ik ga akkoord,

Annelies RENDERS

Datum: