

Energiezuinig wonen : economische, ecologische en technologische analyse

Mogelijke bijdrage om de Kyoto-norm te halen tegen 2012

Griet TIMMERMANS

promotor :
Prof.dr.ir Frans LEMEIRE

Voorwoord

In het kader van mijn diploma Handelsingenieur, major Technologie heb ik gekozen voor energiezuinig wonen als thema van mijn eindverhandeling. De nodige bijkomende informatie heb ik gekregen van Inge Essers (Provincie Noord-Brabant, Nederland) en Eloi Glorieux (Groen!). Ik zou hen dan ook graag willen bedanken, omdat zij tijd vrij wilden maken om over dit onderwerp te praten.

Graag zou ik ook mijn promotor, Professor dr. ir. Frans Lemeire, willen bedanken voor zijn professionele steun en raad tijdens de verwezenlijking van deze belangrijke opdracht.

Ook zou ik zeker mijn ouders, Frans en Gilberte, willen bedanken voor hun financiële en morele steun gedurende de jaren van mijn studie. Tot slot wil ik mijn zus Leen en vriend Guus niet vergeten te bedanken voor de morele steun tijdens het volbrengen van dit eindwerk.

Samenvatting

Energiezuinig wonen geraakt moeilijk ingeburgerd in Vlaanderen. De grootste energieverbruikers zijn het transport en de huishoudens, die samen ongeveer de helft van alle energieverbruik voor hun rekening nemen. De huishoudens kunnen echter door rationeler om te gaan met energie hun energieverbruik drastisch verminderen en tegelijkertijd ook een vermindering van de uitstoot van broeikasgassen tweegbrengen. In deze eindverhandeling wordt er onderzocht hoe gezinnen, door hun manier van bouwen en wonen, kunnen bijdragen tot een dalende energiebehoefte en het behalen van de Kyoto-norm.

Met zijn allen gebruiken wij steeds meer energie. Een groot deel daarvan bestaat uit aardolie, steenkool en aardgas. De voorraden van deze zogenaamde fossiele brandstoffen zijn echter niet onuitputtelijk. Het is dus zeer belangrijk om in de eerste plaats de energievraag te beperken. Dit kan onder meer door het energiezuinig wonen. De huizen in België zijn geïsoleerd op het niveau van landen rond de Middellandse Zee, zodat er heel veel warmte verloren gaat via vloeren, buitenmuren, daken, ramen en deuren. Door middel van de energieprestatieregelgeving is er op dit vlak nu wel een eerste stap gezet naar verbetering.

Een tweede reden om zuiniger om te springen met energie heeft een meer ecologisch aspect, namelijk het behalen van de Kyoto-norm. Het Protocol van Kyoto verplicht de geïndustrialiseerde landen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen en op die manier de klimaatverandering tegen te gaan.

Ook economische groei is op lange termijn enkel houdbaar wanneer wij rekening houden met de draagkracht van het milieu en de eindigheid van de fossiele

brandstoffen. De stijgende brandstofprijzen beïnvloeden de energiefactuur, zodat iedereen baat heeft bij een dalend energieverbruik.

In deze eindverhandeling wordt er dieper ingegaan op de nieuwe energiestatistiek. Deze wordt Energieprestatie en Binnenklimaat genoemd (EPB) en bestaat uit drie verschillende eisen. Ten eerste is er de energiestatistiek-eis, die uitgedrukt wordt in het E-peil. Het E-peil is een maat voor het totale energieverbruik van een woning en is een globale aanwijzing voor de energiezuinigheid van de woning. Ten tweede is er de eis voor thermische isolatie en ten derde is er de eis voor het binnenklimaat.

Er wordt gekeken op welke manieren men kan voldoen aan de nieuwe energiestatistiek door middel van isolatie, luchtdicht bouwen, ramen en raamventilatie, glas en zonwering, ventilatie, verwarming en sanitair warm water. Deze elementen zorgen namelijk voor de bepaling van het E-peil van de woning.

Door middel van een technologische analyse worden in hoofdstuk 4 de verschillende technologieën besproken die het mogelijk maken om energie te besparen. Deze technologieën maken zoveel mogelijk gebruik van duurzame energiebronnen en zorgen voor een minimum aan energieverlies. Er worden hier achtereenvolgens de verwarmingsinstallatie, de warmtepomp, warmtekrachtkoppeling, de zonneboiler en fotovoltaïsche zonnecellen besproken.

In hoofdstuk 5 wordt de rendabiliteit van de verschillende technologieën bepaald door middel van een economische analyse. Dit wordt gedaan door een berekening van de Netto Contante Waarde, de Interne Opbrengstvoet en de verdisconteerde terugverdientijd.

Een ecologische analyse is nodig om te berekenen hoeveel er bespaard kan worden door energiebesparende maatregelen in een woning. Een reductie van de CO₂-emissie

is noodzakelijk voor België om de opgelegde Kyoto-norm te behalen en zo de gevolgen van broeikasgassen in te perken. Aangezien de uitstoot van CO₂ ten opzichte van het referentiejaar 1990 nog gestegen is, in plaats van gedaald, moeten wij nog heel wat inspanningen leveren om de opgelegde normen te behalen. In hoofdstuk 6 wordt er berekend hoeveel CO₂-uitstoot er bespaard kan worden door middel van energiezuinig wonen. Vervolgens worden de vermeden externe kosten berekend per energiezuinige maatregel.

De Federale en Vlaamse overheid, de netbeheerders, provincies en gemeenten proberen aan de hand van allerlei subsidies mensen te overtuigen en te stimuleren om te investeren in energiebesparende maatregelen. In hoofdstuk 7 wordt er een overzicht gegeven van de verschillende subsidies en wordt er gekeken wat er voordeliger is: het aankopen van emissierechten in het buitenland of het geven van subsidies.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	II
Samenvatting	III
Inhoudsopgave	VI
Figuren en tabellen.....	X
Algemene begrippen en definities	XII
Inleiding.....	1
Energiereserve	1
Economie.....	4
Ecologie	5
Het Protocol van Kyoto	7
De 4 grote energieverbruikers.....	10
Alternatieve energiebronnen	12
Hoofdstuk 1: Probleemstelling	17
1.1 Praktijkprobleem	17
1.2 Onderzoeksvragen	19
Hoofdstuk 2: Eisen energieprestatieregelgeving	21
2.1 De energieprestatie-eis	21
2.2 Eisen voor thermische isolatie.....	23
2.3 Eisen voor het binnenklimaat.....	23
Hoofdstuk 3: Mogelijkheden om te voldoen aan de energieprestatieregelgeving	24
3.1 Isolatie	24
3.1.1 Isolatiematerialen.....	24
3.1.2 Muurisolatie.....	27
3.1.3 Vloerisolatie.....	29
3.1.4 Dakisolatie.....	30
3.1.5 Energieprestatie en Binnenklimaat (EPB)	32

3.2 Luchtdicht bouwen.....	34
3.2.1 Manieren om luchtdicht te bouwen	35
3.2.2 Energieprestatie en Binnenklimaat (EPB)	35
3.3 Ramen en raamventilatie.....	35
3.3.1 Raamprofielen	36
3.3.2 Raamventilatie	37
3.4 Glas en zonwering	37
3.4.1 Glas.....	37
3.4.2 Zonwering	39
3.4.3 Energieprestatie en Binnenklimaat (EPB)	40
3.5 Ventilatie	40
3.5.1 Ventilatiesysteem A.....	41
3.5.2 Ventilatiesysteem B.....	42
3.5.3 Ventilatiesysteem C	43
3.5.4 Ventilatiesysteem D.....	44
3.5.5 Energieprestatie en Binnenklimaat (EPB)	46
3.6 Verwarming.....	46
3.6.1 De energiebron.....	46
3.6.2 Zuinige verwarmingssystemen	48
3.6.3 De toebehoren.....	50
3.6.4 Energieprestatie en Binnenklimaat (EPB)	52
3.7 Sanitair warm water	52
3.7.1 De energiebron.....	52
3.7.2 Boiler of geiser.....	52
3.7.3 Zonneboiler	53
3.7.4 Energieprestatie en Binnenklimaat (EPB)	53
3.8 Conclusie.....	53
Hoofdstuk 4: Technologische analyse	56
4.1 Verwarmingsinstallatie.....	56
4.2 Warmtepomp.....	57

4.2.1 Werkingsprincipe	58
4.2.2 Soorten	59
4.2.3 Rendement	62
4.3 Warmtekrachtkoppeling.....	63
4.3.1 Principe	64
4.3.2 Technologieën.....	67
4.4 Zonneboiler	73
4.4.1 Onderdelen	74
4.4.2 Principe	79
4.4.3 Soorten	81
4.5 Fotovoltaïsche zonnecellen.....	83
4.5.1 Werkingsprincipe	84
4.5.2 Soorten	87
4.5.3 Soorten Systemen	90
Hoofdstuk 5: Economische analyse	92
5.1 Warmtepomp.....	92
5.2 Zonneboiler	96
5.3 Fotovoltaïsche zonnecellen.....	100
5.4 Hoogrendementsglas	104
Hoofdstuk 6: Ecologische analyse.....	106
6.1 Berekening van de externe kosten	107
6.1.1 Vloerisolatie.....	107
6.1.2 Muurisolatie.....	107
6.1.3 Dakisolatie.....	108
6.1.4 Warmtepomp.....	108
6.1.5 Zonneboiler	108
6.1.6 Fotovoltaïsche cellen.....	109
6.1.7 Hoogrendementsglas	109
6.2 Vermeden externe kosten	109
Hoofdstuk 7: Subsidies	112

7.1 Soorten subsidies.....	112
7.1.1 Acties van de Vlaamse overheid.....	112
7.1.2 Acties van de Federale overheid	113
7.1.3 Acties van de distributienetbeheerders	116
7.1.4 Acties van de provincies	117
7.1.5 Acties van de gemeenten	119
7.2 Verantwoording voor het geven van subsidies.....	120
Hoofdstuk 8: Conclusies.....	123
8.1 Besluit	123
8.2 Vragen voor verder onderzoek	130
Lijst van de geraadpleegde werken	
Bijlagen	

Figuren en tabellen

Figuren

- Figuur I.1a: wereldenergievraag naar primaire energiedragers
- Figuur I.1b: wereldenergievraag naar primaire energiedragers (logaritmische schaal)
- Figuur I.2: wereld olie- kolen- en gasvoorraden per regio per eind 2003
- Figuur I.3: aandeel van de verschillende sectoren die zorgen voor de uitstoot van broeikasgassen
- Figuur I.4: het ontwikkelbaar vermogen en productie van energie in 2004
- Figuur 3.1: ventilatiesysteem A
- Figuur 3.2: ventilatiesysteem B
- Figuur 3.3: ventilatiesysteem C
- Figuur 3.4: ventilatiesysteem D
- Figuur 4.1: werking van een warmtepomp
- Figuur 4.2: horizontaal captatienet
- Figuur 4.3: verticale aardsondes
- Figuur 4.4: grondwater als warmtebron
- Figuur 4.5: lucht als warmtebron
- Figuur 4.6: situatie zonder WKK
- Figuur 4.7: situatie met WKK
- Figuur 4.8: brandstofcel
- Figuur 4.9: zonneboiler
- Figuur 4.10: doorsnede van een zonnecollector
- Figuur 4.11: standaard zonneboiler
- Figuur 4.12: compacte zonneboiler
- Figuur 4.13: CV-zonneboiler
- Figuur 4.14: zonneboilercombi

- Figuur 4.15: het effect van een elektrisch veld in een zonnecel
- Figuur 4.16: de werking van een zonnecel
- Figuur 4.17: organische zonnecel
- Figuur 5.1: NCW-profiel warmtepomp
- Figuur 5.2: NCW-profiel zonneboiler
- Figuur 5.3: gesimuleerde opbrengst PV-systeem per maand en per jaar
- Figuur 5.4: NCW-profiel fotovoltaïsche zonnecellen

Tabellen

- Tabel I.1: jaarlijks energieverbruik gemiddeld gezin
- Tabel 1.1: uitstoot en absorptie van broeikasgassen in België in de belangrijkste sectoren
- Tabel 3.1: meest courante isolatiematerialen en hun overeenkomstige λ -waarden
- Tabel 3.2: dikte van de materialen om dezelfde isolatiewaarde te bekomen
- Tabel 3.3: berekening van de R_d -waarde van verschillende materialen met een gegeven dikte
- Tabel 3.4: maximale U-waarden van constructiedelen
- Tabel 5.1: vergelijking verwarmingskosten
- Tabel 6.1: besparing aan CO_2 per jaar en vermeden externe kosten per energie-besparende maatregel
- Tabel 6.2: besparing aan CO_2 per jaar en vermeden externe kosten per energie-besparende maatregel en per woning
- Tabel 9.1: overzicht economische analyse
- Tabel 9.2: overzicht ecologische analyse

Algemene begrippen en definities

- Warmtegeleidbaarheid λ (W/Km) geeft aan hoeveel warmte er per seconde geleid wordt door een wand van 1 m dikte met een oppervlak van 1 m² en bij een temperatuurverschil van 1 K tussen de twee vlakken van de muur.
- De U-waarde (W/m²K) (vroeger k-waarde) of warmtedoorgangscoefficiënt van een onderdeel van de woning (muur, dak, vloer, ...) duidt aan hoeveel warmte er per seconde en per vierkante meter doorheen dat constructiedeel stroomt van de ene omgeving naar de andere indien er een temperatuurverschil is van 1 K tussen beide omgevingen (1/Rd).
- Globaal warmte-isolatiepeil K drukt het isolatieniveau van een gebouw uit in functie van de compactheid van het gebouw en de gemiddelde U-waarde van al de constructieonderdelen die het beschermd volume afbakenen. In Vlaanderen geldt als norm een K-waarde van maximum 45.
- Het E-peil is een maat voor het totale energieverbruik van een gebouw. Het E-peil is een globale aanwijzing voor de energiezuinigheid van het gebouw. In Vlaanderen geldt als norm een E-peil van maximum 100.
- De warmteweerstand Rd (m²K/W) is de verhouding tussen de dikte van de materiaallaag en de warmtegeleidbaarheid λ (1/U). De totale weerstand van een constructie wordt bekomen door de som te maken van de warmteweerstanden van alle verschillende lagen waaruit de constructie is opgebouwd, met eveneens de zogenaamde overgangsweerstand van de binnenlucht naar de constructie en van de constructie naar de buitenlucht.
- De energieprestatiecoëfficiënt EPC is de Nederlandse maat voor het totale energieverbruik van een gebouw en kan dus gezien worden als een globale aanwijzing voor de energiezuinigheid van het gebouw. Deze waarde is vergelijkbaar met het Belgische E-peil en mag maximum 0,8 bedragen.
- Het primair energieverbruik (MJ) is het totale verbruik per jaar aan energie ontleend aan fossiele brandstoffen.

- Isolatie is een dikke laag materiaal waarin kleine pakketjes droge lucht winddicht zijn verpakt. Deze droge stilstaande lucht zorgt voor het isolerende effect, aangezien stilstaande lucht een zeer goede warmte-isolator is.
- Winddicht: buitenlucht heeft een temperatuur die in het algemeen lager of hoger ligt dan de temperatuur in de woning. Om te voorkomen dat deze lucht en bijhorende warmte of energieverbruik een negatieve invloed heeft op het comfort van de woning, moet het gebouw aan de buitenzijde winddicht zijn. Kieren en spleten moeten hierbij vermeden of gedicht worden.
- Luchtdicht: de isolatielaag moet luchtdicht zijn, omdat onnodige luchtcirculatie in het isolatiemateriaal zorgt voor warmteverliezen in de winter en opwarming in de zomer.
- Een dampscherm houdt waterdamp volledig tegen indien deze op de correcte wijze is aangebracht.
- Een damprem houdt behoorlijk goed lucht tegen die van buiten naar binnen wil, maar geeft de mogelijkheid aan waterdamp die binnenin zit om te ontsnappen naar buiten.
- Een koudebrug is een plaats in een constructiedeel waar de thermische isolatie tussen de binnenmuur en de buitenmuur onderbroken is. Op die plaatsen gaat er veel warmte verloren en dat geeft vaak aanleiding tot oppervlaktecondensatie en schimmelvorming.
- Condensatie krijgt men wanneer vochtige lucht in contact komt met een koud oppervlak. De waterdamp slaat neer of condenseert op die koude oppervlakken. Condensatie kan men krijgen op plaatsen waar de isolatie ontbreekt. Het is dus heel belangrijk om te zorgen voor een goede isolatie, een goede luchtdichtheid en een goed ventilatiesysteem.
- Het beschermd volume omvat het volume van alle kamers en ruimtes van een gebouw die men thermisch wil beschermen tegen warmteverliezen naar buiten, naar de grond en naar naburige ruimtes die niet tot het beschermd volume behoren.

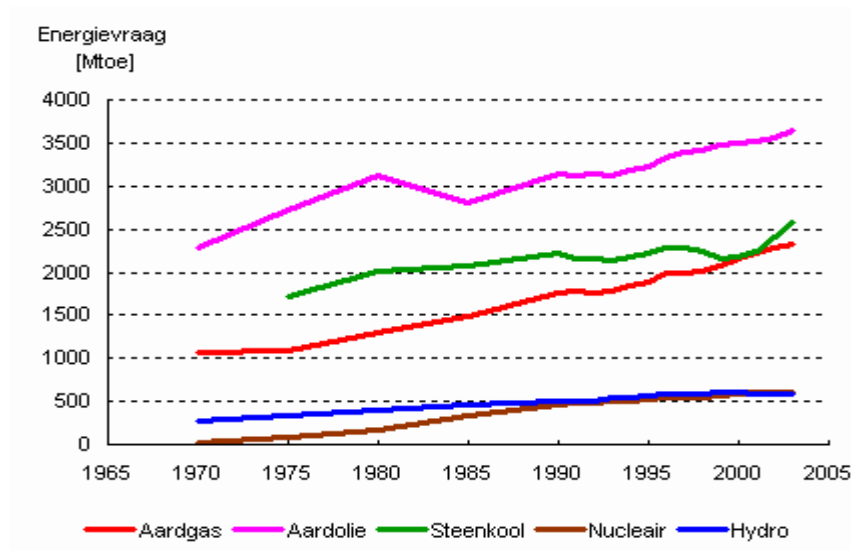
Inleiding

Wij staan midden in een proces van verandering naar een duurzamere energievoorziening. Het doel van duurzame ontwikkeling is een bepaalde levensstandaard behalen met zo weinig mogelijk verbruik van de eindige natuurbronnen, zo weinig mogelijk vervuiling van de natuur en zo weinig mogelijk beïnvloeding van het klimaat. In de inleiding van deze eindverhandeling wordt het thema geschetst van duurzame energievoorziening en energiezuinig wonen in het bijzonder. Dit wordt gedaan aan de hand van de drie E's (Energiereserve, Economie en Ecologie), het Protocol van Kyoto, de vier grote energieverbruikers en een aantal alternatieve energiebronnen.

Energiereserve

Met zijn allen gebruiken wij steeds meer energie. Een groot deel daarvan bestaat uit aardolie, steenkool en aardgas. De voorraden van deze zogenaamde fossiele brandstoffen zijn niet onuitputtelijk. Onder energievoorraden verstaan wij alle energiestocks aan land of in zee, waarvan men denkt dat deze ooit wel eens uitbaatbaar zullen worden (COGEN Vlaanderen, 2005). Verreweg het grootste gedeelte van alle energievoorraden zal nooit gebruikt worden om de energiebevoorrading te verzekeren en zal in de grond of in het water blijven zitten. Lang voordat men aan uitputting toe is, zullen de prijzen van deze energiebronnen zo hoog oplopen dat men wel moet overschakelen naar goedkopere bevoorradingsbronnen of naar hernieuwbare energie. Energie-investeringen hebben echter een lange aanlooptijd en levensduur. Wij moeten dus op tijd starten met duurzame ontwikkeling en ervoor zorgen dat de toekomstige generaties niet in de problemen komen.

Het verbruik van de primaire energiedragers aardolie, aardgas en steenkool is sinds 1975 met ongeveer 49% gestegen, wat neerkomt op ongeveer 1,4% per jaar (www.energie.nl). Uit *figuur I.1a* blijkt dat in 2003 de totale vraag naar fossiele brandstoffen 359 EJ bedroeg (8.547 Mtoe). Inclusief kernenergie en waterkracht was het verbruik 409 EJ (9.741 Mtoe), dit is 12 EJ (276 Mtoe) hoger dan in 2002. Als wij weten dat de wereldbevolking momenteel ongeveer 6,5 G inwoners bedraagt, komt dit neer op een vraag van 63 GJ (1,5 toe) per aardbewoner. In België bedroeg het verbruik van de primaire energiedragers 2,4 EJ (57,21 Mtoe) in 2004 (www.statbel.fgov.be). Als wij weten dat de Belgische bevolking momenteel ongeveer 10,45 M inwoners bedraagt, stemt dit overeen met een vraag van 230 GJ/inwoner (5,5 toe/inwoner).

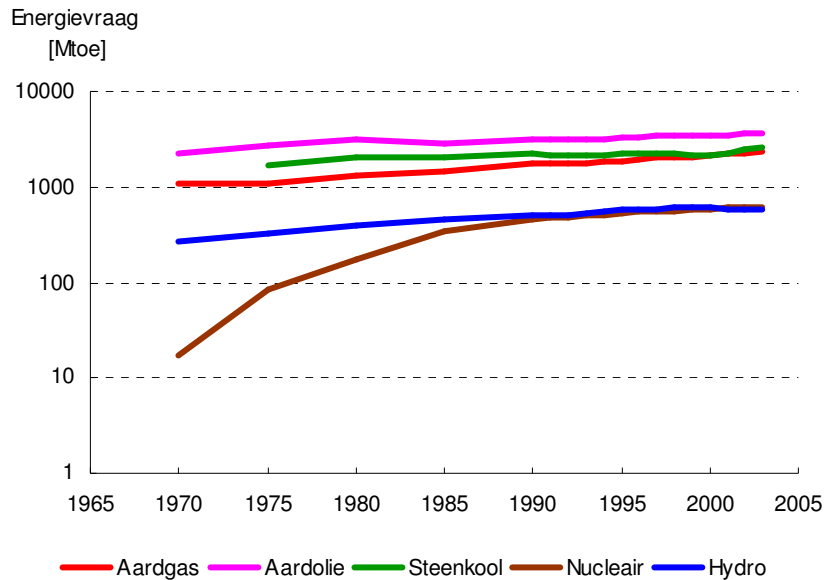


Figuur I.1a: wereldenergievraag naar primaire energiedragers

Bron: www.energie.nl

In 2003 was de vraag naar aardgas 2% hoger dan in 2002. Het totale verbruik aan kolen is toegenomen met bijna 7% en het verbruik aan olie tenslotte is met ruim 2% gestegen (www.energie.nl). Deze groei is toe te schrijven aan de snel groeiende economieën van China en India en de gestage groei in bijna alle andere landen van de wereld. *Figuur I.1b* geeft de wereldenergievraag naar primaire energiedragers op

logaritmische schaal. Op die manier krijgt men een beter beeld van de relatieve stijging per energiedrager.

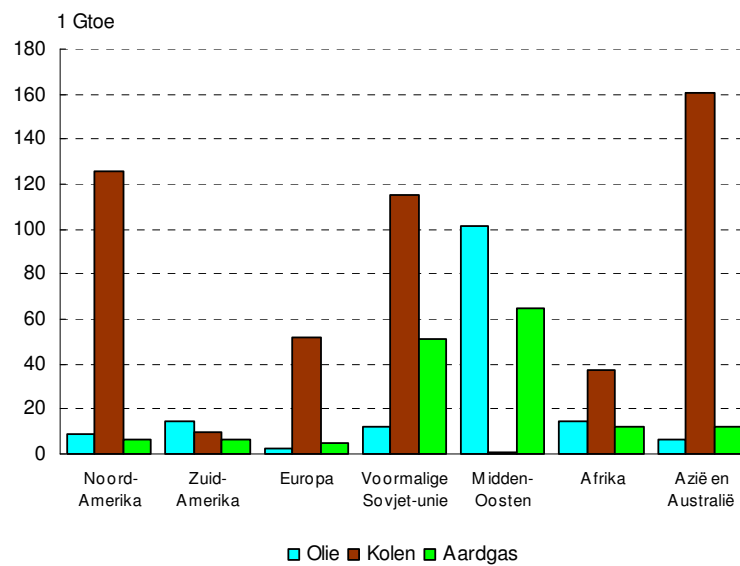


Figuur I.1b: wereldenergievraag naar primaire energiedragers (logaritmische schaal)

Bron: www.energie.nl

Van de bewezen olievoorraden in de wereld bevindt zich 63% in het Midden-Oosten. De kolenvoorraden zijn voor het grootste gedeelte terug te vinden in China, India, Australië, Noord-Amerika en de voormalige Sovjet-Unie. De totale bewezen voorraden in de wereld bedroegen eind 2003 voor olie 6.737 EJ (160 Gtoe) en voor kolen 21.042 EJ (501 Gtoe). *Figuur I.2* geeft de grootte van de energievoorraden in de wereld weer.

Voor Europa bedraagt de verhouding tussen voorraad en productie (R/P-ratio) voor olie 8. Dit betekent dat bij de huidige productie in Europa de bewezen voorraden nog 8 jaar meegaan. Voor het Midden-Oosten bedraagt deze waarde 87. Zonder nieuwe vondsten zal in de toekomst dus een groter deel van onze olie uit het Midden-Oosten komen. Voor kolen liggen de R/P-ratio's voor alle regio's nog boven de 100.



Figuur I.2: wereld olie-, kolen- en gasvoorraden per regio per eind 2003

Bron: www.energie.nl

Uit *figuur I.2* blijkt ook dat het grootste gedeelte van de wereldvoorraden aan aardgas zich in het Midden-Oosten (41%) en in de voormalige Sovjet-Unie (bijna 32%) bevindt. Eind 2003 was in Europa de R/P-ratio voor aardgas 19 en in het Midden-Oosten circa 269. De R/P-ratio voor aardgas op wereldschaal is sinds 1967 toegenomen van circa 40 tot 67 in 2003 (www.energie.nl).

Economie

Economische groei op lange termijn is enkel houdbaar wanneer wij rekening houden met de draagkracht van het milieu en de eindigheid van de fossiele brandstoffen. Het is dus ook vanuit economisch standpunt noodzakelijk om een duurzame energievoorziening na te streven. Voor de energievoorziening worden wij steeds meer afhankelijk van een klein aantal landen (*figuur I.2*). Deze afhankelijkheid maakt ons zeer kwetsbaar.

De schommelende brandstofprijzen beïnvloeden de energiefactuur en wij beschikken voorlopig niet over goedkopere alternatieven. De olieprijsen zijn in 2005 met meer dan 35% gestegen. Het doet vermoeden dat het tijdperk van de lage olieprijsen definitief voorbij is (www.rtl.nl).

Wij kunnen ons hier wel de vraag stellen of het een goed initiatief is van de Belgische regering om een deel van de energiefactuur terug te betalen. De reden dat de prijsen zo snel stijgen, is dat de voorraden beperkt zijn en stilaan uitgeput geraken. Als de regering korting blijft geven op de energiefactuur gaan wij misschien nooit tot het besef komen dat wij energiezuiniger moeten gaan leven.

Ecologie

Voor wat de engagementen van België betreft, is het ecologische aspect de dringendste reden om te streven naar een duurzamere energievoorziening. Energie wordt voornamelijk opgewekt door de verbranding van fossiele brandstoffen. Hierdoor komt het broeikasgas CO_2 vrij. CO_2 of koolstofdioxide is een stof die voor de gebruikelijke percentages onschadelijk is en bij veel natuurlijke processen een rol speelt.

In onze atmosfeer is er een kleine hoeveelheid koolstofdioxide aanwezig (0,03% of 300 ppm), die samen met andere gassen (CH_4 , N_2O en fluorhoudende gassen) in de atmosfeer ervoor zorgt dat de temperatuur op aarde hoger blijft dan anders het geval zou zijn. De gassen in de atmosfeer houden de zonnewarmte die de aarde terugkaatst vast. Op die manier zorgen zij ervoor dat de gemiddelde temperatuur op aarde ongeveer 15°C is, in plaats van -18°C . Dit noemen wij het natuurlijke broeikaseffect.

Door menselijke activiteiten zijn er recentelijk meer broeikasgassen in de atmosfeer terecht gekomen. Het gaat vooral om koolstofdioxide (CO_2), dat vrijkomt bij de verbranding van fossiele brandstoffen. Tegelijkertijd is het aantal bomen de laatste jaren sterk verminderd. Hierdoor wordt er minder CO_2 en water omgezet in glucose en zuurstof. Door deze menselijke ingrepen is de uitstoot van koolstofdioxide groter dan de ecosystemen verwerkt krijgen. Dit teveel aan broeikasgassen verstoort het natuurlijke broeikaseffect en wordt het menselijke broeikaseffect genoemd.

Het menselijke broeikaseffect kan wereldwijde klimaatveranderingen veroorzaken. De afgelopen dertig jaar is de gemiddelde zomertemperatuur in Brussel met 1,2 K gestegen. Als het broeikaseffect niet wordt aangepakt, dan zal volgens het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) de gemiddelde temperatuur in vergelijking met 1990 tegen 2100 met 1,4 K tot 5,8 K stijgen. Het mondiale zeepeil zou in vergelijking met 1990 tegen 2100 tussen 9 cm en 88 cm stijgen. Bovendien blijkt dat Europa sneller opwarmt dan de rest van de wereld (2 K tot 6,2 K), met als gevolg: frequentere en economisch duurdere stormen en overstromingen, een groter aantal intensere hittegolven, natter weer in Noord-Europa en droger weer in het Zuiden. In ons land zou tegen het einde van de 21ste eeuw de neerslag stijgen met 6% tot 23% in de winter. Voor de zomer schommelen de ramingen tussen een status quo en een daling met 50% (COGEN Vlaanderen, 2004).

Bij de opwekking van duurzame energie komt er geen extra CO_2 in de atmosfeer terecht, zodat zogenaamde 'externe kosten' vermeden worden. Externe kosten zijn niet gecompenseerde, door derden gemaakte, kosten of geleden schade als gevolg van een economische activiteit. Men kan hierbij bijvoorbeeld denken aan de kosten van de volksgezondheid door luchtverontreiniging, schade aan gebouwen of schade die veroorzaakt wordt door klimaatveranderingen ten gevolge van het broeikaseffect.

Duurzame energievoorziening wordt dikwijls als een zeer duur alternatief gezien, maar men vergeet rekening te houden met de vermeden externe kosten. Doordat die kosten

niet ingerekend zijn in de prijzen van goederen en diensten, worden zij afgewenteld op de maatschappij als geheel. De economische theorie stelt dat de overheid op twee manieren kan ingrijpen in de markt. Ten eerste kan men een belasting opleggen die gebaseerd is op de veroorzaakte milieuschade. De externe kosten zullen zo in de prijs van de producten geïnternaliseerd worden. Ten tweede kan men bij het gebruik van duurzame energie, de vermeden externe kosten nemen ter verantwoording voor het geven van subsidies. In de praktijk blijkt het in rekening brengen van de externe kosten echter zeer moeilijk, omdat milieuschade moeilijk te kwantificeren is.

Het Protocol van Kyoto

In 1992 leidden internationale klimaatonderhandelingen tot het klimaatverdrag van Rio de Janeiro. Dit verdrag trachtte een balans te vinden tussen de milieubelangen en de maatregelen die economisch haalbaar waren. Om dit te realiseren, werd afgesproken dat de belangrijkste industrielanden de uitstoot van CO₂ drastisch zouden verminderen.

Het verdrag van Rio de Janeiro werd verder uitgewerkt tot het Protocol van Kyoto in 1997. Hierin verplichtten de geïndustrialiseerde landen zich de uitstoot van de broeikasgassen tegen 2010 te verminderen met 5% ten opzichte van 1990. De reductiepercentages verschillen van land tot land en hangen af van de huidige uitstoot van het land. De Verenigde Staten moeten 7% inboeten, Japan 6% en de Europese Unie 8%. Ook binnen de EU heeft men de percentages verdeeld. België moet 7,5% minder uitstoten, buurland Nederland 6% over de periode 2008-2012 (Doelbewust, 2004).

Het Kyoto-verdrag kwam in 1997 tot stand tijdens de conferentie in de Japanse stad Kyoto. Het Protocol trad in februari 2005 in werking, maar was nog niet operationeel,

omdat het reglement nog niet formeel was goedgekeurd. Deze goedkeuring is er in Montreal gekomen (december 2005). De klimaatconferentie in de Canadese stad is de grootste vergadering over het klimaat sinds Kyoto (www.planet.nl).

De Verenigde Staten beslisten niet deel te nemen en het Verdrag van Kyoto niet te ondertekenen. Bush wil namelijk niets ondernemen wat de Amerikaanse economie zou kunnen schaden. De Verenigde Staten zijn echter verreweg de grootste producent van klimaatveranderende gassen. Hoewel er ongeveer 4% van de wereldbevolking woont, produceren zij maar liefst 25% van de supplementaire CO₂-gassen door de mens.

Op 11 januari 2006 zijn vertegenwoordigers uit de Verenigde Staten, China, Zuid-Korea, Japan, Australië en India in Sidney bijeengekomen om te praten over een eigen klimaatpact. Het belangrijkste verschil tussen het Verdrag van Kyoto en de Asia-Pacific Partnership on Clean Development and Climate (APPCDC) is dat er bij het alternatieve klimaatpact alleen afspraken op vrijwillige basis worden gemaakt. Klimaatverbetering moet volgens dit pact worden bewerkstelligd door het promoten van de ontwikkeling van nieuwe, energiezuinige technologieën. Het mag echter niet gezien worden als een tegenhanger van het Verdrag van Kyoto, maar als een aanvulling ervan.

De belangrijkste verschillen tussen het Verdrag van Kyoto en de APPCDC zijn:

- Het Verdrag van Kyoto heeft strakke deadlines en streefpercentages vastgesteld, waaraan deelnemende landen zich moeten houden. Volgens de APPCDC zijn deze streefdata en -percentages juist een gruwel, omdat zij de economie ernstig kunnen schaden.
- Landen die Kyoto ondertekenen, zijn verplicht zich aan de afspraken te houden. Het alternatieve pact is geheel vrijblijvend.
- Kyoto richt zich voornamelijk op de inperking van de uitstoot van broeikasgassen, terwijl de APPCDC juist nieuwe, milieuvriendelijke technologieën wil aanwenden.

- De afspraken van Kyoto gelden in principe tot 2012, maar het alternatieve pact heeft ook betrekking op de jaren daarna.

Het Protocol van Kyoto laat toe dat landen die een grotere emissiereductie realiseren deze kunnen verkopen aan landen die de norm niet zullen halen. Dit fenomeen wordt emissiehandel genoemd. Emissiehandel is de handel in emissierechten. Emissierechten geven landen of bedrijven het recht om bepaalde broeikasgassen of andere gassen uit te stoten. België krijgt het recht om in de periode 2008-2012 elk jaar een hoeveelheid uit te stoten gelijk aan 92,5% van de emissies in 1990.

Het onderscheid tussen emissierechten en de feitelijke uitstoot is belangrijk. In emissierechten kan worden gehandeld, dit wil zeggen dat een land of bedrijf voldoende rechten moet hebben voor zijn uitstoot. Het systeem is flexibel: landen en bedrijven kunnen emissierechten kopen of verkopen. Bij CO₂-emissiehandel krijgen bedrijven een vastgestelde hoeveelheid emissierechten toegewezen. Het systeem van CO₂-emissiehandel vloeit voort uit Europese regels. Er kan dus gehandeld worden tussen bedrijven binnen de Europese Unie. Het uitgangspunt van emissiehandel is dat bedrijven altijd de goedkoopste optie kiezen bij de keuze tussen het zelf terugbrengen van hun emissies of het aankopen van emissierechten. Emissiehandel leidt ertoe dat de uitstoot van gassen daar wordt teruggedrongen waar dat het goedkoopst is (www.vrom.nl).

In 1990 bedroegen de emissies in België 146,24 Mton CO₂-eq. In 2001 was dat al gestegen tot 149,30 Mton CO₂-eq, terwijl de Kyoto-doelstelling een stuk lager ligt, namelijk op 135,27 (0,925*146,24) Mton CO₂-eq. De emissierechten die aan België toekomen krachtens het Protocol van Kyoto worden verdeeld over de drie Gewesten. De Gewesten zijn er zelf verantwoordelijk voor om na 2012 minstens evenveel emissierechten voor te leggen als er emissies zijn geweest op hun grondgebied (www.belgium.be).

De emissierechten werden als volgt toegewezen:

- Waals Gewest: emissies 1990 – 7,5% = 50,23 Mton CO₂-eq;
- Vlaams Gewest: emissies 1990 – 5,2% = 83,37 Mton CO₂-eq;
- Brussels Hoofdstedelijk Gewest: emissies 1990 + 3,475% = 4,13 Mton CO₂-eq.

Dit betekent dat in totaal aan de Gewesten meer emissierechten worden toegekend (137,73 Mton CO₂-eq), dan België krijgt onder het Protocol van Kyoto (135,27 Mton CO₂-eq). De Federale overheid zal dit verschil goedmaken door emissierechten aan te kopen op de internationale markt. Dit komt neer op de aankoop van emissierechten voor 2,46 Mton CO₂-eq per jaar over de periode 2008-2012.

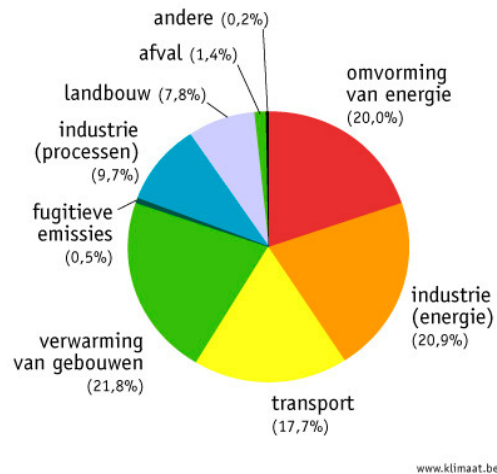
Volgens Groen! zal België tegen 2012 nog steeds 10% meer uitstoten dan in 1990, waarmee ons land dus absoluut niet voldoet aan de Kyoto-norm. Zelfs als alle maatregelen die zijn aangekondigd effectief worden ingevoerd, stoten wij nog 5% meer uit dan in 1990. Om toch de normen te halen moet België buitenlandse emissierechten kopen, wat ons land 390 M EUR zou kosten. Voor Vlaanderen ligt dat bedrag op 200 M EUR vanaf 2008 en als er geen bijkomende maatregelen getroffen worden, kan dat bedrag oplopen tot 1 G EUR (portal.health.fgov.be).

De 4 grote energieverbruikers

In *figuur I.3* kunnen wij zien dat de omvorming van energie, de industrie, het transport en het verwarmen van gebouwen zorgen voor de grootste uitstoot van broeikasgassen. Deze worden dan ook de vier grote energieverbruikers genoemd.

CO₂-uitstoot hangt nauw samen met het energieverbruik. Voorlopig cijfermateriaal van 2002 voor Vlaanderen toont aan dat het energieverbruik over de verschillende sectoren als volgt is verdeeld: huishoudens 24,31%, industrie 39,32%, diensten

9,41%, land- en tuinbouw 3,17% en transport 23,79% (Administratieve Planning en Statistiek, 2004).



Figuur I.3: aandeel van de verschillende sectoren die zorgen voor de uitstoot van broeikasgassen

Bron: www.klimaat.be

De huishoudens nemen dus ongeveer 24% van het finale energieverbruik voor hun rekening. Zoals te zien is in *tabel I.1* gaat er van die 24% maar liefst 73% naar de verwarming van de woning. Dit is mede het gevolg van een slechte isolatie van de Belgische huizen. Er is op dit vlak nog een enorm potentieel om het energieverbruik te verminderen. Een mogelijke oplossing is het energiezuinig wonen.

Tabel I.1: jaarlijks energieverbruik gemiddeld gezin

Toepassing	Gemiddeld verbruik (kWh)	%
Verlichting	300	1
Koken	1.000	4
Huishoudtoestellen	3.000	11
Warm Water	3.000	11
Verwarming	20.000	73
Totaal	27.300	100

Bron: *Rationeel energiegebruik*, Interelectra, 2005

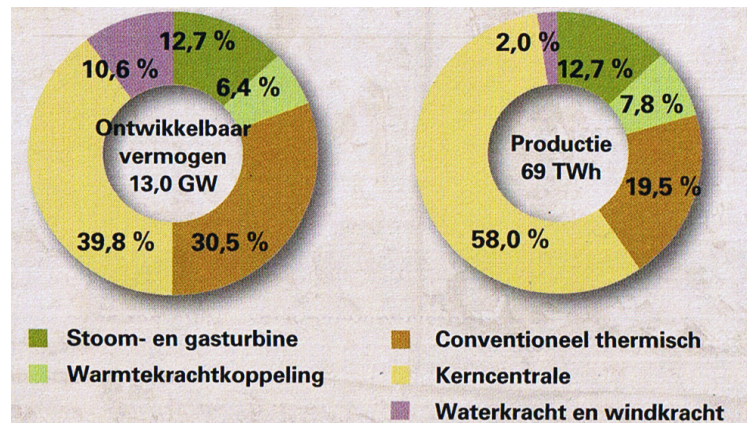
Alternatieve energiebronnen

Om aan de Kyoto-norm te voldoen, kunnen wij in plaats van het elders aankopen van emissierechten ook op zoek gaan naar energiezuinigere alternatieven.

Het huidige aandeel aan kernenergie (58%) maakt het mogelijk om elk jaar de uitstoot van minimum 30 Mton CO₂ te vermijden. Als men maximaal gebruik zou maken van kernenergie, zou men jaarlijks nog 20 Mton CO₂ extra kunnen vermijden. Het is mede dankzij de aanwending van kernenergie dat de CO₂-uitstoot van de elektriciteitssector sinds het begin van de jaren '80 aanzienlijk is gedaald (- 35%) en dit niettegenstaande een stijging van de elektriciteitsproductie met meer dan 55%.

Door de inzet van kernenergie behoort België tot de landen met de laagste CO₂-uitstoot per geproduceerde kWh_e. De emissies van broeikasgassen als gevolg van de elektriciteitsproductie zijn laag in België en bedragen ongeveer 300 gCO₂/kWh_e. In het Verenigd Koninkrijk bedragen deze emissies van broeikasgassen ongeveer 500 gCO₂/kWh_e en in Duitsland, Nederland en de VSA ongeveer 600 gCO₂/kWh_e (www.voka.be). Kernenergie vormt echter al enkele jaren een discussiepunt in België. Het is immers het voornemen van de Belgische regering om op termijn (2015-2025) de kerncentrales te sluiten, de zogenaamde kernuitstap. Dit staat de laatste tijd echter weer volop ter discussie.

Wereldwijd staat België op de derde plaats, na Frankrijk en Litouwen, voor het aandeel van de elektriciteit dat in nucleaire centrales wordt opgewekt. In het totaal zorgt de kernenergie voor ongeveer 58% van de elektriciteit in België (*figuur I.4*).



Figuur I.4: het ontwikkelbaar vermogen en productie van energie in 2004

Bron: Doelbewust

Volgens berekeningen van het VITO (Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek) zouden de totale Belgische broeikasgasemissies door de elektriciteitssector stijgen met 12,6% in het geval van aardgas en 27% in het geval van steenkool. Het aandeel van de elektriciteitssector in de totale Belgische CO₂-emissies is ongeveer 20%. Enkel in een scenario waarbij een uitstap uit het nucleaire gecombineerd wordt met een zeer sterk beleid op het vlak van rationeel energiegebruik, kan de stijging van de CO₂-emissies enigszins beperkt worden. Zelfs dan komen wij nog aan 1,75 maal het niveau van de huidige emissie (www.voka.be).

Tegenstanders van kernenergie (Groen!) zeggen dat kernenergie nooit deel kan uitmaken van een mogelijke oplossing voor het energieprobleem, omdat kernenergie zelf deel is van het probleem. Eloi Glorieux (Groen!) zegt hierover (*bijlage 3*): 'De landen met het grootste aandeel aan kernenergie zijn ook de landen met de meeste CO₂-uitstoot. Dit laat duidelijk zien dat kernenergie een deel is van het probleem. Kernenergie maakt deel uit van een gecentraliseerd energiesysteem wat op zich verkeerd is. De visie van een gecentraliseerd systeem houdt in dat men massa's energie produceert, maar waar men ook de boodschap geeft van zoveel mogelijk te verbruiken. Ook als men zegt dat kerncentrales CO₂-neutraal zijn, bedoelt men enkel het splijtingsproces in de reactor. Om dat splijtingsproces mogelijk te maken, moet men echter uranium uit de grond halen, verrijken en omzetten. Dat zijn allemaal

processen die wel veel CO₂ produceren. Volgens Groen! is het zeker mogelijk om kernenergie te vervangen zonder een sterke stijging van de CO₂-uitstoot met zich mee te brengen. Ten eerste moeten wij ons energieverbruik verminderen. Wij hebben in België de hoogste energie-intensiteit zowel per capita als per economische output en wij hebben een enorm onaangeroerd potentieel tot energiebesparing. Ten tweede kan men hernieuwbare energiebronnen optimaliseren. Er zijn zoveel mogelijkheden die bijvoorbeeld Nederland, Noorwegen en Zweden al volop aan het ontwikkelen zijn, terwijl wij bijna al onze middelen nog volop in verouderde energiebronnen blijven steken zoals bijvoorbeeld kernenergie. Wij laten op deze manier de energiebronnen van de toekomst aan ons ontglippen. Ten derde moeten wij natuurlijk nog een deel van de energie opwekken via de conventionele middelen. Hier moet men dan gebruik maken van diegene die het hoogste rendement hebben qua omzetting van energ grondstof naar elektriciteit. In de eerste plaats spreken wij hier dan over WKK en STEG-centrales'.

Warmtekrachtkoppeling (WKK) moet gezien worden als een slimme manier om warmte te produceren. In plaats van hoogwaardige brandstof zonder meer te laten degraderen tot warmte op lage temperatuur, kan men best tijdens die degradatie er een arbeidsmachine (turbine of motor) tussen schakelen om er op die manier nog wat arbeid uit te halen. Vanuit dit oogpunt is WKK dus een methode waarbij elektriciteit als bijproduct wordt bekomen, terwijl men warmte produceert.

WKK heeft alleen maar energetisch zin als men al de geproduceerde warmte nuttig gebruikt. Gooit men de warmte weg die door een WKK-installatie wordt geproduceerd, dan heeft men eigenlijk een kleine elektriciteitsproductie-eenheid die een lager rendement heeft dan de hedendaagse STEG-centrales. WKK waarbij de warmte onbenut blijft, is energetisch niet verantwoord.

De correcte dimensionering, zijnde de keuze van de parameters van de te installeren machine om te voldoen aan de te verwachten warmte- en elektriciteitsvraagprofielen,

is van uitermate groot belang. Een optimaal gedimensioneerde WKK-installatie is er een waarbij geen warmte wordt weggekoeld en die zoveel mogelijk energie levert zonder teveel op deellast te werken of voortdurend moet worden stilgelegd.

Er bestaan verschillende technologieën om het bovenstaande principe van gecombineerde productie van elektriciteit en warmte te realiseren. Elke technologie heeft zijn specifieke toepassingsgebieden. De meest courante uitvoeringsvormen zijn de stoomturbine, de gasturbine en de inwendige verbrandingsmotor. Daarnaast staan microturbines op de rand van een marktdoorbraak. Er wordt ook onderzoek verricht naar nieuwe technologieën, zoals Stirlingmotoren en brandstofcellen. Deze technologieën worden besproken in *hoofdstuk 4.3.2*.

Het principe van warmtekrachtkoppeling kan verder uitgebreid worden door ook trigeneratie te beschouwen. Naast elektriciteit en warmte produceert een dergelijke eenheid ook koude. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een absorptiekoelmachine. Sterk vereenvoudigd zou men dus kunnen stellen dat in een dergelijke machine warmte gebruikt wordt om koude te produceren. Wanneer de warmtevraag in de zomerperiode afneemt, kan de WKK toch nog blijven draaien en zijn warmte nuttig aanwenden om te voldoen aan de vraag naar koude (COGEN Vlaanderen, 2004).

STEG-centrales zijn centrales die bestaan uit een gasturbine en een stoomturbine. Deze twee turbines staan op dezelfde as en drijven gezamenlijk een alternator aan. Indien de STEG-centrale uit meerdere gas- en stoomturbines bestaat, drijft iedere turbine een alternator aan. Het opwekken van elektriciteit met de STEG-centrale begint bij de gasturbine. De compressor zuigt lucht uit de omgeving aan. Deze lucht wordt samengeperst en vervolgens in de verbrandingskamer geperst samen met aardgas. Dit mengsel van aardgas en lucht wordt dan verbrand in de verbrandingskamer. De verbrandingsgassen zetten uit en doen de gasturbine draaien. De gasturbine is gekoppeld aan een alternator, die energie opwekt. De warme uitlaatgassen van de gasturbine (meer dan 540°C) worden gebruikt in een

recuperatiestoomketel om stoom mee op te wekken. Met die stoom laten zij een stoomturbine draaien, die op zijn beurt een alternator laat draaien.

Een STEG-centrale heeft een veel hoger rendement dan een klassieke thermische centrale, doordat er twee maal energie opgewekt wordt. Een STEG-centrale heeft een rendement van 50-60%, terwijl een klassieke thermische centrale slechts een rendement heeft van 35%. Doordat een STEG-centrale een hoger rendement heeft, is de investeringskost voor een STEG-centrale minder groot dan voor een klassieke thermische centrale. Ook op ecologisch vlak heeft de STEG-centrale voordelen. Er worden minder stikstofoxiden (NO_x) uitgestoten dan bij klassieke centrales, om dezelfde hoeveelheid energie te produceren (www.steg.be).

Een andere manier om de emissie van CO_2 te reduceren, is het gebruik van biomassa. Al het organische materiaal dat afkomstig is van planten en bomen wordt biomassa genoemd. Biomassa is een brandstof die CO_2 -neutraal is. Planten en bomen nemen tijdens hun groei CO_2 op, dat weer vrijkomt bij verbranding. Bij het gebruik van fossiele brandstoffen is dit anders, omdat verbranding van steenkool, olie en gas wel CO_2 toevoegt aan de atmosfeer en dus bijdraagt aan het broeikaseffect.

Hoofdstuk 1: Probleemstelling

1.1 Praktijkprobleem

Uit de inleiding is al gebleken dat er veel redenen zijn om te werken aan een duurzaam leefmilieu. Dit duurzame leefmilieu kan onder meer bereikt worden door het verminderen van de CO₂-uitstoot. Meestal gaat dit gepaard met hoge kosten, maar energiezuinig wonen wordt echter dikwijls gezien als een win-win situatie. Het is goed voor het leefmilieu en zorgt tegelijkertijd voor een lagere energiefactuur. Deze win-win situatie kan dikwijls enkel bereikt worden omwille van subsidies, die in feite bonussen zijn voor vermeden externe kosten. De externe kost wordt geraamd op 20EUR/ton CO₂-eq (milieuraapport, 2005).

Bij de vier grote energieverbruikers merken wij dat de CO₂-uitstoot van de omvorming van energie en de industrie de laatste jaren gedaald is. De uitstoot die vrijkomt bij het transport en de verwarming van gebouwen kent echter een sterke stijging, zoals wij in *tabel 1.1* kunnen zien.

Tabel 1.1: uitstoot en absorptie van broeikasgassen in België in de belangrijkste sectoren

	1990 (Mton CO ₂ – eq)	2003 (Mton CO ₂ – eq)	Procentuele daling/stijging
Omvorming van energie	30,2	29,5	-2,3%
Industrie (energie)	33,6	30,9	-7,9%
Transport	20,2	26,1	+29,5%
Verwarming van gebouwen	28,1	32,2	+14,4%

Bron: www.klimaat.be

Volgens een klimaatsenquête die in opdracht van Federaal milieuminister Bruno Toubback werd uitgevoerd, vinden de Belgen dat er dringend iets gedaan moet worden

aan het probleem van de klimaatverandering. Zij beseffen echter amper dat zij daar zelf in belangrijke mate toe bijdragen, onder meer door het verwarmen van hun huizen en het verbruiken van elektriciteit.

Uit de resultaten van de klimaatsenquête blijkt dus dat de Belg zich bewust is van de klimaatverandering, maar dat er toch veel misvattingen bestaan. Met de kennis over de oorzaken van klimaatverandering valt het nogal mee. Het probleem wordt door 60% van de ondervraagden aan de uitstoot van broeikasgassen toegeschreven. De industrie wordt door 69% als de grote boosdoener aangewezen en een ruime helft beseft ook dat de uitstoot van auto's een zeer belangrijke factor is. Wat erg opvalt, is dat men zich niet bewust is van het eigen aandeel. Slechts respectievelijk 24% en 10% weten dat het verwarmen van huizen en het verbruiken van elektriciteit belangrijke oorzaken zijn van de klimaatverandering. Opvallend is ook dat 70% van de ondervraagden het ermee eens is dat de klimaatverandering kan worden tegengehouden door onze manier van leven te veranderen, maar minder mensen (53%) denken daar individueel een rol in te kunnen spelen. Ook houdt een meerderheid geen rekening met het energieverbruik bij de aankoop van een wasmachine, koelkast, televisie, computer of auto (Administratieve Planning en Statistiek, 2005)

Energiezuinig wonen biedt een relatief goedkope oplossing om de klimaatverandering tegen te gaan, maar wordt in België nog veel te weinig toegepast. Als men kijkt naar de resultaten die volgen uit de enquête, kan men besluiten dat de meeste mensen vinden dat er dringend iets gedaan moet worden aan het probleem van de klimaatverandering. Uit de enquête blijkt ook dat de mensen niet weten dat ook zij hierin kunnen bijdragen, onder meer door het energiezuinig wonen. Het is dus in de eerste plaats zeer belangrijk om de mensen te informeren en hen ervan bewust te maken dat ook zij kunnen meewerken tot het creëren van een duurzaam leefmilieu.

Uit een interview met Inge Essers (energiebeleid provincie Noord-Brabant, Nederland, *bijlage 2*) blijkt dat Nederland deze informatie wel gegeven heeft aan haar inwoners.

In de Nederlandse bouwregelgeving is vastgelegd dat nieuwe gebouwen moeten voldoen aan bepaalde minimeisen op het gebied van onder meer de energieuinigheid. Deze eis wordt uitgedrukt in de energieprestatiecoëfficiënt (EPC). Waar Vlaanderen pas in januari 2006 de door de Europese Commissie opgelegde energieprestatierelgeving ging toepassen, is deze in Nederland al actief sinds 1995. Dit was lang voordat de regelgeving opgesteld werd door de Europese Commissie in 2003. In Wallonië en Brussel is er nog steeds geen concrete regelgeving hieromtrent.

In Vlaanderen wordt deze energieprestatierelgeving EPB genoemd, wat staat voor Energieprestatie en Binnenklimaat. Het energierendement van een woning wordt het E-peil genoemd en kan men vergelijken met de EPC in Nederland.

1.2 Onderzoeksvragen

Uit bovenstaande is gebleken dat woningverwarming verantwoordelijk is voor een aanzienlijk deel van de uitstoot van broeikasgassen. In het kader van deze eindverhandeling wordt gefocust op de categorie huishoudens en wordt de studie hoofdzakelijk toegepast op nieuwbouw. Omdat de Gewesten in België verantwoordelijk zijn voor het neerleggen van hun eigen emissierechten, wordt het onderzoek beperkt tot het Vlaams Gewest.

Voor deze eindverhandeling werd volgende centrale onderzoeksvraag vooropgesteld:

‘Welke mogelijkheden bestaan er voor het energieuinig wonen in Vlaanderen om de Kyoto-norm te halen tegen 2012 en in welke mate kan een economisch-ecologisch-technologische analyse hieraan bijdragen?’

Volgende deelvragen kunnen helpen bij de exploratie van dit onderwerp:

- Wat houdt de nieuwe energieprestatieregelgeving juist in?
- In welke mate kan de energieprestatieregelgeving bijdragen tot een lager energieverbruik?
- Welke mogelijkheden van besparing zijn er op technologisch vlak voor het energiezuinig wonen in Vlaanderen? Zijn deze mogelijkheden van besparing rendabel?
- In welke mate kan het energiezuinig wonen bijdragen tot het behalen van de Kyoto-norm?
- Welke mogelijkheden bestaan er voor Vlaanderen op het gebied van energiezuinig wonen als wij de vermeden externe kosten nemen ter verantwoording voor het geven van subsidies?
- Is het economisch verantwoord om elders emissierechten aan te kopen?

Hoofdstuk 2: Eisen energieprestatierelgeving

(www.epb2006.be, www.energiesparen.be)

Uit studies van de Europese federatie van isolatieproducenten (EURIMA) blijkt dat ons huizenbestand op hetzelfde niveau geïsoleerd wordt als in landen rond de Middellandse Zee. Vanaf 1 januari 2006 moeten nieuwbouw- en verbouwde woningen een bepaald niveau van thermische isolatie (K-peil) en energieprestatie (E-peil) halen. Deze energieprestatierelgeving wordt EPB genoemd en staat voor Energieprestatie en Binnenklimaat.

2.1 De energieprestatie-eis

De energieprestatie-eis, waaraan voldaan moet worden, wordt uitgedrukt in het E-peil. Het E-peil is een maat voor het totale energieverbruik van een gebouw en is een globale aanwijzing voor de energiezuinigheid van het gebouw. Het E-peil beschouwt naast de verschillende aspecten die het energieverbruik beïnvloeden ook de verschillende aspecten die tijdens het ontwerp en de constructie van het gebouw bepaald worden.

De energieprestatierelgeving schenkt aandacht aan de volgende punten:

- Compactheid van de woning;
- Oriëntatie van de woning;
- Thermisch isoleren;
- Luchtdicht bouwen;
- Ventileren;
- Zonnewarmte benutten;
- Een hoog renderende installatie plaatsen voor verwarming en warm water.

Het E-peil wordt door alle bovenstaande aandachtspunten beïnvloed. Hoe lager het E-peil, hoe energiezuiniger de woning is.

Het E-peil kan als volgt gedefinieerd worden:

$$E = 100 \frac{\textit{karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik (MJ)}}{\textit{referentiewaarde voor het karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik (MJ)}}$$

De referentiewaarde is in woongebouwen in functie van de grootte van het gebouw (volume en verliesoppervlakte) en de ventilatiebehoefte. De verkregen waarde wordt dan vervolgens afgerond naar boven tot op een geheel getal. De energieprestatie-regelgeving bepaalt een maximaal E-peil van 100.

In formulevorm betekent dit:

$$E = 100 \frac{E_{char \textit{ ann prim en cons}}}{E_{char \textit{ ann prim en cons, ref}}}$$

Het karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik $E_{char \textit{ ann prim en cons}}$ wordt bepaald door:

primair energieverbruik voor ruimteverwarming

+

primair energieverbruik voor warm tapwater

+

primair energieverbruik door ventilatoren en hulpfuncties voor ruimteverwarming

+

primair energieverbruik voor koeling

-

eventuele primaire energiewinst door PV of WKK

$$E_{char\ ann\ prim\ en\ cons,\ ref} = a_1 \times A_{T,E} + a_2 \times V_{EPW} + a_3 \times \dot{V}_{dedic,ref}$$

met:

$$a_1 = 115$$

$$a_2 = 70$$

$$a_3 = 105$$

$$A_{T,E} = \text{warmteverliesoppervlakte}$$

$$V_{EPW} = \text{beschermd volume}$$

$$\dot{V}_{dedic,ref} = \text{bewust ventilatiedebiet}$$

2.2 Eisen voor thermische isolatie

Er zijn twee soorten eisen op het vlak van de thermische isolatie:

- Een maximaal peil van de globale warmte-isolatie van het gebouw (K-peil).
- Maximale warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde) van de scheidingsconstructies (muur, vloer, dak, raam, deur).

Het K-peil mag volgens de nieuwe regelgeving maximaal 45 bedragen.

2.3 Eisen voor het binnenklimaat

De eisen voor het binnenklimaat bestaan uit minimeisen voor de ventilatievoorziening en het beperken van het risico voor oververhitting in de zomer (*hoofdstuk 3.5*).

Hoofdstuk 3: Mogelijkheden om te voldoen aan de energieprestatieregelgeving

In *hoofdstuk 2* werd er uitgelegd welke eisen er gesteld worden door de nieuwe energieprestatieregelgeving. In dit hoofdstuk wordt er besproken welke mogelijkheden er bestaan voor het energiezuinig wonen en wordt er gekeken wat hun effect is op het E-peil.

3.1 Isolatie

(*Ideeën voor energiezuinig bouwen en verbouwen*, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2005; *Ideeën voor energiezuinig wonen*, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2005; *Praktische gids voor als u binnenkort gaat bouwen of verbouwen*, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2005)

3.1.1 Isolatiematerialen

Bij isolatiematerialen overheerst één eigenschap: een lage warmtegeleidingcoëfficiënt of λ -waarde. Het wil echter niet zeggen dat materialen met een lage λ -waarde altijd beter zijn voor isolatie dan materialen met een iets hogere waarde. De hogere λ -waarde kan gecompenseerd worden door een dikkere uitvoering.

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de meest courante isolatiematerialen en hun overeenkomstige λ -waarden.

Tabel 3.1: meest courante isolatiematerialen en hun overeenkomstige λ -waarden

Isolatiemateriaal	Afkorting	λ -waarde (W/Km)
Glaswol (Minerale Wol)	MW	0,032 - 0,040
Rotswol (Minerale Wol)	MW	0,035 - 0,042
Cellenglas	CG	0,042 - 0,050
Geëxpandeerd polystyreenschuim	EPS	0,033 - 0,042
Geëxtrudeerd polystyreenschuim	XPS	0,026 - 0,033
Polyurethaanschuim	PUR	0,023 - 0,032
Polyisocyanuraat	PIR	0,023 - 0,032

Bron: *Praktische gids voor als u binnenkort gaat bouwen of verbouwen*, Ministerie van de Vlaamse
Gemeenschap

In *tabel 3.2* wordt er weergegeven welke dikte een materiaal moet hebben om dezelfde isolatiewaarde te bekomen.

Tabel 3.2: dikte van de materialen om dezelfde isolatiewaarde te bekomen

U-waarde 0,64 W/m²K (berekening isolatiewaarde *tabel 3.3*)

Materiaal	Dikte materiaal (cm)
Polyurethaanschuim	4
Geëxtrudeerd polystyreenschuim	5
Glaswol/Rotswol	6
Geëxpandeerd polystyreenschuim	6
Cellenglas	7
Houtvezel	8
Hout (halfzwaar loofhout of zwaar naaldhout)	25
Cellenbeton	38
Geperforeerde snelbouwsteen	64
Baksteen	131
Gewapend beton	247

Bron: *Praktische gids voor als u binnenkort gaat bouwen of verbouwen*, Ministerie van de Vlaamse
Gemeenschap

Wij zien bijvoorbeeld dat 4 cm polyurethaanschuim een isolatiewaarde heeft die identiek is aan 131 cm volle baksteen. Deze tabel laat duidelijk zien hoe belangrijk het is om een woning te isoleren met het daarvoor gepaste materiaal.

Het isolerend vermogen van het isolatiemateriaal wordt uitgedrukt in de Rd-waarde (R-declared waarde). Hoe hoger deze waarde, hoe beter het isolatiemateriaal in de winter in staat is om de warmte in de woning te houden. De hoogte van de Rd-waarde hangt nauw samen met de dikte van het isolatiemateriaal. Hoe dikker het isolatiemateriaal, hoe hoger de Rd-waarde.

Naast de dikte van het isolatiemateriaal is de Rd-waarde mede afhankelijk van de λ -waarde van het isolatiemateriaal. Heeft een materiaal een hoge λ -waarde, dan wil dit zeggen dat het materiaal goede warmtegeleidende eigenschappen heeft. Het materiaal heeft dus een geringe waarde als isolatiemateriaal. Als het materiaal echter een lage λ -waarde heeft, zal het de warmte slecht geleiden en dus goed isoleren. Dit kan worden samengevat in de volgende formule:

$$Rd \left(Km^2 / W \right) = \frac{\text{dikte van het materiaal (m)}}{\lambda - \text{waarde (W / Km)}}$$

Men kan de verschillende soorten isolatiemateriaal dus onderling vergelijken aan de hand van de Rd-waarde. *Tabel 3.2* geeft de dikte van verschillende materialen weer om dezelfde isolatiewaarde te bekomen. Om te weten over welke isolatiewaarde het hier gaat, zal volgende berekening uitgevoerd worden. In *tabel 3.1* kan men de λ -waarden voor enkele isolatiematerialen zien. Het gemiddelde van de λ -waarden wordt berekend om de Rd-waarde van de verschillende isolatiematerialen te bepalen.

Met behulp van volgende formule komt men aan de waarden in *tabel 3.3*.

$$\overline{\lambda} = \frac{\lambda_{\max} + \lambda_{\min}}{2}$$

Tabel 3.3: berekening van de Rd-waarde van verschillende materialen met een gegeven dikte

Materiaal	$\overline{\lambda}$ (W/Km)	Dikte materiaal (m)	Rd-waarde (m²K/W)
Glaswol	0,036	0,06	1,67
Rotswol	0,0385	0,06	1,56
Cellenglas	0,046	0,07	1,52
EPS	0,0375	0,06	1,60
XPS	0,0295	0,05	1,69
PUR	0,0275	0,04	1,45

De Rd-waarde voor de verschillende isolatiematerialen uit *tabel 3.2* zal ongeveer gelegen zijn tussen 1,45 m²K/W en 1,69 m²K/W. De U-waarde is gelijk aan 1/Rd en zal in dit geval liggen tussen 0,59 W/m²K en 0,69 W/m²K. Op die manier komen wij tot een gemiddelde U-waarde van 0,64 W/m²K die de isolatiewaarde in *tabel 3.2* voorstelt.

3.1.2 Muurisolatie

Om te vermijden dat de warmte in huis verloren gaat via de muren, is een degelijke muurisolatie onontbeerlijk. Door het isoleren van muren krijgt men veel minder temperatuurschommelingen en kan een afgekoelde ruimte veel gemakkelijker en sneller weer opgewarmd worden.

3.1.2.1 Binnenmuren

Als men een muur bouwt, moet men ook rekening houden met vocht, verluchting en isolatiewaarde. Met de juiste materiaalkeuze van de binnenmuren kan men de verwarmingskosten laag houden en op deze manier het wooncomfort verbeteren.

Er kunnen twee soorten binnenmuren onderscheiden worden:

Keramische binnenmuren

- Slaan de warmte op en houden die binnen.
- Keramische muren zijn dampdoorlatend. Ze absorberen vocht uit de woning en geven dit af via de spouw.
- Het muuroppervlak blijft droog en voelt warm aan. Op deze manier kan men een aangenaam binnenklimaat verkrijgen.

Houten binnenmuren

- Deze muren zijn licht en men kan de volledige dikte van de muur gebruiken om te isoleren.
- Men kan er gemakkelijk leidingen in kwijt.
- Slaan minder gemakkelijk warmte op.

3.1.2.2 Spouwmuur

Een spouwmuur bestaat traditioneel uit vijf lagen: de gevelsteen, de luchtspouw, de thermische isolatie, de binnenmuur (snelbouwsteen) en een binnenbepleistering. De thermische isolatie in de luchtspouw beperkt de warmtedoorgang van binnen naar buiten. De pleisterlaag zorgt voor de luchtdichtheid van de muur.

Het is ook mogelijk de luchtsponw volledig op te vullen met het isolatiemateriaal. De isolatie moet overal mooi tegen de binnenmuur aansluiten. Een slechte aansluiting van de isolatie zorgt voor een valse luchtsponw en luchtcirculatie rond de isolatieplaten of -matten. Hierdoor gaat de isolerende werking van het isolatiemateriaal deels verloren.

De meest gebruikte isolatiematerialen voor sponwmuren zijn:

- Stijve of halfstijve isolatieplaten in minerale wol (glaswol of rotswol);
- Stijve isolatieplaten in polyurethaanschuim (PUR);
- Geëxpandeerd polystyreenschuim (EPS of beter gekend als isomo);
- Geëxtrudeerd polystyreenschuim (XPS).

3.1.2.3 Volle muren

Veel oudere woningen hebben volle muren, wat wil zeggen dat er geen sponw aanwezig is. De isolatie kan zowel tegen de buitenkant als tegen de binnenkant geplaatst worden. Buitenisolatie verdient de voorkeur, maar is echter niet altijd mogelijk. Buitenisolatie vraagt een aanvullende bescherming en afwerking met bijvoorbeeld nieuwe gevelsteen, leien, platen of gewapend pleisterwerk. Binnenisolatie is delicaat wegens het risico op condensatie en mag enkel toegepast worden na een grondige studie.

3.1.3 Vloerisolatie

De verliesoppervlakte van de vloer bedraagt gemiddeld ongeveer een kwart van de totale verliesoppervlakte van een woning. Afhankelijk van het soort vloer varieert de maximale U-waarde tussen 0,4 en 0,9 W/m²K. De dikte van de vloerisolatie is onder

meer afhankelijk van de ligging: een vloer op volle grond, boven een kruipruimte of kelder of boven de buitenomgeving.

Men kan isoleren aan de onderzijde van de draagvloer of tussen de draagvloer en de gewapende dekvloer. Hierbij kiest men tussen een isolatiemateriaal (bijvoorbeeld drukvaste isolatieplaten of een gespoten isolatiemateriaal) of een isolerende uitvullingslaag (bijvoorbeeld een isolerende chape). Een isolerende uitvullingslaag heeft een hogere λ -waarde dan een isolatiemateriaal. Als men dus kiest voor een isolerende uitvullingslaag, moet men een dikkere laag plaatsen om de vloer in dezelfde mate te isoleren.

Het isoleren van vloeren wordt vaak over het hoofd gezien. Men vergeet dat een niet-geïsoleerde grondvloer een bron is van koudestraling en warmteverlies. Volgens een enquête van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (P. AERTS en A. CLAES, 2001) heeft slechts 25% van de woningen in Vlaanderen vloerisolatie. Het niet of slecht isoleren van vloeren zorgt ervoor dat veel woningen niet voldoen aan de minimumisolatienormen.

3.1.4 Dakisolatie

Warme lucht stijgt, dus het loont zeker om het dak van uw huis te isoleren. Als men een zolder gebruikt als slaapkamer of hobbykamer is dakisolatie eigenlijk onmisbaar. Zowel platte als schuine daken zijn uitstekend te isoleren.

3.1.4.1 Hellend dak met isolatie in het dakschild

Isolatie tussen de dragende dakelementen

De ruimte tussen de kepers en spanten wordt opgevuld met een isolatiemateriaal. Om daken te isoleren tussen de kepers zijn halfstijve platen minerale wol aan te bevelen. Zij lenen zich het best voor het volledig egaal en luchtdicht aanbrengen van het isolatiemateriaal. In de dakconstructie moet steeds een ononderbroken lucht- of dampscherm aangebracht worden. Dat scherm belet dat het intern geproduceerde vocht zich ophoopt in de geplaatste dakisolatie, waardoor een deel van haar isolatiewaarde verloren gaat.

Zelfdragende isolerende dakelementen

Het dak is opgebouwd uit 'sandwichpanelen' waarbij de kepers, de isolatie, het onderdak en de tengellatten of stoflatten deel uitmaken van het paneel.

Sarkingdak

Dit is een isolatiesysteem waarbij de isolatieplaten bovenop de kepers en spanten worden aangebracht. De methode is geschikt als drager voor de dakbedekking met pannen, leien of metalen dakbedekking in stroken of platen.

Isolerende binnenafwerking

Kant-en-klare elementen, zoals warmte-isolatie en gipskarton, worden hiervoor gebruikt. Deze methode kan vooral bij verbouwingen gebruikt worden.

3.1.4.2 Warm plat dak

Bij het warme platte dak bevindt de isolatie zich aan de buitenkant van het dak, net onder de dakdichting. Op de draagvloer en de afschotlaag wordt eerst een

dampscherm aangebracht. Hierop plaatst u dan de isolatie en de dakdichting in een of meer lagen, afhankelijk van het gebruikte materiaal.

3.1.4.3 Omgekeerd plat dak

Bij het omgekeerde platte dak wisselen de isolatie en de dakdichting van plaats. De isolatie bevindt zich hier dus boven de dakdichtingslaag of –lagen. Een ballast boven het isolatiemateriaal is noodzakelijk om het wegwaaien te beletten.

3.1.4.4 Isolatie van het plafond naar de zolder

De isolatie van het plafond naar de zolder is geschikt als de zolder enkel gebruikt zal worden als bergruimte. De isolatie kan bovenop een vloerplaat geplaatst worden bij een zware vloeropbouw met welfsels, betonplaat, enzovoort. Bij een vloeropbouw met houten elementen gebeurt de plaatsing van de isolatie tussen de balken.

3.1.5 Energieprestatie en Binnenklimaat (EPB)

Het totale isolatiepeil K van een woning moet kleiner zijn dan of gelijk zijn aan 45. De U-waarde van de verschillende constructiedelen hebben eveneens een maximum. In *tabel 3.4* zien wij welke U-waarden de constructiedelen van nieuwe woningen maximaal mogen hebben.

Tabel 3.4: maximale U-waarden van constructiedelen

Constructiedeel	Maximale U-waarde (W/m ² K)
Dak of plafond naar niet-geïsoleerde zolder	0,4
Buitenmuur	0,6
Vloer boven een buitenomgeving	0,6
Binnenvloeren	0,4
Gemene muur naar buurgebouw	1,0
Venster (glas + schrijnwerk)	2,5
Beglazing	1,6

Bron: *Praktische gids voor als u binnenkort gaat bouwen of verbouwen*, Ministerie van de Vlaamse
Gemeenschap

De invloed van thermisch geïsoleerde constructiedelen (met dikkere of betere isolatie dan het absolute minimum) wordt in rekening gebracht in het E-peil. Hoe beter geïsoleerd, hoe lager het E-peil en het K-peil.

Om een U-waarde te behalen die kleiner is dan of gelijk aan de maximale U-waarde in *tabel 3.4* kunnen volgende voorbeelden van minimale diktes met bepaalde materialen een eerste richting aangeven om de eis van maximale U-waarde te behalen.

Buitenmuur:

- Geïsoleerd met glaswol of rotswol (MW) of met geëxpandeerd polystyreenschuim (EPS) met $\lambda = 0,040$ W/Km: minimale isolatiedikte is 5 cm.
- Geïsoleerd met geëxtrudeerd polystyreenschuim (XPS) of met polyurethaanschuim (PUR) met $\lambda = 0,032$ W/Km: minimale isolatiedikte is 4 cm.

Hellend dak:

- Geïsoleerd met MW of met EPS met $\lambda = 0,040$ W/Km: minimale isolatiedikte is 10 cm.

Plat dak:

- Geïsoleerd met XPS of met PUR met $\lambda = 0,032$ W/Km: minimale isolatiedikte is 8 cm.
- Geïsoleerd met MW of met EPS met $\lambda = 0,040$ W/Km: minimale isolatiedikte is 10 cm.
- Geïsoleerd met cellenglas (CG) met $\lambda = 0,050$ W/Km: minimale isolatiedikte is 12 cm.

Vloer op volle grond:

- Geïsoleerd met XPS of met PUR met $\lambda = 0,032$ W/Km: minimale isolatiedikte is 3 cm.
- Geïsoleerd met MW of met EPS met $\lambda = 0,040$ W/Km: minimale isolatiedikte is 4 cm.

3.2 Luchtdicht bouwen

Om de warmteverliezen naar buiten te beperken, is het naast het goed isoleren van alle muren, daken, vloeren en vensters belangrijk om de woning zo luchtdicht mogelijk te bouwen. Wind, verwarming en mechanische ventilatie veroorzaken verschillen in luchtdruk tussen binnen en buiten, zodat er heel wat warmte via kieren en spleten naar buiten ontsnapt.

Luchtdicht bouwen betekent spleten en kieren vermijden en ervoor zorgen dat de warmte zoveel mogelijk binnen blijft. Zo worden niet alleen overmatige luchtinfiltratie en tochtproblemen vermeden, maar wordt er ook veel energie bespaard.

3.2.1 Manieren om luchtdicht te bouwen

Men kan de constructiedelen aan de binnenzijde luchtdicht uitvoeren door:

- Bij buitenmuren in metselwerk de muren aan de binnenzijde te pleisteren (al dan niet in combinatie met buitenbepleistering).
- Bij daken en houtskeletbouw een aparte luchtdichte laag of folie aan te brengen, die meteen ook de functie van dampscherm of damprem vervult. Dit dampscherm voorkomt dat woonvocht door koken, douchen, enzovoort in de isolatie terechtkomt, waardoor de isolatiewaarde zou kunnen verminderen.
- De aansluiting van de vensters in de buitenmuren, de aansluiting van het dak aan de buitenmuren ter hoogte van de goot, enzovoort kan men best zo verzorgd en luchtdicht mogelijk uitvoeren.

3.2.2 Energieprestatie en Binnenklimaat (EPB)

Er wordt geen specifieke eis gesteld aan de luchtdichtheid van de woning. De invloed van de luchtdichtheid wordt echter wel in rekening gebracht in het E-peil. Hoe luchtdichter de woning is na uitvoering van de luchtdichtheidsmeting, hoe beter de energieprestatie en hoe lager het E-peil.

3.3 *Ramen en raamventilatie*

Ramen brengen licht en zonnewarmte binnen, maar laten ook meer warmte en koude door dan een goed geïsoleerde keramische muur of dak. Hoe beter de isolatiewaarde van het glas, hoe beter de warmte binnenblijft.

Ramen moeten:

- Goed isoleren;
- Water- en winddicht zijn;
- Gemakkelijk open en dicht gaan;
- Veilig zijn.

3.3.1 Raamprofielen

Raamprofielen moeten ook goed isoleren en mag men zeker niet uit het oog verliezen. Raamprofielen worden gemaakt uit kunststof, hout of aluminium. Men let best op volgende punten:

- Isolatiewaarde: de hoge isolatiewaarde van houten ramen wordt vooral bepaald door de dikte van het profiel. Bij ramen uit kunststof hangt de isolatiewaarde af van het aantal inwendige kamers van het profiel. De best isolerende kunststofprofielen zijn die met vijf kamers. Als men een zeer goed isolerend raam wenst, kiest men best voor een raamprofiel van 70 mm in samenwerking met hoogrendementsglas.
- Dichtingen: ramen moeten luchtdicht zijn en een goede akoestische isolatie hebben. De rubberen dichting moet voldoende samengedrukt worden als het raam sluit.
- Ventilatie: een ventilatierooster wordt best samen met de ramen besteld. De raamconstructeur kan dit dan gemakkelijk inbouwen. Men zorgt best voor een kwalitatief ventilatierooster. Een ventilatierooster moet water- en geluidsdicht zijn en mag geen tocht veroorzaken.
- Duurzaamheid: een correct geplaatst raam dat goed onderhouden wordt, kan jaren meegaan. Kunststof- en aluminiumprofielen vragen weinig onderhoud en zijn zeer duurzaam. Bij hout bepaalt niet alleen het onderhoud de

duurzaamheid, maar ook de houtsoort en de behandeling in de fabriek. Elke houtsoort heeft een duurzaamheidsklasse.

3.3.2 Raamventilatie

Bij raamventilatie wordt er voor de toevoer van verse lucht gezorgd op natuurlijke wijze. Zelfregelende roosters met een regelbare klep passen zich aan de winddruk aan. De hoeveelheid lucht die binnengelaten wordt, is uitgedrukt in m³ per uur. Raamverluchtingen kunnen gecombineerd worden met alle raamprofielen: hout, aluminium of kunststof.

Er bestaan verschillende types raamventilatie:

- Op het glas: deze rooster wordt vooral gebruikt bij renovaties als men een toevoerventilatie wil, maar het raam niet wil vervangen. Hier wordt enkel het glas vervangen.
- Op het raamprofiel en achter een slag: dit is een esthetische oplossing voor nieuwe ramen. Deze rooster moet wel gekozen worden op het moment dat men de ramen aankoopt. De afmeting van de ramen en de verluchttingsroosters kunnen in deze fase op elkaar afgestemd worden.

3.4 Glas en zonwering

3.4.1 Glas

Ramen hebben een grote invloed op de warmteverliezen van de woning, omdat zij een hogere warmtedoorgangscoefficiënt hebben dan geïsoleerde muren. Enkele beglazing

kan men best vervangen door dubbele beglazing en bij voorkeur door superisolerende beglazing of hoogrendementsbeglazing.

Gewoon dubbel glas is eigenlijk al een verouderde techniek. Hoogrendementsglas levert veel betere prestaties. Het isoleert ongeveer vijf keer beter dan enkel glas en twee tot drie keer beter dan gewoon dubbel glas. De meerkosten voor de aanschaf van hoogrendementsglas zijn snel terugverdiend door de lagere kosten voor verwarming (*zie hoofdstuk 5.4*).

3.4.1.1 Hoogrendementsglas

Hoogrendementsglas isoleert bijna drie keer beter dan gewoon dubbel glas en het verschil is amper zichtbaar. De spouw van het hoogrendementsglas is gevuld met een edelgas (meestal Argon) en aan de binnenkant van één van de glasbladen is een onzichtbaar metaallaagje aangebracht.

3.4.1.2 Zonwerende beglazing

Zonwerende beglazing of de vierseizoensbeglazing houdt in de winter de koude en in de zomer de felle hitte en zonnestralen buiten. Het is een helder hoogrendementsglas met zonwerende eigenschappen. 58% van de invallende stralen worden tegengehouden.

3.4.1.3 Akoestische beglazing

Akoestisch glas houdt geluid buiten van verkeer, industrie en regen en kan veel onnodige irritaties besparen.

3.4.2 Zonwering

Zonnewarmte is volledig gratis. Een teveel aan zonnewarmte maakt echter de leefruimte broeierig heet en dus zeer oncomfortabel in de zomer. Met een efficiënte zonwering kan men zowel de temperatuur als de lichtinval onder controle houden. Zo vermindert de nood aan een extra koelsysteem.

3.4.2.1 Zonweringsysteem

Buitenzonwering is beter dan binnenzonwering. Bij buitenzonwering worden de zonnestralen tegengehouden voordat zij het glasoppervlak raken. Eenmaal door het glas kan de zonnewarmte niet meer naar buiten zodat binnenzonwering minder gunstig is. Er bestaan verschillende soorten zonwering.

Screens

Screens zijn gemaakt uit een synthetisch gaasdoek. Zij houden de zonnewarmte tegen (tot 90%) en laten nog voldoende daglicht naar binnen. Een geleidingssysteem zorgt ervoor dat de screens op hun plaats blijven en dat insecten geen kans zien om binnen te komen.

Zonweringslamellen

Lamellen kunnen zowel horizontaal, verticaal als hellend geplaatst worden. Door de stand van de lamellen kan men zelf bepalen hoeveel licht men binnenlaat.

Rolluiken

Rolluiken houden zowel geluid als zon tegen en kunnen in de winter de warmte binnen houden. Een ander voordeel van rolluiken bestaat in de veiligheid die zij kunnen bieden voor een woning.

3.4.3 Energieprestatie en Binnenklimaat (EPB)

- De maximale U-waarde voor een raam (raamprofiel + glas) bedraagt 2,5 W/m²K.
- De maximale U-waarde voor glas is 1,6 W/m²K.
- De maximale U-waarde voor deuren en poorten bedraagt 2,9 W/m²K.

Het is zeer belangrijk om ook het risico op oververhitting in een woning te beperken. Het gebruiken van nuttige zonnewarmte en een teveel aan zonnewarmte weren, wordt in rekening gebracht in het E-peil.

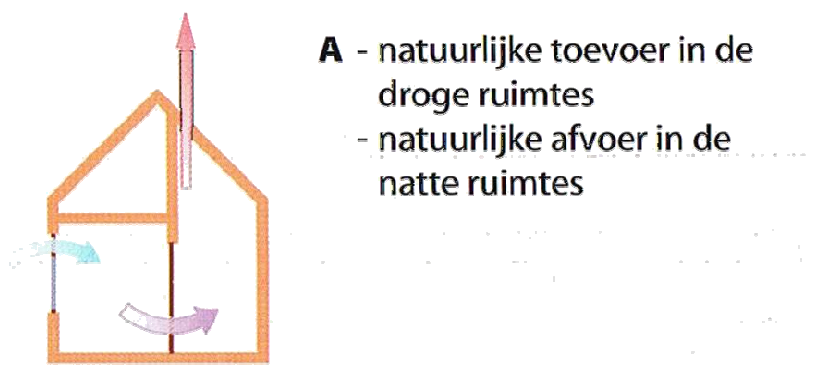
3.5 Ventilatie

Een gezond binnenklimaat is zeer belangrijk voor iedere bewoner. Een minimale ventilatie is noodzakelijk voor de gezondheid van de bewoners en zorgt voor een hoger wooncomfort. In een goed geïsoleerde en luchtdichte woning mag een gecontroleerde ventilatie dus zeker niet ontbreken.

Door het ademen en transpireren, maar ook door koken, wassen of douchen ontstaat er veel vocht in huis. Meubels, vloerbekleding of verf geven schadelijke stoffen af. Om een gezonde leefomgeving te creëren, zou er in een huis per uur en per persoon minstens 20 m³ verse lucht aangevoerd en evenveel verontreinigde lucht afgevoerd moeten worden.

Voor een goede ventilatie moet er: een toevoer zijn van verse lucht in de droge ruimtes (leefruimte en slaapkamers), een doorvoer van die verse lucht en een afvoer van vervuilde lucht uit de natte ruimtes (keuken, toilet, badkamer, wasplaats). Ventileren kan op een natuurlijke of een mechanische manier of een combinatie van beiden. Er kan op vier manieren geventileerd worden.

3.5.1 Ventilatiesysteem A



Figuur 3.1: ventilatiesysteem A

Bron: www.energiesparen.be

Dit systeem zorgt voor een toevoer van verse lucht via zelfregelende ventilatieroosters. De doorvoer van die lucht gebeurt via deurroosters. De afvoer van vervuilde lucht gebeurt via een verticaal kanaal met regelbare roosters.

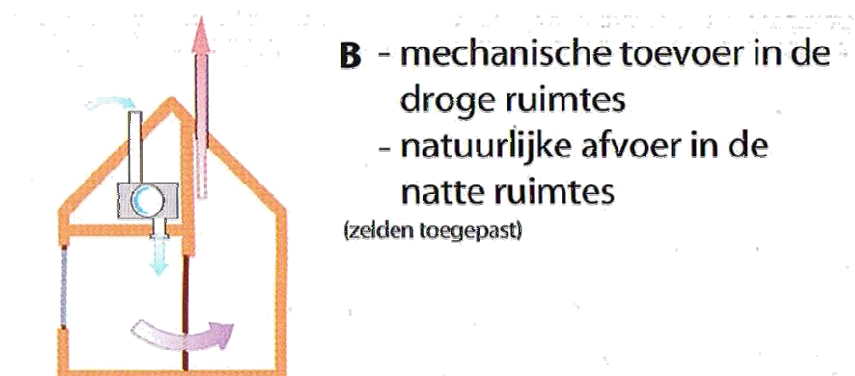
De voordelen van dit systeem zijn:

- Lage kostprijs;
- Weinig onderhoud en gebruiksvriendelijk;
- Eenvoudig te installeren;
- Geen elektrisch verbruik van ventilatoren.

De nadelen of aandachtspunten bij dit systeem:

- Het systeem realiseert een schouweffect op basis van de wind- en de luchtdruk. Dit maakt het systeem niet of zeer beperkt regelbaar. Bij veel wind treden soms grote warmteverliezen op en dit maakt het systeem weinig energiezuinig. Bij sommige weersomstandigheden kan de ventilatie juist onvoldoende zijn.
- Hoog uitstekende afvoerkanalen zijn niet altijd esthetisch.
- Ventilatiesysteem A is soms moeilijk uit te voeren.
- Het creëert soms een koudegevoel aan de vensters.

3.5.2 Ventilatiesysteem B



Figuur 3.2: ventilatiesysteem B

Bron: www.energiesparen.be

Bij systeem B gebeurt de toevoer van verse lucht via een ventilator. De doorvoer van deze verse lucht kan plaatsvinden via vaste deуроosters. De afvoer van de vervuilde lucht gebeurt op dezelfde manier als systeem A, dus via een verticaal kanaal met regelbare roosters.

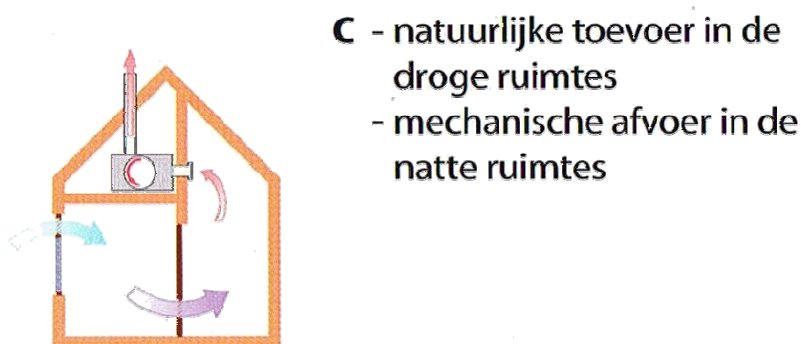
De voordelen van systeem B zijn:

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

De nadelen:

- Men moet opletten dat men geen overdruk creëert. Zo kan men rookgassen van kachels of een open haard naar binnen trekken.
- Het systeem resulteert in een hoger energieverbruik door de ventilatoren.

3.5.3 Ventilatiesysteem C



Figuur 3.3: ventilatiesysteem C

Bron: www.energiesparen.be

De toevoer en doorvoer van verse lucht gebeurt net zoals bij systeem A respectievelijk via regelbare ventilatieroosters en vaste deуроosters. De afvoer uit de natte ruimtes gebeurt mechanisch (met een ventilator). Deze ventilator beschikt over een minimumstand, maar geen nulstand.

De voordelen van ventilatiesysteem C zijn:

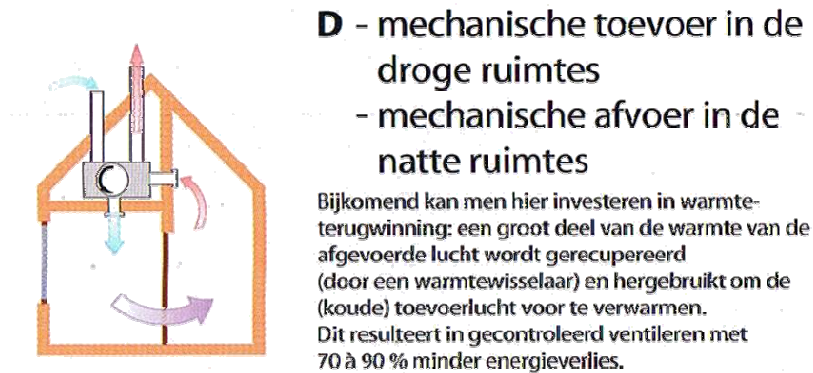
- Het is een eenvoudig systeem.
- Het heeft weinig impact op de constructie van het gebouw.
- Het systeem haalt beter de normen in alle weersomstandigheden.
- Er is een grotere keuze in de plaats van de toevoer- en afvoeropeningen met een ventilator.
- Het systeem kan gebruikt worden voor korte, intensieve ventilatie door het debiet van de ventilatoren tijdelijk te verhogen.

De nadelen van systeem C zijn:

- Men moet opletten dat men geen overdruk creëert.
- Er is een continue afvoer van warme lucht, onafhankelijk van de noodzaak ervan.
- Het systeem resulteert in een hoger energieverbruik door de ventilatoren.

3.5.4 Ventilatiesysteem D

Ventilatiesysteem D maakt gebruik van een mechanische toevoer van verse lucht via regelbare toevoermonden. De afvoer van vervuilde lucht maakt ook gebruik van ventilatoren. De doorvoer van de verse lucht gebeurt via vaste deуроosters.



Figuur 3.4: ventilatiesysteem D

Bron: www.energiesparen.be

De voordelen van dit systeem zijn:

- Men kan extra investeren in warmteterugwinning. Een groot gedeelte van de warmte van de afgevoerde lucht wordt dan gerecupereerd en hergebruikt om de koude luchttoevoer voor te verwarmen. Dat resulteert in minimaal en gecontroleerd ventileren met 70 à 90% minder energieverlies, afhankelijk van het rendement van de warmtewisselaar.
- Het systeem geeft minder problemen met over- of onderdruk.
- De toegevoerde lucht kan permanent gefilterd worden.
- Het systeem behoudt dezelfde voordelen van systeem C.

De nadelen van dit systeem zijn:

- Men let er best op dat de warmteterugwinning kan uitgeschakeld worden tijdens de zomer.
- Het systeem resulteert in een hoger energieverbruik door de ventilatoren.
- Er is meer voorstudie vereist voor dit systeem.
- Er is meer onderhoud noodzakelijk.

3.5.5 Energieprestatie en Binnenklimaat (EPB)

In elke woning moet minstens een ventilatiesysteem worden voorzien om een gezonde binnenomgeving te waarborgen. De keuze van het systeem is vrij. De invloed van een energiezuiniger ventilatiesysteem wordt in rekening gebracht in het E-peil.

3.6 Verwarming

Zoals wij in *Tabel I.1* gezien hebben, gaat er bij een gemiddeld gezin ongeveer 73% van het jaarlijkse energieverbruik naar verwarming. Er is op dit vlak nog een enorm potentieel om het energieverbruik te verminderen.

3.6.1 De energiebron

3.6.1.1 Primaire energie

De primaire energiebronnen zijn aardgas, aardolie, steenkool en hout. Zij komen in dezelfde vorm in de woning terecht als dat zij 'geoogst' worden. Deze bronnen zijn niet onuitputtelijk en worden stilaan duurder. Om het vereiste E-peil te bekomen, kiest men best voor aardgas of stookolie als algemene verwarming.

3.6.1.2 Elektriciteit

Elke energiebron heeft een verlies tussen de plaats van productie en de woning. In de berekening van het E-peil van een woning wordt het netto energieverbruik omgerekend naar de hoeveelheid energie die nodig is aan de bron (primaire energie). Bij deze omrekening krijgen aardgas en stookolie de factor 1 en elektriciteit de factor 2,5. Dat wil zeggen dat voor elke kWh die verbruikt wordt, er in de elektriciteitscentrale 2,5 keer zoveel energie nodig is. Als men dus kiest voor een elektrische verwarming dan moet men, om het vereiste E-peil te krijgen, heel wat extra inspanningen leveren om de warmtebehoefte in de woning tot een minimum te herleiden.

3.6.1.3 Hernieuwbare energie

Primaire energiebronnen zijn niet onuitputtelijk. Het is echter ook mogelijk om duurzame energie te produceren. Deze onuitputtelijke en milieuvriendelijke energie wordt gewonnen uit zon, wind, waterkracht en biomassa.

Zon

Invallende zonnestralen zijn een goedkope bron van woningverwarming. De leefruimtes worden dan ook best naar het zuiden gericht. Zonlicht kan echter ook rechtstreeks omgezet worden in elektriciteit via fotonvoltaïsche cellen. Dit systeem wordt gedetailleerd besproken in *hoofdstuk 4.5*.

Wind

Windenergie is de meest gekende en opvallendste vorm van groene energiewinning. Om windenergie te verkrijgen, heeft men niet alleen veel

wind, maar ook veel open ruimte nodig. Deze twee beperkingen zorgen ervoor dat men nog geen grote windparken in België ziet.

Waterkracht

Waterkrachtcentrales zetten de druk van het water om in elektriciteit. Om waterkracht te kunnen benutten, zijn er twee dingen nodig: een hoogteverschil in de rivier (verval) en een waterstroom (debiet). Als het verval en het debiet groot zijn, dan kan een waterkrachtcentrale veel elektriciteit opleveren.

Biomassa

Biomassa bestaat uit biologisch afbreekbare producten en afvalstoffen uit landbouw, bosbouw, industrie en huishoudens. Het omzetten van biomassa in elektriciteit zorgt voor 70% van de groene stroom in België.

3.6.2 Zuinige verwarmingssystemen

3.6.2.1 Hoogrendementsketel

Een hoogrendementsketel haalt een zeer hoog rendement uit de energiebron. Men herkent deze ketels aan het hoogrendementslabel. Voor aardgas spreekt men van een HR+ - label en bij het gebruik van stookolie spreekt men van een Optimaz-label.

3.6.2.2 Condensatieketels

Condensatieketels zijn de zuinigste toestellen en werken zowel op aardgas als op stookolie. Het principe is zeer eenvoudig. Als men iets verbrandt, komt er waterdamp

vrij. Bij de klassieke ketels gaat die waterdamp samen met de warmte door de schouw naar buiten. Bij condensatieketels echter koelt men de rookgassen sterk af, zodat de damp condenseert en water wordt. Op deze manier wordt de vrijgekomen warmte gerecupereerd en komt de warmte terug in het circuit terecht. Condensatieketels werken met een gesloten circuit. Zij zorgen zelf voor aanvoer van verse lucht en voor afvoer van de rookgassen. Condensatieketels verbruiken minder energie, omdat zij de warmte uit de rookgassen benutten. Op die manier bespaart men verwarmingskosten en wordt het milieu veel minder belast.

3.6.2.3 Warmtepompen

Een warmtepomp kan naar voor geschoven worden als energiezuinig alternatief voor een centrale verwarmingsketel. Men kan een warmtepomp voorstellen als een 'omgekeerde' koelkast. De warmtepomp onttrekt warmte aan lucht, aarde of water. Deze warmte wordt vervolgens op een hogere temperatuur 'gepompt' en via de centrale verwarmingsinstallatie in de woning gebracht. Bij voorkeur wordt de warmtepomp gecombineerd met een vloer- of wandverwarming, omdat men dan op een lagere temperatuur kan verwarmen. Enkel op deze manier kan een warmtepomp een hoger energetisch rendement behalen. Een warmtepomp heeft echter steeds een laag exergetisch rendement. De warmtepomp wordt gedetailleerd besproken in *hoofdstuk 4.2*.

3.6.2.4 Plaatselijke verwarmingstoestellen

Als men kiest voor afzonderlijke kachels, is het zeer belangrijk dat de toestellen veilig zijn en een hoog rendement hebben. De gesloten gevelkachels op aardgas hebben een hoog rendement (> 85%) en zijn een zuinig alternatief voor een centrale verwarming.

De toestellen worden door een buitenmuur op de buitenlucht aangesloten met een dubbelwandige buis. Het binnenste deel dient als schoorsteen en zorgt voor de afvoer van rookgassen. Het buitenste gedeelte voert de verse lucht aan.

3.6.3 De toebehoren

3.6.3.1 Thermostaat

Men kan de temperatuur van een woning regelen met een klassieke thermostaat met tijdstelling, die de warmtebehoefte vanuit één centrale plaats naar de rest van de woning stuurt. Een temperatuurregeling per kamer met een thermostatische kraan is echter energiezuiniger en verdient de voorkeur. Een derde manier is het plaatsen van een buitenvoeler die de ketelwatertemperatuur automatisch aanpast aan de weersomstandigheden. Op deze manier verwarmt men nooit teveel.

3.6.3.2 Verwarmingselementen

Bij de verwarmingselementen heeft men de keuze uit radiatoren, convectoren, vloer- en wandverwarming.

Radiatoren

Bij radiatoren stroomt het warme water door buizen of platen, die op hun beurt de warmte afgeven. Zij hebben een grotere waterinhoud dan convectoren en werken deels met convectie en deels met straling. Bij het gebruik van radiatoren verkrijgt men een gelijkmatige warmte in de ruimte.

Convectoren

Convectoren werken enkel op convectie. Dit gaat gepaard met verplaatsing van lucht. Convectoren zijn compacter en lichter dan radiatoren, warmen sneller op, maar koelen ook sneller af. Het voordeel van convectoren, ten opzichte van radiatoren, is dus dat de kamer sneller op temperatuur is. Convectoren werken echter wel met een hogere watertemperatuur om de convectie tot stand te brengen. Deze hoge watertemperatuur zorgt ervoor dat de condensatieketel minder condenseert en dus meer zal verbruiken.

Muur- en vloerverwarming

Muur- en vloerverwarming werken met een aangename stralingswarmte, doordat de warmte gelijkmatig verdeeld wordt over de kamer. Dit zorgt ervoor dat men bij een lagere kamertemperatuur, dan bij radiatoren en convectoren, hetzelfde comfortgevoel krijgt en dat de watertemperatuur van de ketel lager is. Het gebruik van muur- en vloerverwarming zorgt voor plaatswinst en kan overal toegepast worden. Er is geen stofcirculatie of irriterende droge lucht en het verwarmingssysteem is onderhoudsvrij en geruisloos.

3.6.3.3 Leidingen

Het is heel belangrijk dat men ervoor zorgt dat de verwarmingsleidingen binnen het geïsoleerde volume van de woning liggen. In de onverwarmde ruimtes kan men best de leidingen isoleren, zodat het water in de radiatoren minder snel zal afkoelen. Met een regelbare circulatiepomp, die uitgeschakeld wordt als er geen warmtevraag is, wordt er minder energie verbruikt.

3.6.4 Energieprestatie en Binnenklimaat (EPB)

De invloed van de energiebron, een energiezuinig verwarmingssysteem en verwarmingstoestel wordt in rekening gebracht in het E-peil. Hoe energiezuiniger de keuze, hoe beter de energieprestatie en hoe lager het E-peil.

3.7 Sanitair warm water

3.7.1 De energiebron

Het sanitair warm water kan met hetzelfde toestel aangemaakt worden als men gebruikt voor de ruimteverwarming (een combitoestel) of men kan kiezen voor een afzonderlijke boiler. Men kan ook kiezen voor een boiler die zonne-energie combineert met een boiler op aardgas, stookolie of elektriciteit. Dit wordt een bivalente boiler genoemd.

3.7.2 Boiler of geiser

Bij een doorstroomtoestel (geiser) wordt het water alleen opgewarmd op het ogenblik dat men het warme water nodig heeft. Dit is energiezuiniger dan het warm water permanent op temperatuur houden in een boiler of opslagvat. Een boiler geeft echter meer comfort en de nieuwste toestellen verliezen amper 3 à 4°C per dag.

3.7.3 Zonneboiler

Zonne-energie is gratis en ook in onze streken een zeer doeltreffende energiebron. Wij krijgen voldoende zonne-energie om ongeveer zes maanden per jaar warm water te produceren. Met een bivalente boiler die werkt op zonne-energie in de zomer en in de wintermaanden overschakelt op een andere energiebron, heeft men alle mogelijkheden in huis. De zonneboiler wordt verder besproken in *hoofdstuk 4.4*.

3.7.4 Energieprestatie en Binnenklimaat (EPB)

De invloed van een energiezuinige uitvoering van het systeem: namelijk korte leidingen, het isoleren van leidingen, een rendabel opslagvat, enzovoort wordt in rekening gebracht in het E-peil. Het plaatsen van een zonneboiler levert een extra energiebesparing op en brengt dus ook een lager E-peil met zich mee.

3.8 Conclusie

Eloi Glorieux (Groen!) vindt de nieuwe energieprestatieregelgeving in België absoluut een verbetering, omdat men voordien enkel isolatienormen had. Met de nieuwe regelgeving wordt de energieprestatie van een woning in zijn totaliteit bekeken. 'De isolatienormen waren voordien heel zwak en het bleek dat als men een werfcontrole deed, maar in amper 15% van alle nieuwe huizen die gebouwd werden, die zwakke normen werden gerespecteerd.'

Eloi Glorieux zegt over het decreet het volgende (*bijlage 3*): 'Het is ongetwijfeld zo dat door de late invoering van het decreet, want wij zijn er 7 jaar geleden al aan

begonnen, de normen al achterhaald waren vooraleer wij van start gingen. Vlaams Minister van Energie (Kris Peeters) heeft geprofiteerd van elke mogelijkheid die de Europese Commissie gaf om het decreet uit te stellen. Dit maakt dat wij er pas mee begonnen zijn op de uiterste limietdatum, namelijk 1 januari 2006. De reden hiervoor is dat België heel dure contracten gegeven had aan de WTCB (Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf) voor het maken van allerhande berekeningen en het ontwikkelen van modellen voor de regelgeving. Men had beter gewoon het model van Nederland overgenomen waar de energieprestatieregelgeving al sinds 1995 van kracht is. Op deze manier had men veel tijd en geld kunnen besparen.'

Volgens de Vlaamse overheid weten de Vlamingen wel hoe zij energie kunnen besparen, maar doen zij het te weinig uit gemakzucht. Volgens Bram Claeys van de Bond Beter Leefmilieu (BBL) is het beeld van de luie Vlaming misschien wel een afspiegeling van een luie Vlaamse overheid. De reden dat de Vlaamse woningen behoren tot de slechtst geïsoleerde van de EU heeft ook volgens de BBL alles te maken met het gebrek aan ambitie van de bouwnormen. Claeys pleit er daarom voor dat de Vlaamse overheid nog strengere isolatienormen zou invoeren. De nieuwe energieprestatieregelgeving gaat voor hem niet ver genoeg. De Vlaamse overheid laat met andere woorden kansen liggen om de energiefactuur voor de Vlaming te verlagen (www.vrtnieuws.net).

Als wij naar de uitspraken kijken van Eloi Glorieux (Groen!) en Bram Claeys (BBL) merken wij dat deze veel kritiek geven op de Vlaamse overheid. Deze kritiek is misschien niet altijd gegrond, maar het is duidelijk dat de energieprestatieregelgeving een noodzaak is voor het energiezuinig wonen in België. Door de late invoering van de regelgeving zouden de normen veel strenger moeten zijn dan momenteel het geval is. Sinds de kritiek die de Vlaamse overheid gekregen heeft, neemt deze wel zijn verantwoordelijkheid op. Er wordt meer informatie gegeven aan de burgers over het energiezuinig wonen en de Vlaamse overheid gaat opnieuw bonnen uitdelen voor gratis spaarlampen. Deze actie was enkele jaren geleden ook al een groot succes

gebleken. Op die manier heeft de kritiek van de verschillende milieuverenigingen toch ook een positief effect.

In Nederland is de energieprestatieregelgeving al sinds 1995 van kracht, zodat daar praktisch alle huizen aan een minimale tot uitstekende energieuinigheid voldoen. België moet daarentegen nog bijna vanaf nul beginnen en recent onderzoek heeft aangetoond dat de huizen in België geïsoleerd zijn op het niveau van landen rond de Middellandse Zee. Ook voor het behalen van de Kyoto-norm laat België hier een enorm potentieel aan mogelijkheden liggen om de uitstoot van broeikasgassen terug te dringen. Het verwarmen van gebouwen zorgt voor bijna 22% van de uitstoot van broeikasgassen zoals wij in *figuur 1.3* gezien hebben.

Hoofdstuk 4: Technologische analyse

De laatste jaren zijn er verschillende nieuwe technieken ontstaan om energiezuiniger te wonen. Deze technieken maken zoveel mogelijk gebruik van duurzame energiebronnen en zorgen voor een minimum aan energieverlies. In dit hoofdstuk worden volgende technieken achtereenvolgens besproken:

- Verwarmingsinstallatie;
- Warmtepomp;
- Warmtekrachtkoppeling;
- Zonneboiler;
- Fotovoltaïsche zonnecellen.

4.1 Verwarmingsinstallatie

(Ideeën voor energiezuinig wonen, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2005)

Ongeveer 70% van het energieverbruik in het huishouden gaat naar verwarming (*tabel I.1*). Verwarming staat dus bovenaan het prioriteitenlijstje als het gaat om energiebesparing.

Het rendement van zowel aardgas- als stookolieketels is de jongste tien jaar aanzienlijk verbeterd. Als men in een centrale verwarming voorziet, wordt er best een zuinige, goed afgestelde verwarmingsketel geplaatst. Er wordt best gekozen voor een hoogrendementsketel of een condensatieketel. Energiezuinige toestellen kan men herkennen aan het gebruikte label. Bij aardgas spreken wij van een hoogrendementsketel met een HR+ -label. Een condensatieketel op basis van aardgas (HR-top-label) heeft nog een hoger rendement, waarbij de warmte van de rookgassen

eveneens wordt benut. Een hoogrendementsketel op basis van stookolie heeft een Optimaz-label, een condensatieketel draagt een Optimaz-elite-label.

Het vermogen van de verwarmingsketel is essentieel. Het moet immers voldoende groot zijn om de woning optimaal te verwarmen, maar mag zeker niet te groot zijn, omdat dan het rendement daalt. Het K-peil en het volume van de woning zijn hier doorslaggevend. Voor een middelgrote nieuwe woning moet een vermogen van minder dan 30 kW volstaan. Voor een K-30 woning kan 10 kW ruim voldoende zijn.

4.2 Warmtepomp

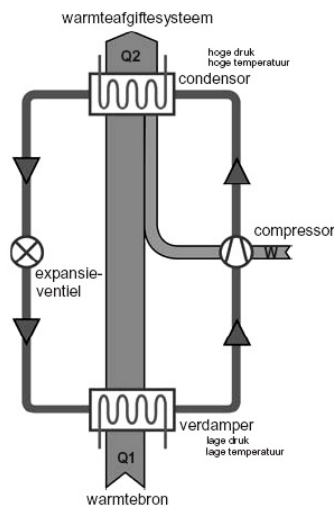
(Warmtepompen voor woningverwarming, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004; L. VERACHTERT, 2005)

In de natuur gebeurt warmtetransport van lichamen met een hoge temperatuur naar lichamen met een lage temperatuur. Een voorwerp dat warmer is dan de omgeving zal zijn warmte afgeven aan die omgeving en afkoelen. Een warmtepomp doet net het omgekeerde: een warmtepomp onttrekt warmte aan een warmtebron op een bepaalde temperatuur en geeft deze warmte bij een hogere temperatuur af aan een ander medium. De warmtepomp pompt dus thermische energie van een laag naar een hoog temperatuurniveau. Het rendement wordt bepaald door het temperatuursverschil tussen de twee omgevingen. Hoe kleiner het verschil, des te hoger het maximaal te behalen energetisch rendement. De warmtepomp werkt dus het best als er laagwaardige lage temperatuur warmte geleverd kan worden. Men heeft het hier dan vooral over vloer- en wandverwarming.

4.2.1 Werkingsprincipe

De werking van een warmtepomp is gebaseerd op drie fysische verschijnselen:

- Bij verdamping van een vloeistof wordt er warmte opgenomen en bij condensatie komt er warmte vrij.
- Het kookpunt van een vloeistof (dit is de temperatuur waarbij een vloeistof overgaat in dampvorm) is afhankelijk van de druk van de vloeistof. Het kookpunt stijgt bij stijgende druk van de vloeistof.
- De temperatuur van een gas stijgt onder toenemende druk.



Figuur 4.1: werking van een warmtepomp

Bron: www.energiesparen.be

Het proces dat een warmtepomp doorloopt (*figuur 4.1*), bestaat uit vier stappen: tijdens de eerste stap onttrekt de transportvloeistof in de verdamper warmte aan de omgeving. Het kookpunt van deze vloeistof ligt bij lage druk lager dan de temperatuur van de warmtebron. Daardoor kan de vloeistof al bij die lage temperatuur verdampen en zo warmte onttrekken aan de warmtebron. Vervolgens verhoogt de compressor de druk van deze vloeistof, zodat ook de temperatuur wordt verhoogd. Verderop in de cyclus geeft de condensor warmte af aan het warmte-afgiftesysteem, zodat de damp

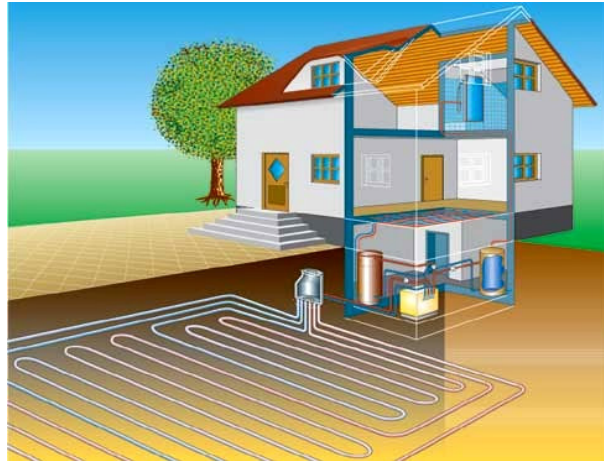
afkoelt en terug een vloeistof wordt. Als laatste stap moet de vloeistof door het ontspanningsventiel. Om terug te keren naar de begintoestand is het immers nodig dat de druk verlaagd wordt. Het ontspanningsventiel verlaagt de druk, waardoor het kookpunt van de transportvloeistof verlaagt. De temperatuur daalt tot zij lager is dan de buitenomgeving. De kringloop kan herbeginnen.

4.2.2 Soorten

4.2.2.1 Aarde

De eerste meters onder het aardoppervlak zijn nog sterk onderhevig aan de seizoensschommelingen. Op 5 à 7 meter diepte is deze invloed echter bijna verdwenen en heeft de bodem een temperatuur van 10°C à 12°C. De aarde is dus een zeer goede warmteaccumulator.

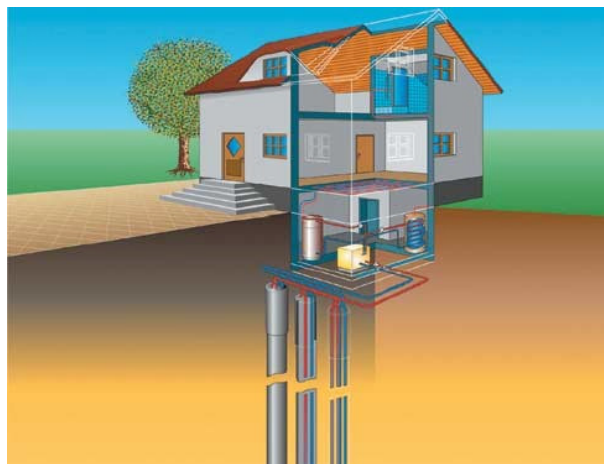
Bij een horizontaal captatienet (*figuur 4.2*) bestaat het captatienet uit kunststof-buizen die ongeveer 1,2 meter diep in de tuin liggen. Door deze buizen stroomt ijskoud water van de warmtepomp. Dit water wordt opgewarmd door de warmere aarde. Voordelen van dit systeem zijn dat het bijna overal toepasbaar is, het onbeperkt beschikbaar is en het over een gesloten systeem gaat. Nadelen zijn echter dat het veel plaats in beslag neemt, de brontemperatuur varieert, er een mogelijkheid tot uitputting van de bodem bestaat, er een daling van de brontemperatuur is tijdens het stookseizoen en lekdichtheid noodzakelijk is.



Figuur 4.2: horizontaal captatienet

Bron: www.supersystems.be

Wanneer men slechts over een klein grondoppervlak beschikt, kan men warmte uit de aarde onttrekken via verticale aardsondes (*figuur 4.3*). In één of meerdere boringen die tussen 25 en 75 meter diep zijn, worden kunststofbuizen neergelaten waardoor het ijskoude water van de warmtepomp circuleert en de warmte opneemt.



Figuur 4.3: verticale aardsondes

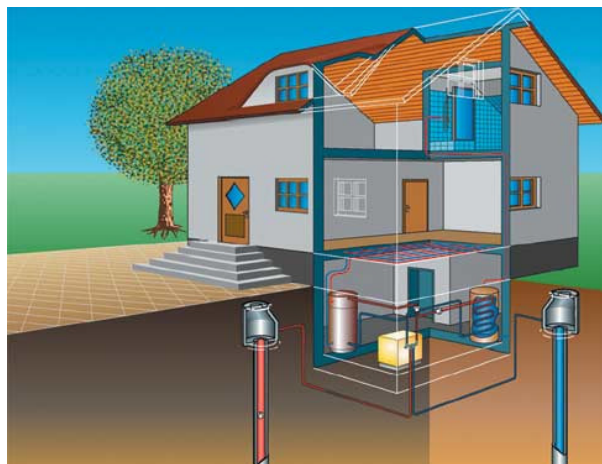
Bron: www.supersystems.be

Voordelen hierbij zijn vooral dat de brontemperatuur relatief hoog is en weinig varieert en dat het captatienet niet al te veel grond in beslag neemt. Verder heeft dit systeem dezelfde voordelen als een horizontaal captatienet. Als nadelen zijn te

noteren dat de brontemperatuur daalt in het stookseizoen, lekdichtheid noodzakelijk is en aangepaste computerapparatuur vereist zijn.

4.2.2.2 Grondwater

Bij deze methode wordt grondwater opgepompt en rechtstreeks naar de warmtepomp gestuurd (*figuur 4.4*). Het afgekoelde water vloeit daarna terug via een retourput. Het is van primordiaal belang dat het water van goede kwaliteit is en dat het water niet in aanraking met de lucht wordt gebracht. Positief aan deze opstelling is dat een beperkte hoeveelheid grond in beslag wordt genomen, dat de brontemperatuur relatief hoog en constant is en dat het grondwater onuitputbaar is. De nadelen zijn talrijk: een goede kwaliteit van water is niet overal beschikbaar, het water bevindt zich niet overal op haalbare diepte, het vergt een hoge investeringskost, het gaat over een open systeem, er is energie nodig voor het oppompen van het water, een milieuvergunning is noodzakelijk, de scheiding van koelmiddel en grondwater moet gegarandeerd zijn en grondige geohydraulische kennis is vereist.

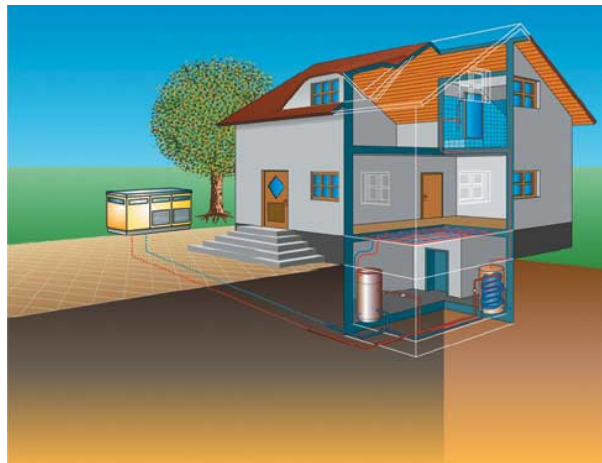


Figuur 4.4: grondwater als warmtebron

Bron: www.supersystems.be

4.2.2.3 Lucht

Lucht is overal en in voldoende mate aanwezig. Bij lage buitentemperaturen is de hoeveelheid warmte die wij uit deze lucht kunnen halen echter vrij laag. Daarom is tijdens koude periodes een extra verwarmingsbron nodig om de warmtepomp te ondersteunen. Voordelen bij dit systeem (*figuur 4.5*) zijn: een beperkt grondbeslag, het is bijna overal toepasbaar, lucht is onbeperkt beschikbaar, onuitputbaar en het vergt een lage investeringskost. De nadelen verbonden aan deze opstelling zijn: een ontdooisysteem en hulpverwarmingssysteem zijn nodig, zeer sterk wisselende brontemperaturen met eventueel periodiek zeer lage temperaturen.



Figuur 4.5: lucht als warmtebron

Bron: www.supersystems.be

4.2.3 Rendement

Het enige onderdeel van de warmtepomp dat energie verbruikt is de compressor. Bijgevolg bepaalt het energieverbruik van de compressor de winstfactor van de warmtepomp. De winstfactor of Coefficient Of Performance (COP) wordt berekend door

de geleverde nuttige energie van de warmtepomp te delen door de opgenomen elektrische energie en bepaalt zo het energetisch rendement.

Hoe groter de drukverhoging die de compressor moet realiseren, hoe hoger het energieverbruik en hoe lager de winstfactor. De drukverhoging hangt rechtstreeks samen met de gerealiseerde temperatuursverhoging in het warmtedragend medium. Deze temperatuursverhoging is afhankelijk van het temperatuursverschil tussen de warmtebron en het warmte-afgiftesysteem. Hoe hoger de temperatuur van het warmte-afgiftesysteem, hoe hoger de winstfactor.

Het energetisch rendement ligt steeds hoger dan 100%. Indien de COP kleiner zou zijn dan 1, zou men meer energie moeten aanwenden dan dat er nuttige warmte wordt geproduceerd. Enkele waarden: bij een warmtepomp die gebruik maakt van de aarde bekomt men een COP van 3,5 per jaar, water haalt een COP van meer dan 4 per jaar en lucht een COP van 2,5 tot 3 per jaar.

4.3 Warmtekrachtkoppeling

(COGEN Vlaanderen, 2004; L. VERACHTERT, 2005)

De energiebehoefte van een gebouw bestaat klassiek uit warmte en elektriciteit. Meestal worden warmte en elektriciteit gescheiden geproduceerd in afzonderlijke installaties. Elektriciteit wordt vaak op afstand opgewekt in grote centrales. Warmte daarentegen wordt meestal ter plaatse bij de gebruiker geproduceerd. Door deze aparte productie gaat er energie verloren door transport en wordt er warmte geproduceerd op een niet al te hoge temperatuur. Dit zorgt voor aanzienlijke kwaliteitsverliezen. Warmtekrachtkoppeling (WKK) kan voor deze problemen een oplossing bieden. Bij WKK wordt elektriciteitsopwekking gebruikt om warmte op de gewenste temperatuur te produceren. De energie die aanwezig is in de brandstof

wordt op die manier veel beter benut. Minder brandstofverbruik reduceert op zijn beurt de uitstoot van CO₂ en andere schadelijke stoffen.

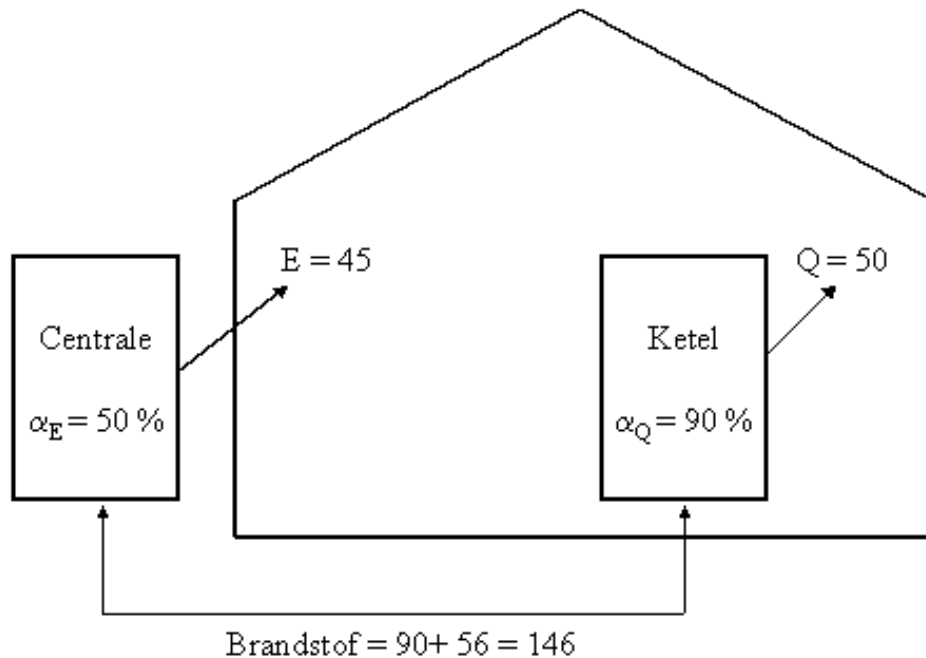
Bij WKK wordt hoogwaardige warmte in eerste instantie gebruikt voor het produceren van elektriciteit. Hierna blijft laagwaardige restwarmte over, die gebruikt kan worden om de specifieke warmtevraag in te vullen. Warmte is de belangrijkste factor en het is dan ook essentieel dat de warmte nuttig aangewend wordt. Daarom wordt een WKK-installatie bij voorkeur op de warmtevraag gedimensioneerd. De opgewekte elektriciteit is eigenlijk een nuttig bijproduct van de warmteproductie. Men kan dus stellen dat WKK een slimme manier is om warmte te produceren, waarbij een veel hoger exergetisch rendement bekomen wordt. Het totale exergetische rendement voor omzetting van brandstof in elektriciteit en warmte situeert zich rond 85%.

4.3.1 Principe

Bij WKK wordt zowel warmte als elektriciteit opgewekt in eenzelfde installatie. De hoogwaardige warmte (1200 °C), die vrijkomt bij de verbranding van een brandstof, wordt eerst gebruikt voor het produceren van mechanische energie. Deze mechanische energie wordt verder via een alternator omgezet in elektriciteit. Hierna blijft er laagwaardige restwarmte over die op haar beurt wordt gebruikt om te voldoen aan de specifieke warmtevraag. Volgende figuren geven weer hoe bespaard kan worden op primaire energie (energie die niet ontstaan is door omzetting van een andere vorm van energie).

Figuur 4.6 schetst een situatie waarbij warmte en elektriciteit apart worden geproduceerd. De elektriciteit moet aangekocht worden bij een elektriciteitsmaatschappij. Het rendement van een elektriciteitscentrale hangt sterk af van het type centrale. De transport- en distributieverliezen hangen sterk af van de situering

van de klant binnen het elektriciteitsnet. In dit voorbeeld wordt er verondersteld dat men 45 eenheden elektriciteit (E) en 50 eenheden warmte (Q) nodig heeft.

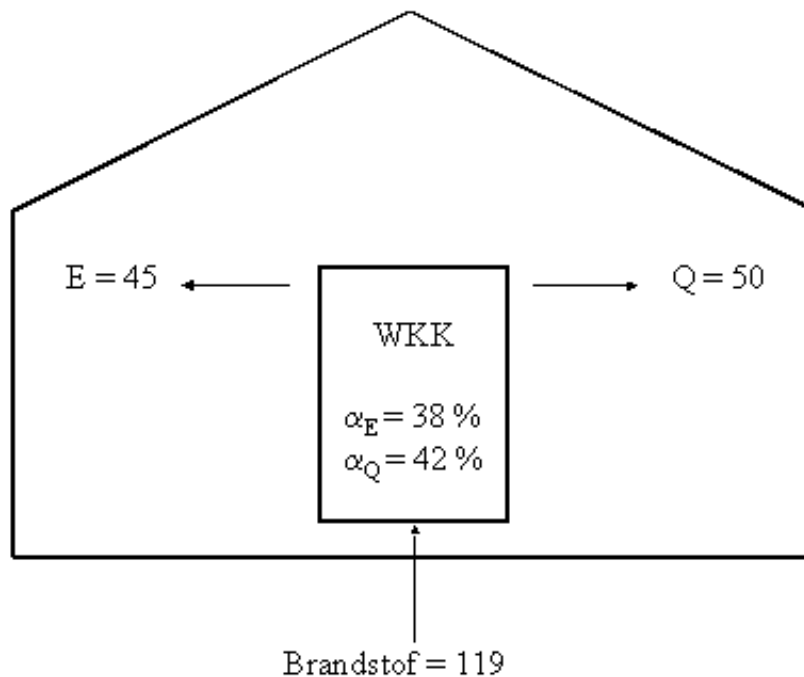


Figuur 4.6: situatie zonder WKK

Bron: COGEN Vlaanderen

Wij veronderstellen dat bij gescheiden opwekking de elektriciteitsproductie een rendement heeft van 50%, hetgeen refereert naar de hoogrendement STEG-centrales. De warmteproductie (ketel) wordt verondersteld een rendement te behalen van 90%. Hieruit kunnen wij afleiden dat de centrale 90 eenheden ($45/0,5$) primaire grondstof nodig heeft om 45 eenheden elektriciteit te kunnen leveren aan de klant. Veder zijn er nog eens 56 eenheden ($50/0,9$) primaire energie nodig om 50 eenheden warmte te produceren indien men uitgaat van een ketel met een rendement van 90%. Opgeteld zijn er dus 146 eenheden ($90+56$) primaire energie nodig om te voldoen aan de totale warmte- en elektriciteitsvraag van het gebouw.

Figuur 4.7 toont de ideale situatie, waarbij de WKK-installatie volledig kan voldoen aan de elektriciteits- en warmtevraag. Er wordt verondersteld dat er geen elektriciteit moet aangekocht worden en dat de ketels geen extra warmte moeten produceren.



Figuur 4.7: situatie met WKK

Bron: COGEN Vlaanderen

Uitgaande van een totale brandstofbenutting van de WKK-installatie van 80% (elektrisch rendement 38%, thermisch rendement 42%) leidt dit tot een behoefte aan primaire energie van 119 eenheden ($45/0,38 + 50/0,42$). WKK levert een primaire energiebesparing op van 27 eenheden ($146-119$), wat neerkomt op een besparing van 18,5% ($27/146$).

Voorgaande is natuurlijk een ideaal geval, waarbij de WKK op elk moment precies de behoefte aan zowel warmte als elektriciteit kan dekken. In de praktijk is dit niet altijd het geval, zodat de mogelijkheid om bijkomende energie te produceren op de

klassieke wijze steeds moet voorzien worden. Dit zorgt voor een primaire energiebesparing die iets kleiner is dan hierboven berekend werd.

4.3.2 Technologieën

De meest courante uitvoeringsvormen zijn de installaties met turbines en de installaties met motoren. Onder de toepassingen van de turbinetechnologie vinden wij een stoomturbine, een gasturbine of een gecombineerde cyclus van stoom- en gasturbine. Deze turbinetechnologie wordt hoofdzakelijk gebruikt voor grote WKK-installaties, maar kunnen ook voor middelgrote en kleine vermogens toegepast worden. Omwille van het relatief kleine belang dat zij momenteel spelen bij residentiële WKK, worden deze installaties niet verder besproken.

Voor de kleinere toepassingen is de motor de meest aangewende technologie. Voor WKK-toepassingen worden vrijwel alleen zuigermotoren met inwendige verbranding gebruikt, namelijk Dieselmotoren en Ottomotoren.

4.3.2.1 Ottomotoren of gasmotoren

Dit type motor is een viertaktmotor, aangezien er vier slagen zijn in één cyclus. Een cyclus bestaat uit inlaat, compressie, expansie door verbranding en uitlaat. Een mengsel van brandstof en lucht wordt aangezogen in de cilinder (inlaat) en vervolgens samengedrukt (compressie). De ontsteking gebeurt aan het einde van de compressie door een extern opgewekte vonk. Bij de verbranding komt energie vrij in de vorm van warmte. Hierdoor neemt de druk enorm toe en wordt de zuiger naar beneden gedrukt (expansie). Als laatste worden de rookgassen uit de cilinder gedreven (uitlaat). Als brandstof wordt vaak aardgas gebruikt. Gasmotoren kunnen ook als WKK aangewend

worden voor verwarming en elektriciteitsproductie in particuliere woningen. Geluidshinder en de hoge kostprijs vormen hierbij de grootste hinderpalen.

4.3.2.2 Dieselmotoren

De Dieselmotor is eveneens een viertaktmotor. Het verschil met de gasmotor is dat enkel lucht wordt samengedrukt in de cilinder en dit tot een temperatuur die hoger is dan de ontstekingstemperatuur van de brandstof. Vervolgens wordt deze brandstof ingespoten en ontsteekt ze. Door de drukstijging ten gevolge van de verbranding wordt de zuiger teruggedrongen: er wordt arbeid geleverd. De laatste fase is opnieuw de uitdrijving van de rookgassen uit de cilinder. Dieselmotoren halen een hoger elektrisch rendement, maar een lager thermisch rendement dan gasmotoren. Zij situeren zich meer richting grotere vermogens.

Het belangrijkste voordeel van de zuigermotoren is dat zij snel zijn opgestart. Nadelen zijn dat de opwarming traag gebeurt, de installaties duur zijn, veel onderhoud vragen en veel lawaai maken.

Microturbines, Stirlingmotoren, brandstofcellen en de Rankine Cyclus zijn veelbelovende technologieën voor kleinschalige warmtekrachtkoppeling. Deze worden hier kort besproken.

4.3.2.3 Microturbines

Microturbines verschillen eigenlijk weinig van de klassieke, grote gasturbine. Het verschil situeert zich in het feit dat de microturbine kan worden uitgerust met een recuperator wat enkele belangrijke voordelen oplevert.

Microturbines werken volgens hetzelfde principe als een gasturbine. In een gasturbine wordt er buitenlucht aangezogen en gecomprimeerd. De lucht die door de compressie reeds warm is, wordt verder verhit door de verbranding van een brandstof. De gecomprimeerde en hete rookgassen expanderen in een turbine en leveren daarbij kracht. Aan de turbine is een generator bevestigd die deze kracht omzet in elektrische energie.

Het probleem bij de gasturbine is dat voor kleine vermogens het omzettingsrendement laag is. Bij de microturbine gaat men dit verbeteren door een deel van de warme rookgassen te gebruiken om de lucht voor te verwarmen voordat deze de verbrandingskamer binnen gaat. Deze warmte die in de recuperator wordt teruggewonnen, helpt mee om de kracht te leveren in de expansieturbine en zo het rendement van de machine op te drijven.

De microturbine heeft enkele voordelen ten opzichte van de gasturbine. Ten eerste wordt in de microturbine alle warmte beschikbaar gesteld via de rookgassen. Daaruit volgt dat er maar één warmtewisselaar nodig is en dat het bovendien eenvoudiger wordt om de warmte te benutten. Ten tweede scoort de microturbine beter op het gebied van emissies, omwille van het continue verbrandingsproces in de turbine. Een derde voordeel ligt in de lage onderhoudskost door een gering aantal bewegende onderdelen. Een laatste voordeel is zijn brandstofflexibiliteit (microturbines kunnen ook goed overweg met brandstoffen met een lagere of niet-constante energie-inhoud).

Het belangrijkste nadeel ten opzichte van de gasturbine is dat de microturbines een lager elektrisch rendement en een lager totaal rendement hebben dan een gasturbine van hetzelfde vermogen.

4.3.2.4 Stirlingmotoren

De techniek van de Stirlingmotor is gebaseerd op de Stirlingcyclus. De Stirlingcyclus is een gesloten thermodynamische cyclus waarbij een werkgas, meestal helium of lucht, afwisselend gecomprimeerd wordt als het koud is en geëxpandeerd wordt als het warm is. Dit levert een netto arbeid op die wordt gebruikt om een generator aan te drijven. De verwarming gebeurt door een externe bron. Daardoor kan een grote verscheidenheid aan brandstoffen gebruikt worden.

Bij kleinschalige WKK-toepassingen wordt de Stirlingmotor ingebouwd in een klassieke verwarmingsketel. In deze ketel geven de rookgassen hun warmte af aan het water dat door de warmtewisselaar stroomt. Het water warmt hierdoor op en kan verder nuttig gebruikt worden voor een bepaalde warmtevraag.

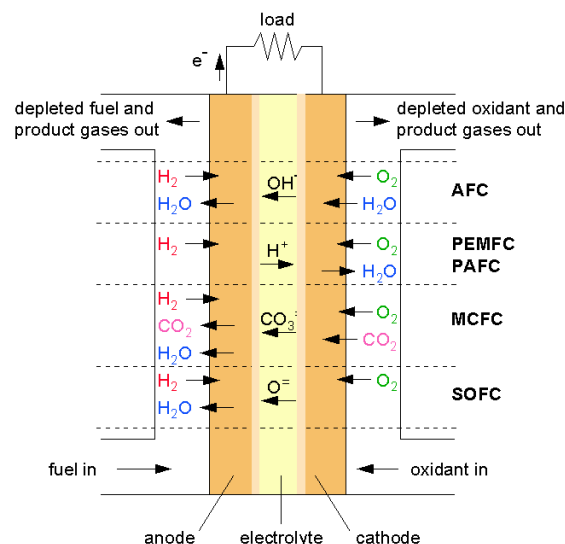
De Stirlingmotor heeft tal van voordelen. Het inbouwen van de motor in de ketel betekent dat een aantal eigenschappen van de klassieke stookinstallatie behouden blijven en dat er dus geen back-upketel of bijkomende warmteopslag nodig is. Door gebruik te maken van een klassieke ketel die reeds een hoog rendement heeft, ligt het thermisch rendement rond de 50-65%. Doordat de verbranding uitwendig gebeurt, kan eender welke brandstof gebruikt worden en is de motor aanzienlijk stiller. De motor vraagt eveneens weinig onderhoud. Nadelen zijn dat de motor een zekere opstarttijd nodig heeft, het een laag elektrische rendement heeft (ongeveer 10% voor de kleinste toestellen, 30% voor de grotere) en een erg hoge kostprijs heeft.

4.3.2.5 Brandstofcellen

Een brandstofcel is een elektrochemisch apparaat, dat chemische energie rechtstreeks omzet in elektriciteit. Er wordt dus geen thermodynamische cyclus doorlopen. De

werking van de brandstofcel steunt op de oxidatie van waterstof met het oxidans zuurstof. Dit is een exotherme reactie, wat wil zeggen dat er warmte vrijkomt. Deze warmte moet afgevoerd worden en kan bijgevolg nog nuttig aangewend worden.

Een brandstofcel (*figuur 4.8*) is opgebouwd uit een anode en een kathode met daartussen een elektrolyt (een polymeermembraan dat gasdicht is, maar als het bevochtigd wordt waterstofionen doorlaat). In sommige gevallen bevindt er zich tussen de elektroden en het elektrolyt een zeer dun laagje katalysator. Deze katalysator zorgt ervoor dat de reactie sneller verloopt. Waterstof wordt aan de anode toegevoerd (bij één bepaald type is dit methanol). Aan de kathode wordt zuurstof toegevoerd, ofwel zuiver, ofwel uit de omgevingslucht. De brandstof (waterstof) vloeit langs het oppervlak van de anode en de zuurstof langs het oppervlak van de kathode. Aan de anode wordt waterstof gesplitst in elektronen en ionen. De waterstofprotonen kunnen door het elektrolyt dringen en reageren met zuurstof aan de kathode, waardoor er water ontstaat. Bij deze reactie worden elektronen uitgewisseld. Daar het elektrolyt enkel waterstofprotonen doorlaat, worden de elektronen gedwongen om een omweg te maken via een stroomkring. Er ontstaat een spanningsverschil en dus stroom. Gelijktijdig komt er bij dit proces warmte vrij.



Figuur 4.8: brandstofcel
Bron: www.emis.vito.be

Het spanningsverschil tussen de anode en de kathode bedraagt slechts 0,7 V. Er moeten dus meerdere cellen gecombineerd worden tot 'stacks'. Bovendien genereert een brandstofcel gelijkstroom. Aangezien in de meeste gevallen wisselstroom vereist is, is een inverter nodig. Een bijkomend probleem dat zich stelt, is dat waterstof niet zomaar voorhanden is en dus geproduceerd dient te worden. Dit kan gebeuren door een reactie waarbij waterstof wordt geproduceerd uit aardgas. Hierbij wordt CO_2 gevormd, wat het voordeel van een brandstofcel, namelijk geen uitstoot van CO_2 , deels teniet doet. Andere voordelen van brandstofcellen zijn: zij zijn geluidloos, gebruiks- en onderhoudsvriendelijk, zij hebben een hoog elektrisch rendement en een hoge totale brandstofbenutting van 80-90%.

4.3.2.6 Rankine cyclus

De Rankine cyclus is een relatief nieuwe technologie in de micro-WKK. Deze technologie wordt echter al geruime tijd toegepast in grotere systemen zoals elektriciteitscentrales. De meeste bestaande elektriciteitscentrales gebruiken deze technologie om elektriciteit te produceren uit brandstof. De technologie kan opgesplitst worden naargelang het gebruikte medium. Dit medium kan stoom of organisch gas zijn.

Bij het gebruik van stoom wordt in een stoomketel oververhitte stoom onder hoge druk geproduceerd. Oververhitte stoom is stoom die verwarmd wordt tot op een temperatuur die gelegen is boven het kookpunt, bij die druk. Deze stoom expandeert vervolgens in een stoomturbine die een generator aandrijft. Daarna wordt de stoom gecondenseerd in een water- of luchtgekoelde condensor en wordt het condensaat teruggepompt naar de stoomketel. Bij deze water-stoomcyclus is het belangrijk om de stoom te oververhitten, zodat de vorming van condensaatdruppels in de stoomturbine vermeden wordt.

Een minder gekend medium is organisch gas. Het grote voordeel van dit gas is dat het niet zo sterk moet verhit worden als stoom. Op deze manier bereikt men een hoger rendement. Het gebruik van een medium (organisch gas) dat op lagere temperatuur verdampt/condenseert, laat toe warmte op lagere temperatuur nog om te zetten in arbeid. Enkele voorbeelden van organische gassen zijn isopentaan, butaan en ammoniak. Wanneer dergelijke organische fluïda gebruikt worden, spreekt men van een Organische Rankine Cyclus (ORC).

De werking van deze systemen is gebaseerd op het rankine proces. In plaats van een explosief lucht/brandstofmengsel te gebruiken, zoals in traditionele systemen, wordt bij deze systemen gebruik gemaakt van extreem hoog verdampte stoom of organisch gas (het medium). Het medium voor de werkingscyclus wordt opgeslagen in een kleine tank van waaruit het naar de ketel gaat. Eventueel kan het medium voorverwarmd worden. Het medium stroomt naar een stoomgenerator (bij kleine toepassingen spreken wij niet van een ketel) onder de vorm van water of gas. Hier wordt de thermische energie overgedragen naar het medium, waardoor dit een hoge temperatuur en druk verwerft. Het medium wordt dan naar de turbine geleid waar het gaat ontspannen, waardoor de turbine begint te draaien. Deze turbine drijft op haar beurt een generator aan. Het medium wordt afgekoeld via een warmtewisselaar waarbij het zijn overvloedige warmte aan het centrale verwarmingwater afgeeft. Daar dit een gesloten cyclus is, moet er geen medium worden toegevoegd.

4.4 Zonneboiler

(Warmte uit zonlicht, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2003; Elektriciteit uit zonlicht, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004; L. VERACHTERT, 2005)

Zonne-energie kan opgesplitst worden in actieve en passieve zonne-energie. Passieve zonne-energie is het met bouwkundige middelen direct of indirect benutten van zonnestraling voor de verwarming of verlichting van ruimtes, zonder gebruik te maken

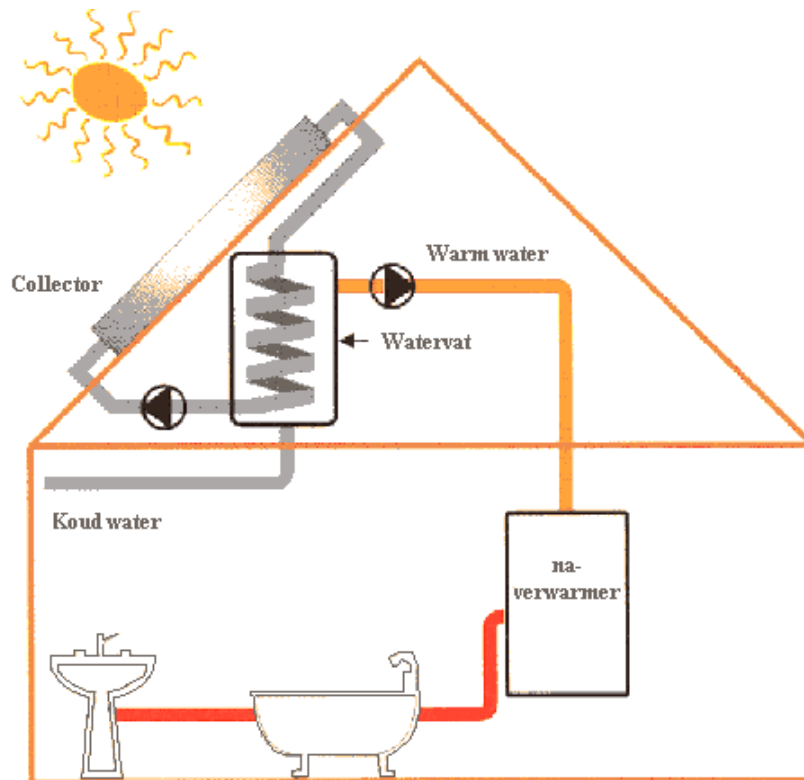
van een hulpenergie of toegevoegde installaties. Voorbeelden hiervan zijn ruimteverwarming via ramen en optimaal gebruik van het daglicht door de oriëntatie van de woning. Bij een actief zonneverwarmingssysteem wordt gebruik gemaakt van speciale installaties die zonne-energie benutten voor afkoeling en verwarming van ruimtes. De zonneboiler is een voorbeeld van actief gebruik maken van zonne-energie.

De warmte die de zon uitstraalt, kan gebruikt worden om water te verwarmen. De warmte van de zon wordt opgevangen, opgeslagen en verdeeld op een meer gecontroleerde manier door middel van een thermische zonne-installatie, namelijk de zonneboiler.

4.4.1 Onderdelen

Traditioneel bestaat een zonneboiler (*figuur 4.9*) uit volgende onderdelen:

- Een zonnecollector die de zonnestrallen opvangt.
- Een stromende vloeistof die de warmte onttrekt aan de collector en overbrengt naar het voorraadvat.
- Een voorraadvat dat dient als buffer.
- Een regelsysteem dat de pomp in werking zet.
- Een naverwarmer.



Figuur 4.9: zonneboiler

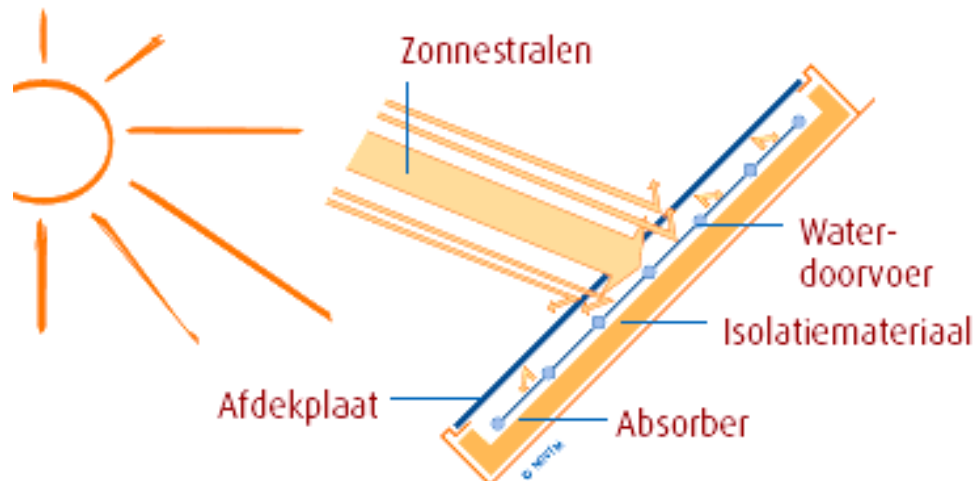
Bron: www.milieuadvieswinkel.be

4.4.1.1 Zonnecollector

De zonnecollector wordt meestal op het dak gemonteerd en bestaat uit een ondiepe bak (ongeveer 10 cm hoog), met daarin de verschillende onderdelen. *Figuur 4.10* toont de dwarsdoorsnede van een collector.

De absorber is een metalen plaat met aan de bovenzijde een warmteabsorberende laag. In deze plaat zijn buisjes verwerkt, waar een vloeistof kan doorstromen. Gewoonlijk gaat het om water, al dan niet vermengd met een antivriesmiddel. Vloeistofstroming is noodzakelijk om de warmte te transporteren van de absorber naar

het voorraadvat. Door het invallende zonlicht stijgt de temperatuur van de absorber. Die geeft op zijn beurt de warmte af aan de vloeistof, die door de buisjes stroomt.



Figuur 4.10: doorsnede van een zonnecollector

Bron: www.energiesparen.be

Een deel van de zonnewarmte gaat verloren, omdat de temperatuur van de absorber meestal hoger is dan de omgevingstemperatuur. Dit warmteverlies tracht men zoveel mogelijk te beperken. Dit wordt gedaan door aan de achterzijde van de absorber een hittebestendig isolatiemateriaal aan te brengen. Aan de voorzijde wordt de absorber afgedekt met een glasplaat. Er wordt een luchtspouw van enkele centimeters voorzien om convectieverliezen te verminderen. Glas heeft wel het nadeel dat een deel van de invallende zonnestrallen wordt weerkaatst aan het oppervlak. Een ander deel van de zonnestrallen wordt geabsorbeerd door het glas.

Naast de klassieke vlakke plaatcollectoren die hierboven besproken zijn, bestaan er ook nog vacuümcollectoren en geïntegreerde collectoren. Vacuümcollectoren hebben een hoger rendement, omdat vacuüm de perfecte isolator is. Vooral bij hoge temperatuur van het gebruikswater komt dat tot uiting. Beveiliging tegen oververhitting is hier echter van primordiaal belang. Vacuümsystemen zijn meestal duurder dan vlakke plaatcollectoren. Bij een geïntegreerd systeem zijn het voorraadvat

en de collector samengevoegd tot één geheel. Door deze integratie zijn er minder componenten nodig (bijvoorbeeld geen pomp en geen elektronische regeling) en daalt de investeringskost. Een voorbeeld van een geïntegreerd systeem is de nokcollector. Dit is een buisvormige collector die op de nok van het dak wordt geplaatst.

De opstelling van de collector is zeer belangrijk en bepaalt in grote mate de opbrengst van de zonneboiler. Twee factoren zijn hierbij van belang, namelijk de oriëntatie en de hellingshoek van de collector. De grootste opbrengst is te verwachten als de collector naar het zuiden gericht wordt, doch bij een positionering naar het zuidoosten of het zuidwesten ligt de opbrengst maar enkele procenten lager. De hellingshoek van de collector is de hoek tussen het ontvangende oppervlak en het horizontaal vlak. 's Morgens en 's avonds staat de zon ter hoogte van de horizon en zijn het eerder verticale vlakken die de meeste zonnestrallen onderscheppen. Op de middag staat de zon hoog aan de hemel en ontvangt een vlak met een helling van ongeveer 30° het meeste zonlicht in de zomer. In de winter is de optimale hoek op de middag veel groter. Eveneens moet men rekening houden met schaduw van naburige objecten. Bij de planning moet men bijgevolg oog hebben voor toekomstige gebouwen en groeiende bomen. In België zijn de meeste collectoren naar het zuidoosten tot zuidwesten georiënteerd met een helling van 20° tot 60°.

4.4.1.2 Voorraadvat

Het voorraadvat is een goed geïsoleerd waterreservoir dat ervoor zorgt dat langzaam opgeslagen zonnewarmte desgewenst snel en op een later tijdstip kan worden afgetapt. Het zorgt eveneens voor de overbrugging van een dag met onvoldoende zon. In het voorraadvat bevindt zich een opgerolde spiraalvormige buis, de warmtewisselaar. Deze vormt de scheiding tussen het gebruikswater en de warmtetransportvloeistof.

Het proces dat plaatsvindt in het voorraadvat verloopt als volgt: het warmste water bevindt zich steeds bovenaan. Dit wordt mogelijk gemaakt doordat er voorzieningen om menging tegen te gaan aanwezig zijn en doordat warm water lichter is dan koud water. Er ontstaat dus een temperatuursgelaagdheid. Wanneer bovenaan water wordt afgetapt, wordt het voorraadvat onderaan aangelengd met koud water. Door de temperatuursgelaagdheid kan de collector het water onderaan opwarmen, terwijl men bovenaan beschikt over relatief warm water.

4.4.1.3 Regelsysteem

Een zonneboiler is uitgerust met een elektronische regeling die voorzien is van twee temperatuursensoren. De ene sensor bevindt zich in het voorraadvat en de andere op de absorberplaat. Deze regeling stuurt een elektrisch pompje, dat ervoor zorgt dat de vloeistof van de collector naar het voorraadvat en terug circuleert. Als de temperatuur in de collector hoger is dan die in het vat, kan de collector warmte leveren en slaat de pomp aan. Als het temperatuurverschil te klein wordt, stopt de pomp. Het regelsysteem zorgt er dus voor dat de opgeslagen warmte niet opnieuw verloren gaat wanneer de zon niet schijnt en zorgt eveneens voor de beveiliging tegen bevriezing en oververhitting.

4.4.1.4 Naverwarming

De temperatuur van het water in de zonneboiler wordt bepaald door de hoeveelheid zonne-energie die opgevangen is, het warmteverlies en de hoeveelheid afgetapt water. Dit heeft tot gevolg dat de temperatuur van het water sterk kan variëren tussen 10°C en 90°C. Meestal wenst de gebruiker water met een vaste temperatuur. Dit betekent

dat het water uit het voorraadvat naverwarmd moet worden als de temperatuur te laag is, of gemengd moet worden met kouder water als de temperatuur te hoog is.

Naverwarmingstoestellen kunnen onderverdeeld worden in twee hoofdgroepen: de doorstroom- en de voorraadtoestellen. Bij doorstroomtoestellen wordt het water naverwarmd op het ogenblik dat men het nodig heeft. Bij deze toestellen bestaat het gevaar van stroomvorming en moet nagegaan worden of het toestel combineerbaar is met een zonneboiler. Slechts enkele thermostatische gasgeisers zijn combineerbaar met een zonneboiler en niet alle combiketels kunnen zonder voorzorg als naverwarmer dienst doen. Grondige inlichting op voorhand is zeker een must.

De voorraadtoestellen daarentegen worden thermostatisch geregeld. Als men reeds een CV-ketel of een gasboiler heeft, kan deze behouden blijven. De naverwarming gebeurt dan aardgasgestookt of met een ingebouwde warmtewisselaar aangesloten op de CV-ketel. Er bestaan ook voorraadtoestellen met twee warmtewisselaars, de duo-boiler. Bij een duo-boiler wordt de nodige energie voor naverwarming geleverd door een CV-ketel of een elektrische weerstand. De warmtewisselaar of de elektrische weerstand bevindt zich dan in het bovenste deel van het voorraadvat. Een tweede warmtewisselaar, die aangesloten is op de zonnecollector bevindt zich in het onderste deel. Dit is een goed en plaatsbesparend systeem als er nog geen warmwaterinstallatie aanwezig is.

4.4.2 Principe

Het systeem bestaat uit twee circuits: de primaire en de secundaire kringloop. In de primaire kringloop circuleert de warmtetransporterende vloeistof tussen de collector en de warmtewisselaar in het voorraadvat. Het zonlicht dat op de collector invalt, wordt opgenomen door de vloeistof waardoor deze opwarmt. De vloeistof geeft haar warmte af in de warmtewisselaar in het voorraadvat en keert daarna terug naar de collector om zich weer op te warmen. Een circulatiepomp zorgt meestal voor het

rondpompen van de warmtetransporterende vloeistof. Dit is een gesloten circuit en moet in principe niet aangevuld worden. De secundaire kringloop is aangesloten op de waterleiding en bevat water dat moet opgewarmd worden voor gebruik. Het eerste circuit verwarmt het tweede circuit via de warmtewisselaar in het voorraadvat.

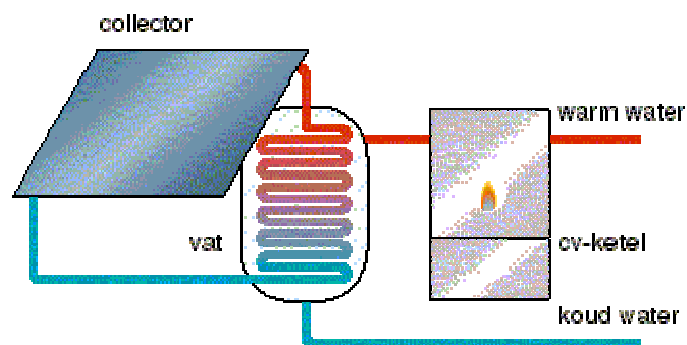
Tegen bevriezing en oververhitting kunnen verschillende maatregelen getroffen worden. Om bevriezing van de collectorvloeistof tegen te gaan, kan men de collector vullen met een niet-giftig mengsel zoals propyleenglycol in water. Dit mengsel is vorstbestendig tot -27°C en is bestand tegen hoge temperaturen. De beveiliging tegen koken, gebeurt op het niveau van de pompsturing en het expansievat. Bij een ingestelde maximumtemperatuur in het voorraadvat wordt de pomp uitgeschakeld. Hierdoor kan de temperatuur van de collectorvloeistof echter nog verder oplopen. De uitzetting die hieruit voortvloeit, wordt opgevangen door het expansievat of in extreme gevallen door het overdrukventiel. Bij een ingestelde maximumtemperatuur in de collector wordt de pomp opnieuw in werking gezet om de collector te koelen. Dit heeft tot gevolg dat de temperatuur in het voorraadvat nog verder kan stijgen.

Een tweede optie is het gebruik van een terugloopsysteem. Om bevriezing tegen te gaan, stroomt de collectorvloeistof bij het uitschakelen van de pomp in een terugloopreservoir dat in het gebouw staat. Gewoon water kan hier dus als collectorvloeistof gebruikt worden. Bij dit systeem met een terugloopreservoir kan het voorraadvat ook gemakkelijk beveiligd worden tegen oververhitting. Bij ingestelde maximumtemperaturen in de collector of in het voorraadvat wordt de pomp uitgeschakeld. De collector, die op dat moment alleen met lucht is gevuld, kan dan zeer warm worden, maar is daar tegen bestand.

4.4.3 Soorten

4.4.3.1 Standaard zonneboiler

Een standaard zonneboiler (*figuur 4.11*) bestaat uit een collector, een voorraadvat en een toestel voor naverwarming. Deze zonneboiler kan enkel gebruikt worden voor het verwarmen van tapwater.

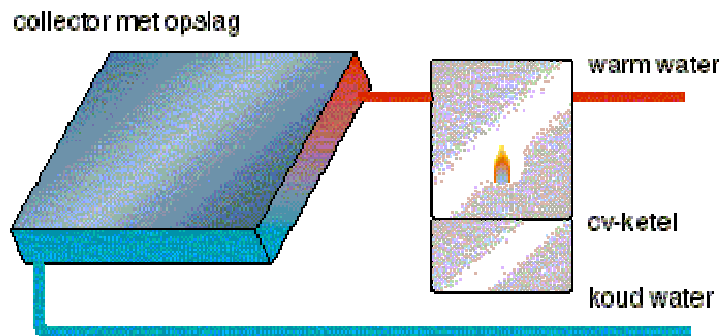


Figuur 4.11: standaard zonneboiler

Bron: www.hollandsolar.nl

4.4.3.2 Compacte zonneboiler

Bij de compacte zonneboiler (*figuur 4.12*) wordt het warm water opgeslagen in de collector zelf. Er is bijgevolg geen voorraadvat nodig. Ook bij deze zonneboiler kan het zijn dat het water niet warm genoeg is en dat naverwarming vereist is. Deze zonneboiler is enkel toepasbaar voor de verwarming van tapwater.

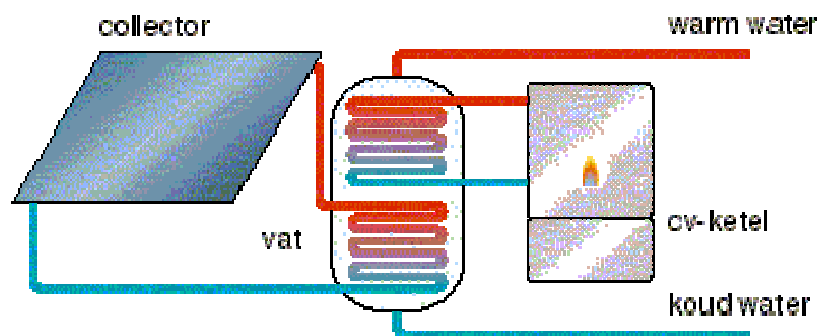


Figuur 4.12: compacte zonneboiler

Bron: www.hollandsolar.nl

4.4.3.3 CV-zonneboiler

Een CV-zonneboiler (*figuur 4.13*) kan gezien worden als een variant op de standaard zonneboiler, maar dan met een extra warmtewisselaar. De CV-ketel zorgt er in dit geval voor dat het water in het voorraadvat altijd op de gewenste temperatuur is. Deze zonneboiler is aan te raden als men graag beschikt over een grote hoeveelheid warm water. Bij dit systeem kan men op verschillende plaatsen tegelijk warm water aftappen. Het wordt enkel gebruikt voor het verwarmen van tapwater.

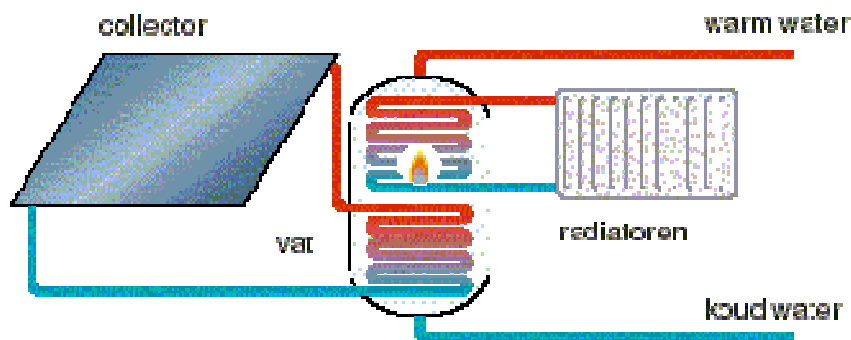


Figuur 4.13: CV-zonneboiler

Bron: www.hollandsolar.nl

4.4.3.4 Zonneboilercombi

Een zonneboilercombi (*figuur 4.14*) is een grote zonneboiler, waarin het voorraadvat en de CV-ketel geïntegreerd zijn in één apparaat. Bij deze zonneboiler wordt de warmte van de zon niet alleen gebruikt voor het verwarmen van tapwater, maar ook om het water in de centrale verwarming te verwarmen.



Figuur 4.14: zonneboilercombi

Bron: www.hollandsolar.nl

4.5 Fotovoltaïsche zonnecellen

(*Elektriciteit uit zonlicht*, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004)

Net zoals de zonneboiler zijn ook de fotovoltaïsche zonnecellen een vorm van actieve zonne-energie. Fotovoltaïsche zonnecellen zetten licht rechtstreeks om in elektriciteit. In een standaard module worden zesendertig cellen in serie aan elkaar geschakeld, waardoor de gegenereerde stroom nuttig gebruikt kan worden.

4.5.1 Werkingsprincipe

(Giancoli, 1998; www.howstuffworks.com, 2004)

Aan de basis van zonnecellen liggen halfgeleiders, voornamelijk silicium (Si), germanium (Ge) en galliumarsenide (GaAs). Si-atomen hebben op de buitenste schil vier elektronen en het is energetisch het voordeligst als een Si-atoom scheikundige bindingen vormt met vier naburige Si-atomen, zodat het atoom acht elektronen op zijn buitenste schil heeft. Bij lage temperatuur zijn er geen vrije ladingsdragers en het materiaal gedraagt zich als een isolator. Warmt men Si op of stelt men het bloot aan licht, dan bestaat de kans dat sommige valentie-elektronen de bindingsplaatsen verlaten en vrij door het rooster gaan bewegen. Daarmee is het materiaal elektrisch geleidend. Opdat deze materialen ook op lage temperatuur zouden geleiden, wordt het materiaal n- of p-gedopeerd.

4.5.1.1 n-type dopering

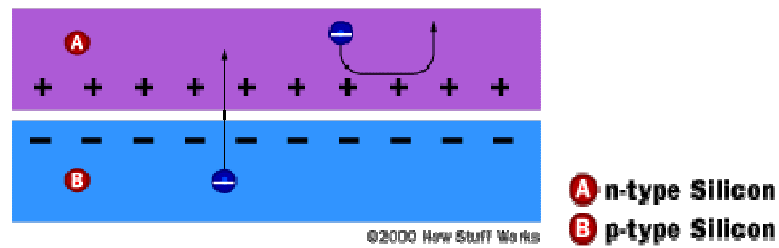
Als in het rooster een atoom wordt geplaatst met vijf elektronen op zijn buitenste schil, zoals arseen, dan worden er weer schillen met acht elektronen gevormd en blijft er één elektron over. Dit vrije elektron kan tussen alle atomen bewegen en kan aan een stroom bijdragen. Wij spreken hier van elektronengeleiding. Door dopering ontstaat er een donorniveau, waardoor de energiegap die de elektronen moeten overbruggen, verkleint en de elektronen minder energie nodig hebben om de conductieband te bereiken.

4.5.1.2 p-type dopering

Als in het rooster een atoom wordt geplaatst met drie elektronen op zijn buitenste schil, zoals gallium, dan zitten op de buitenste schil slechts zeven elektronen en blijft er een gat achter. Dit ontbrekende elektron kan worden opgevuld door een elektron uit de buurt die op zijn beurt eveneens een gat achterlaat. Op die manier beweegt het gat door het rooster als een echte ladingsdrager. In dit geval zorgen de gaten voor geleiding. Zoals bij n-type dopering ontstaat er een extra energieniveau, het acceptorniveau, vlak boven de valentieband. Daardoor hebben elektronen uit de valentieband minder energie nodig om het acceptorniveau te bereiken.

Zonnecellen zijn opgebouwd uit n-gedopeerde en p-gedopeerde halfgeleiders, die met elkaar in contact worden gebracht. Dit noemt men een pn-junctie. Door deze samenvoeging ontstaat een elektrisch veld, dat de vrijgemaakte elektronen in een welbepaalde richting stuurt. Hierdoor ontstaat er een stroom.

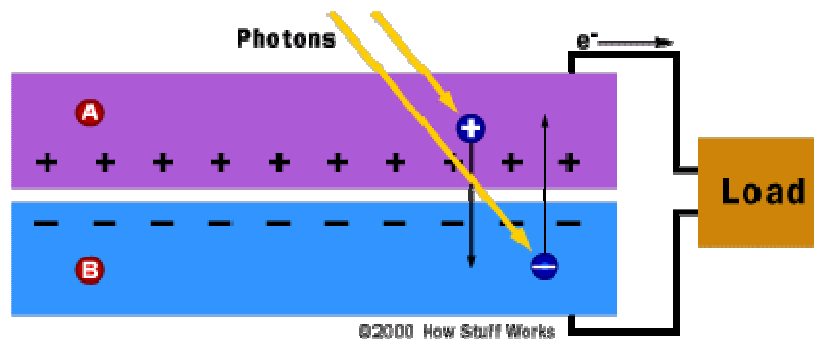
Wanneer het n-type en het p-type Si met elkaar in contact worden gebracht, zullen elektronen en gaten met elkaar recombineren aan de junctie. Dit gaat echter niet onbeperkt door. De junctie vormt een barrière, zodat het steeds moeilijker wordt voor elektronen om van de n-zijde naar de p-zijde over te steken. Uiteindelijk wordt een evenwicht bereikt en ontstaat er een elektrisch veld die de twee zijdes van elkaar scheidt (*figuur 4.15*). Het materiaal is nu niet langer elektrisch neutraal, maar gedraagt zich als een diode, die de elektronen dwingt om van de p-zijde naar de n-zijde te stromen en niet andersom.



Figuur 4.15: het effect van een elektrisch veld in een zonnecel

Bron: www.howstuffworks.com

Wanneer zonlicht (fotonen) invalt op de pn-junctie, worden extra elektronen in de zonnecel losgemaakt. Elk foton dat genoeg energie heeft, zal precies één elektron-gat paar vrijmaken. Het elektrische veld zorgt ervoor dat de elektronen naar de n-zijde en de gaten naar de p-zijde stromen. Dit zorgt voor een verdere verstoring van de elektrische neutraliteit. Als er een externe verbinding wordt aangelegd tussen het n-type en het p-type, zullen de elektronen terug naar hun oorspronkelijke zijde, de p-zijde stromen en zo arbeid leveren (*figuur 4.16*). De elektronenflux levert een stroom, het elektrische veld levert een spanning en samen leveren zij vermogen.



Figuur 4.16: de werking van een zonnecel

Bron: www.howstuffworks.com

4.5.2 Soorten

4.5.2.1 Monokristallijn silicium

Monokristallijne silicium zonnecellen zijn gemaakt van siliciumschijven, die uit één groot 'monokristal' (monokristal is een hoeveelheid zeer zuivere stof in de vorm van één enkel kristal) zijn gezaagd. Het grote monokristal wordt geproduceerd door een kiem traag uit een siliciumsmelt te trekken, waardoor een ronde staaf ontstaat. Het is een traag en duur proces, maar de cellen zijn van hoge kwaliteit. Op labo-schaal zijn reeds rendementen van 24% gehaald, in realiteit 13-16%.

4.5.2.2 Polikristallijn silicium

Bij polikristallijn silicium bestaat de celstructuur uit meerdere kristallen. Tijdens het stollen, ontstaan de verschillende kristallen die het materiaal zijn typisch onregelmatig geschakeerd uiterlijk geven. Het productieproces is goedkoper en eenvoudiger dan bij monokristallijn silicium, maar de verkregen cellen hebben een lager rendement. Op labo-schaal zijn rendementen bekomen van 20%, in realiteit wordt 12-15% gehaald.

4.5.2.3 Dunne film amorf silicium

Amorf silicium bestaat uit een netwerk van Si-atomen zonder regelmatig geordend kristalrooster. Tijdens het productieproces wordt silicium opgedampt op een ondersteunend materiaal. Hierdoor is er een kleiner materiaalverbruik. Het proces

gebeurt continu en is goedkoop, wat productie in grote hoeveelheden mogelijk maakt. Het grote nadeel is het lage celrendement: op labo-schaal 14% versus 5-8% in realiteit.

4.5.2.4 Dunne film CdTe en CuInSe₂

Deze zonnecellen bevinden zich nog in de ontwikkelingsfase. Hierbij wordt het materiaal opgedampt op een glazen of kunststoffen onderlaag. Het voordeel hier is dat er een sterke absorptie is waardoor de cellen zeer dun kunnen gehouden worden. Nadelen zijn echter dat de materiaalvoorraden van indium beperkt zijn en dat cadmium toxisch is. Op labo-schaal zijn rendementen gehaald van 19%, in realiteit worden reeds rendementen van 10-12% gehaald.

4.5.2.5 Concentrator zonnecellen

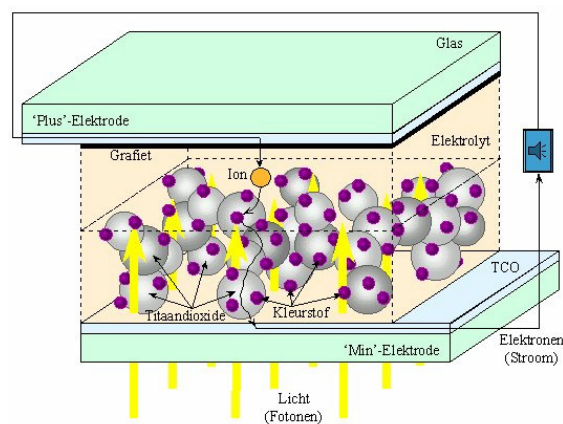
Het principe achter deze soort zonnecellen is het zonlicht te concentreren door spiegels en lenzen. Dit gebeurt meestal met een zonnevolgsysteem, waardoor het zonneoppervlak kan gereduceerd worden. Dure hoogrendement zonnecellen uit silicium of galliumarsenide worden het meest gebruikt. Dit systeem is enkel zinvol in zonovergoten gebieden. Nadelen van dit systeem zijn dat het enig onderhoud vergt, de kosten hoog kunnen oplopen door het concentrerend materiaal, direct licht vereist is en koeling noodzakelijk is. Deze nadelen kunnen zwaarder doorwegen dan het voordeel van het hoge rendement (labo-schaal 33% versus 25% in realiteit).

4.5.2.6 Organische zonnecellen

(Mansolar, 2004)

Om de kostprijs nog verder te doen dalen, worden sinds enkele jaren organische materialen bestudeerd waarmee goedkope, flexibele, 'plastiek' zonnecellen kunnen gerealiseerd worden. Het principe is vergelijkbaar met de fotosynthese bij planten. Het bekendste voorbeeld is de Grätzelcel.

De zonnecel bestaat uit een dun laagje willekeurig gestapelde titaandioxide deeltjes, waaraan organische kleurstofmoleculen gehecht zijn. Dit laagje wordt aangebracht op een ondergrond bestaande uit een glasplaatje met een transparante elektrisch geleidende coating, TCO, erop. Om de zonnecel compleet te maken, is er ook een tegenelektrode en een elektrolytvlloeistof nodig.



Figuur 4.17: organische zonnecel

Bron: www.mansolar.nl

Bij de inval van licht vangt een kleurstofmolecuul een minimale hoeveelheid licht op. De energie in dit licht wordt overgedragen op een elektron uit het kleurstofmolecuul en vervolgens wordt dit elektron uit zijn vast verband vrijgemaakt. Dit vrije elektron heeft nu voldoende energie om door het titaandioxide te bewegen naar de verbruiker, via het TCO op het glas en de aangesloten koperdraadjes. Om een elektrische stroom te laten lopen, moeten de elektronen, nadat zij in een verbruiker hun energie hebben

afgestaan, ook weer terug keren naar de plek waar zij vandaan komen. Om dit voor elkaar te krijgen, is een tegenelektrode en een elektrolytvloeistof nodig. De tegenelektrode neemt elektronen van de gebruiker op en draagt ze over op de ionen in de elektrolytvloeistof. Om dit proces voldoende snel te laten verlopen, is een katalysator (grafiet) nodig. De 'opgeladen' ionen zwerven op hun beurt door de elektrolytvloeistof in de poriën van het titaandioxidenetwerk, totdat zij een kleurstofmolecuul tegenkomen dat een elektron heeft afgestaan. Het 'opgeladen' ion draagt dan een elektron over aan de kleurstof, waarmee de stroomkring gesloten is en het proces van licht omzetten in elektriciteit opnieuw kan beginnen.

De aanwezigheid van vloeibaar materiaal brengt echter stabiliteitsproblemen met zich mee, vooral bij extreem hoge en lage temperaturen. Daarom wordt ook onderzoek gedaan op droge organische zonnecellen waarbij polymeren het licht absorberen en dienst doen als elektrolyt. Een knelpunt hier is de instabiliteit van sommige polymeren.

De 'natte' organische zonnecellen halen op labo-schaal een rendement van 11%. In de realiteit worden rendementen van 5% geregistreerd. Bij de 'droge' organische zonnecellen zijn in labo's rendementen gehaald van 3%.

4.5.3 Soorten Systemen

Fotovoltaïsche systemen (PV-systemen) kunnen ofwel onafhankelijk van het openbare elektriciteitsnet werken (autonome systemen), ofwel stroom leveren aan het openbare net (netgekoppelde systemen).

Een autonoom systeem levert stroom aan een gebruiker zonder dat deze gekoppeld is aan het elektriciteitsnet. Meestal laden de PV-modules een batterij op als

energieopslag die een buffer vormt tussen het wisselend vermogen van de module en de vraag. Een laadregelaar bewaakt de batterijspanning.

Bij een netgekoppeld PV-systeem worden de modules via een omvormer met het openbaar elektriciteitsnet verbonden. De omvormer zet de geproduceerde gelijkspanning om in wisselspanning, die aan het net geleverd kan worden. Het omzettingsrendement ligt hoger dan 90%. In de omvormer is de nodige beveiliging voorzien voor het ogenblikkelijk afkoppelen van het PV-systeem bij spanningsonderbreking in het openbare net.

Als het PV-systeem meer vermogen genereert dan nodig is voor de gebruiker, stroomt er netto elektriciteit naar het net. De elektriciteitsteller draait dan terug. Genereert het PV-systeem niet genoeg stroom voor gebruik, dan kan de gebruiker de nodige stroom uit het net halen.

Hoofdstuk 5: Economische analyse

In dit hoofdstuk wordt er getracht om door middel van een economische analyse de rendabiliteit van verschillende technieken te bepalen. Er wordt hier uitgegaan van verschillende voorbeeldprojecten. Aan de hand van deze gegevens wordt de Netto Contante Waarde, de Interne Opbrengstvoet en de verdisconteerde terugverdientijd berekend voor een warmtepomp, zonneboiler, fotovoltatische zonnecellen en hoogrendementsglas.

5.1 Warmtepomp

Om te achterhalen of het investeren in een warmtepomp rendabel is, wordt de methode van de Netto Contante Waarde (NCW) toegepast. Als deze waarde groter is dan nul is dit een investering die zichzelf terugverdient, rekening houdend met de tijdswaarde van het geld.

Voor de berekening wordt er uitgegaan van een ééngezinswoning met volgende eigenschappen (ODE Vlaanderen, 2006):

- Woonoppervlak: 128,72 m²;
- Normwarmtevraag: 7.979 W;
- Specifieke warmtevraag: 62 W/m²;
- Jaarlijkse verbruiksuren: 2.196 h/j;
- Jaarlijks verwarmingsgebruik: 17.522 kWh/j.

In periode nul, de periode van de investering, veronderstellen wij een investeringskost van 8.676,27 EUR (www.livios.be). Deze investeringskost kan echter nog rekenen op subsidies. Hier wordt er verondersteld dat de ééngezinswoning zich bevindt in

Lummen, Limburg. Dit moeten wij weten om na te gaan of er nog extra subsidies gegeven kunnen worden door de provincie of de gemeente.

Wij gaan de NCW zoeken van een warmtepomp die de aarde als warmtebron heeft. Deze warmtepomp heeft een COP van 4 (ODE Vlaanderen, 2006). De normwarmtevraag bedraagt 7.979 W, wat overeen komt met een compressorvermogen van 10 kVA (1 kVA = 0,8 kWh; 8 kW = 10 kVA). Voor de warmtepomp wordt een verwachte levensduur geraamd van 20 jaar.

In *tabel 5.1* wordt er berekend hoeveel men kan besparen aan verwarmingskosten voor dit voorbeeld. De warmtepomp met een COP van 4 wordt vergeleken met een Optimaz verwarmingsketel op basis van stookolie met een rendement van 0,93%.

Tabel 5.1: vergelijking verwarmingskosten

	Stookolie	Warmtepomp met captatienet
Jaarlijks verwarmingsverbruik	17.522	17.522
Seizoensrendement	0,93	4
Verbruik (energiewaarde = 10kWh/l)	$17.522 / (0,93 \cdot 10) = 1.884 \text{ l}$	$17.522 / 4 = 4.381 \text{ kWh}$
Prijs	0,5967 EUR/l 0,5 EUR/l (stookoliekorting)	0,13 EUR/kWh (60% dag, 40% nacht)
Totale kostprijs/jaar	$0,5967 \cdot 1.884 = \mathbf{1.124 \text{ EUR}}$ $0,5 \cdot 1.884 = \mathbf{942 \text{ EUR}}$	$0,13 \cdot 4.381 = \mathbf{570 \text{ EUR}}$

Voor de prijs van stookolie wordt er rekening gehouden met twee verschillende scenario's. In een eerste scenario wordt de totale kost berekend met de prijs die momenteel moet betaald worden voor stookolie. In een tweede scenario wordt de totale kost berekend indien men rekening houdt met de stookoliekorting, die de

regering eenmalig gegeven heeft in 2005. Dit wordt gedaan om een beter beeld te krijgen van het effect van een stijgende brandstofprijs op de rendabiliteit van deze warmtepomp.

De besparing per jaar met de warmtepomp komt neer op $1.124 - 570 = 554$ EUR zonder stookoliekorting en $942 - 570 = 372$ EUR met stookoliekorting.

Voor deze investering kan men rekenen op volgende subsidies (Energiesparen, 2006):

- Een belastingaftrek van 40% met een maximum van 1.280 EUR per woning.
- Een subsidie gegeven door de netbeheerder (Interlectra). Deze premie is afhankelijk van het compressorvermogen en bedraagt minimum 250 EUR en maximum 2.112,1 EUR of maximum 50% van het factuurbedrag. Voor een compressorvermogen van 10 kVA bedraagt de premie 2.112,1 EUR.
- Een subsidie gegeven door de gemeente (Lummen). Deze premie bedraagt maximaal 250 EUR.

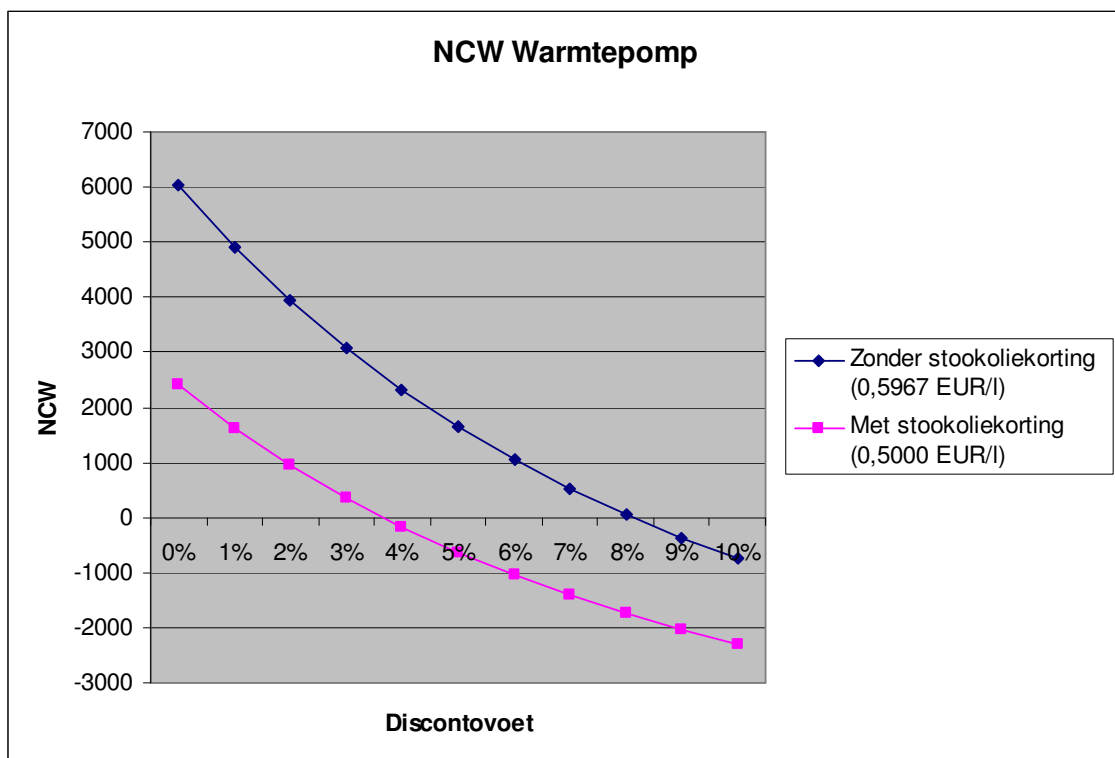
Alle gegevens zijn nu aanwezig om de NCW te berekenen (*bijlage 4a en 4b*) en dit wordt gedaan met behulp van volgende formules:

$$NCW = -8.676,27 + 554 a_{20-4} + 2.362,1 A_{1-4} + 1.280 A_{2-4} \text{ zonder stookoliekorting}$$

$$NCW = -8.676,27 + 372 a_{20-4} + 2.362,1 A_{1-4} + 1.280 A_{2-4} \text{ met stookoliekorting}$$

Met behulp van deze formules wordt een Netto Contante Waarde bekomen van 2.307,45 als er geen rekening gehouden wordt met de stookoliekorting. Indien men echter wel rekening houdt met de stookoliekorting, wordt er een negatieve NCW bekomen van -165,99. Uit deze berekeningen kan geconcludeerd worden dat de warmtepomp alsmaar rendabeler wordt met een stijgende stookolieprijs. De aanschaf van een warmtepomp behoort dus tot de mogelijke oplossingen indien de stookolieprijzen blijven stijgen.

Volgende grafiek wordt het NCW-profiel genoemd en toont het verloop van de verschillende Netto Contante Waarden bij een variërende discontovoet. Uit de grafiek kan afgeleid worden dat voor de gemaakte veronderstellingen de investering rendabeler is als men geen rekening houdt met de stookoliekorting. De IOV kan worden beschouwd als de hoogste intrestvoet die een investeerder zou kunnen betalen zonder geld te verliezen. Als men geen rekening houdt met de stookoliekorting bedraagt de Interne Opbrengstvoet ongeveer 8,1%. De IOV bedraagt ongeveer 3,7% indien er wel rekening gehouden wordt met de korting.



Figuur 5.1: NCW-profiel warmtepomp

De verdisconteerde terugverdientijd is een variant op de gewone terugverdientijd, waarbij rekening wordt gehouden met de tijdswaarde van het geld. Na iets meer dan 12 jaar wordt de verdisconteerde totale kasstroom van dit project positief, zodat de warmtepomp zichzelf terugverdient in zijn gebruiksduur. Als er echter rekening gehouden wordt met de stookoliekorting, bedraagt de verdisconteerde terug-

verdientijd iets meer dan 21 jaar, zodat de warmtepomp bij deze tweede variant niet wordt terugverdiend in zijn gebruiksduur.

5.2 Zonneboiler

Sanitair warm water hebben wij nodig op relatief hoge temperatuur en in relatief kleine hoeveelheden. Een zonneboiler met naverwarming verbruikt heel wat minder energie dan een volledige opwarming van het sanitair warm water door een klassiek verwarmingssysteem op stookolie, aardgas of elektriciteit. De brandstofbesparing van een zonneboiler hangt ook af van het rendement van de naverwarming. Dat maakt het zo moeilijk om de besparing te meten of te berekenen. De rendementscurve van een collector kan het best vertaald worden naar de jaaropbrengst van het hele systeem met simulatieprogramma's. Die houden onder andere rekening met:

- De karakteristieken van de collector (eigenschappen van de zwarte laag, isolatiekwaliteit);
- De opbouw van het systeem;
- De aftaphoeveelheid en het aftappatroon (gespreid over de dag of alleen 's avonds);
- De klimaatzone.

De opbrengst van een zonneboiler kan uitgedrukt worden in:

- Energie per jaar of brandstofhoeveelheid per jaar;
- Dekkingsgraad: dit is het deel dat bespaard wordt op warmwaterbereiding. Een dekkingsgraad van 60% betekent dat 60% wordt bespaard op de energiekosten voor warm water en betekent dus ook 60% minder CO₂-uitstoot;
- Systeemrendement: verhouding tussen nuttige energie en invallende zonne-energie, meestal 20%-40%, afhankelijk van de watertemperatuur en dus van de dekkingsgraad.

De collectoroppervlakte en de inhoud van het voorraadvat moeten worden afgestemd op de warmwaterbehoefte en het aftappatroon. Een te grote installatie met een grote dekkingsgraad is technisch mogelijk, alleen zou op die manier de besparing niet opwegen tegen de investering.

De ideale grootte van de installatie kan bepaald worden door de investering en de opbrengst tegen elkaar af te wegen. Het is dus in belangrijke mate een economische beslissing. Een vuistregel voor het volume van het voorraadvat is dat men best per m² collector een voorraadvat van 40 tot 60 liter neemt. Het volume van het voorraadvat kan het best iets groter zijn dan het dagverbruik aan warm water.

Voor een gezin van 3 tot 8 personen wordt er best een collectoroppervlak van 3 tot 8 m² en een voorraadvat met een inhoud van 100 tot 500 liter geplaatst. Dit systeem heeft een kostprijs van 2.000 tot 5.000 EUR, exclusief BTW en installatiekosten. De installatiekosten bedragen ongeveer 800 EUR (energiesparen, 2006).

Stel dat wij een gezin uit Diepenbeek nemen van 4 personen. Het betreft een zonneboiler met volgende eigenschappen (*Warmte uit zonlicht*, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2003):

- Collectoroppervlak: 4 m²;
- Voorraadvat: 150 liter;
- Kostprijs: 2.500 EUR, exclusief BTW en installatiekosten;
- Totale kostprijs: 3.825 EUR (2.500*1,21 + 800);
- Verwachte levensduur collector: 30 jaar.

Een zonneboiler bespaart de helft van de energiekosten voor het verwarmen van tapwater en is dus afhankelijk van het warmwatergebruik van het gezin. Wij vergelijken de zonneboiler met een centrale verwarming op basis van aardgas.

Voor deze installatie bespaart het huishouden ongeveer 260 m³ aardgas per jaar (1 m³ aardgas = 11 kWh aardgas). Dit komt overeen met een besparing van 2.860 kWh/jaar. Met een aardgasprijs van 0,0582216 EUR/kWh (Electrabel, mei 2006), komt dit neer op een besparing van 166,51 EUR/jaar. Er wordt gebruik gemaakt van een discontovoet van 4%.

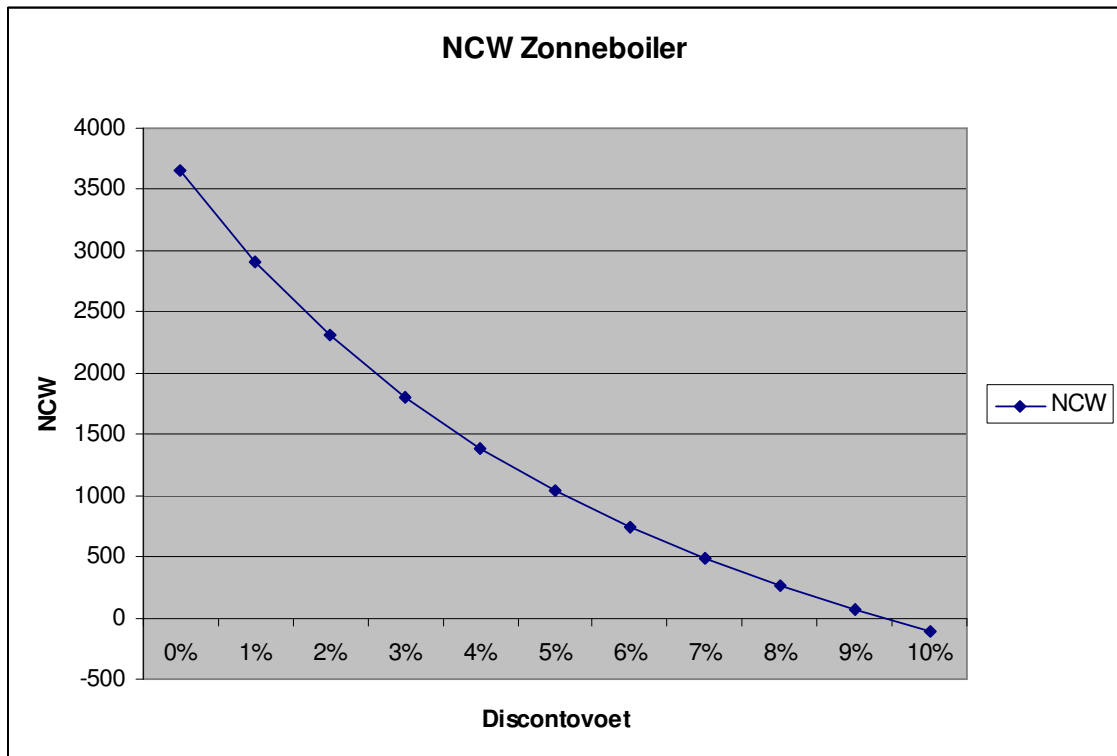
De zonneboiler komt in aanmerking voor volgende subsidies (Energiesparen, 2006):

- Een belastingaftrek van 40% met een maximum van 1.280 EUR per woning.
- Een subsidie gegeven door de netbeheerder (Interlectra). Deze premie bedraagt 75 EUR/m² collectoroppervlak met een minimumbedrag van 625 EUR en maximum 3.750 EUR of maximum 50% van het factuurbedrag. Voor deze zonneboiler geldt het minimumbedrag van 625 EUR.
- Een subsidie gegeven door de gemeente (Diepenbeek). Deze premie bedraagt 15% van de aankoopprijs, inclusief installatiekosten en BTW, met een maximumbedrag van 625 EUR per installatie en per woning. Voor deze zonneboiler bedraagt de premie 573,75 EUR.

Alle gegevens zijn nu aanwezig om de NCW te berekenen (*bijlage 5*) en dit wordt gedaan met behulp van volgende formule:

$$NCW = -3.825 + 166,51 a_{30-4} + 1.198,75 A_{1-4} + 1.280 A_{2-4}$$

Met behulp van deze formule wordt een Netto Contante Waarde bekomen van 1.390,38. De positieve waarde duidt erop dat deze investering rendabel is, rekening houdend met de gemaakt veronderstellingen.



Figuur 5.2: NCW-profiel zonneboiler

Figuur 5.2 toont het verloop van de NCW bij een variërende discontovoet. Uit de grafiek kan afgeleid worden dat de NCW nul wordt als de discontovoet 9,35% bedraagt. Deze waarde wordt de Interne Opbrengstvoet (IOV) genoemd en wordt beschouwd als de hoogste intrestvoet die een investeerder zou kunnen betalen, zonder geld te verliezen. De verdisconteerde terugverdientijd van een zonneboiler, uitgaande van bovenstaande veronderstellingen, bedraagt iets meer dan 11 jaar. Er kan dus gesteld worden dat de zonneboiler terugverdiend wordt gedurende zijn levensduur.

5.3 Fotovoltaïsche zonnecellen

Met aparte zonnecellen kan men in de praktijk niet aan de slag. Zij wekken niet alleen weinig elektriciteit op, maar zijn ook breekbaar en vochtgevoelig. Daarom worden zonnecellen onderling verbonden en samen in een zogenaamd PV-paneel geplaatst. De voorkant van de PV-panelen is een glasplaat, de achterkant wordt afgewerkt met een waterdichte folie.

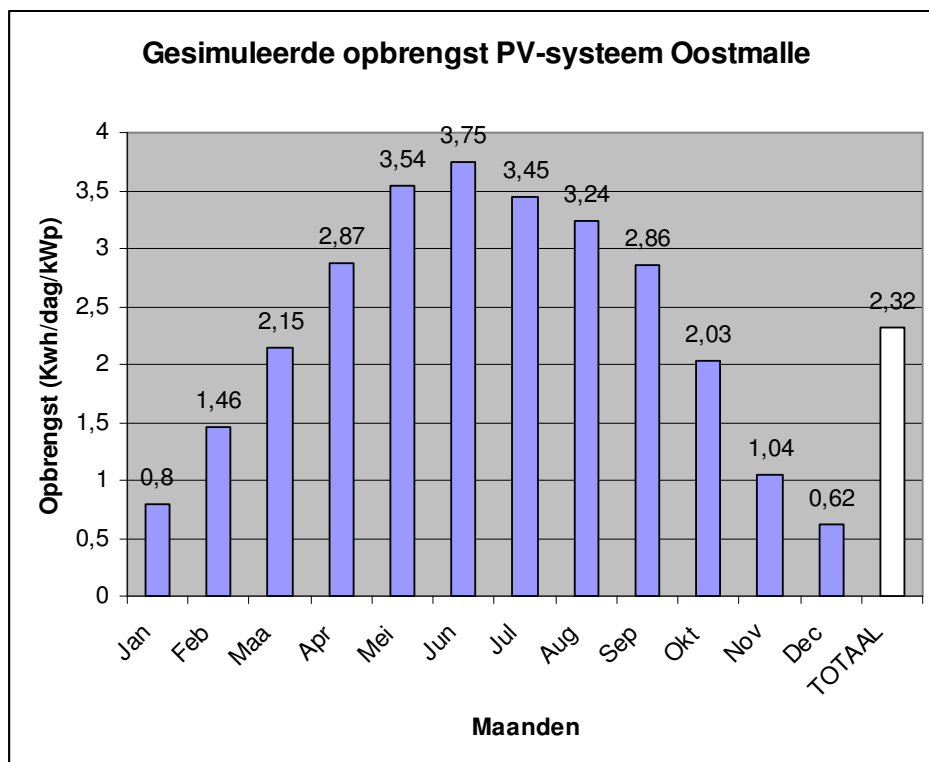
Een PV-paneel met een oppervlakte van 1 m^2 levert gemiddeld iets meer dan 100 kWh/jaar. Het gemiddelde elektriciteitsverbruik van een gezin in Vlaanderen bedraagt 3.500 à 4.000 kWh/jaar. Om die elektriciteit te produceren, zou dus een installatie nodig zijn van 35 à 40 m^2 .

Vanwege de koppeling van het systeem aan het elektriciteitsnet hoeft het systeem echter jaarlijks niet evenveel elektriciteit op te wekken als een gezin verbruikt. Als het PV-systeem meer vermogen genereert dan nodig is voor de gebruiker, stroomt er netto elektriciteit naar het net. De elektriciteitsteller draait dan terug. Genereert het PV-systeem niet genoeg stroom voor gebruik, dan kan de gebruiker de nodige stroom uit het net halen. In de praktijk hangen de afmetingen van de installatie dus meer af van het beschikbare budget en de beschikbare plaats, dan van de opbrengst.

Het vermogen van een PV-systeem wordt uitgedrukt in Wp of kWp (kilowattpiek). Dit is het vermogen dat het PV-systeem levert bij standaardzoninstraling. Het vermogen per m^2 van PV-panelen hangt af van het celtype en van de producent. Het varieert tussen 50 W/m^2 voor amorf silicium en 170 W/m^2 voor monokristallijn silicium zonnecellen met hoog rendement. Een PV-systeem met een vermogen van 1 kWp in polykristallijn silicium zonnecellen heeft een paneeloppervlakte van ongeveer 8 m^2 en produceert ongeveer 800 kWh elektriciteit per jaar.

De investeringskosten voor netgekoppelde PV-systemen zijn de afgelopen 10 jaar gehalveerd en bedragen nu, exclusief BTW, ongeveer 7.000 EUR/kWp of 8.470 EUR/kWp inclusief BTW. De investeringskosten worden gedeeltelijk terugverdiend door de elektriciteitsproductie. Voor PV-systemen tot 10 kWp mag de kWh-meter terugdraaien als de PV-stroomopwekking hoger ligt dan het eigen verbruik. Naar gelang van het geldende elektriciteitsstarief levert dat tot 0,15 EUR/kWh op, inclusief BTW (ODE Vlaanderen, 2005).

Als voorbeeld worden hier de gesimuleerde opbrengsten gegeven voor het netgekoppelde fotovoltaïsche systeem van 2,31 kWp op een woning in Oostmalle.



Figuur 5.3: gesimuleerde opbrengst PV-systeem per maand en per jaar (laatste balk)

Bron: *Elektriciteit uit zonlicht*, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004

Het dak van de woning heeft een hellingshoek van 40° en is bijna perfect zuidwaarts gericht (6° naar het oosten). Op basis van deze gegevens en de opgemeten beschaduwing door de omgeving is een computersimulatie gebeurd. Het resultaat is

een jaarlijkse opbrengst van 1.956 kWh of omgerekend 847 kWh/kWp. Dit komt overeen met een globaal systeemrendement van 11,33%, wat de verhouding is van de opgeleverde elektrische energie ten opzichte van de invallende lichtenergie op het totale moduleoppervlak. Volgende grafiek geeft de gesimuleerde opbrengst weer van het 2,3 kWp PV-systeem te Oostmalle per maand en per jaar (*Elektriciteit uit zonlicht*, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004).

De investeringskost bedraagt 8.470 EUR/kWp, inclusief BTW. Voor deze installatie komt dit neer op een investeringskost van 19.565,7 EUR. De opbrengst wordt geschat op 1.956 kWh/jaar. Wij veronderstellen dat de elektriciteitsvraag voor dit gezin 3.500 kWh/jaar bedraagt met een verbruik van 2.200 kWh/dag en 1.300 kWh/nacht. Rekening houdend met het dag- en nachttarief komt dit neer op een kWh-prijs van 0,1181573 EUR (Electrabel, 2006), zodat er een opbrengst gerealiseerd wordt van 231,12 EUR/jaar ($1.956 \cdot 0,1181573$). De gemiddelde levensduur van fotovoltaïsche zonnecellen wordt geschat op 25 jaar.

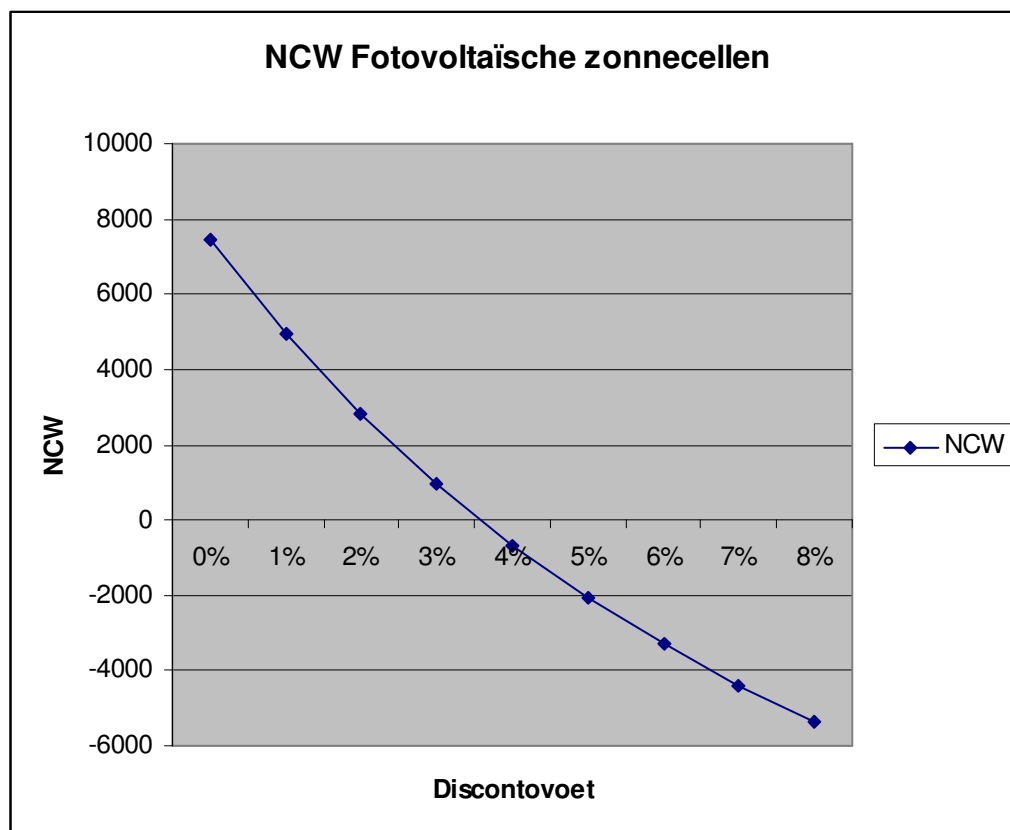
Het PV-systeem komt in aanmerking voor volgende subsidies (Energiesparen, 2006):

- Een belastingvermindering van 40% van de investering met een maximumbedrag van 1.280 EUR.
- Voor elke MWh elektriciteit opgewekt met zonnepanelen ontvangt de eigenaar een groenestroomcertificaat van de Vlaams overheid. Elk certificaat kan vervolgens bij de netbeheerder ingehuild worden tegen een gegarandeerde waarde van 450 EUR gedurende 20 jaar vanaf de inwerkingstelling van de installatie. De opbrengst van deze installatie wordt geraamd op 1.956 kWh/jaar en er wordt hier gesteld dat er globaal genomen elk jaar 2 groenestroomcertificaten gehaald worden. Dit komt neer op een premie van 900 EUR/jaar, gedurende 20 jaar.
- De Vlaamse overheid geeft nog een bijkomende investeringssteun van 10% in 2006 en 2007. Dit komt neer op 1.956,57 EUR.

Alle gegevens zijn nu aanwezig om de NCW te berekenen (*bijlage 6*) en dit wordt gedaan met behulp van volgende formule:

$$NCW = -19.565,7 + 231,12 a_{25 \rightarrow 4} + 900 a_{20 \rightarrow 4} + 1.956,57 A_{1 \rightarrow 4} + 1.280 A_{2 \rightarrow 4}$$

Met behulp van deze formule wordt een Netto Contante Waarde bekomen van -659,12. De negatieve waarde duidt erop dat deze investering niet rendabel is, rekening houdend met de gemaakte veronderstellingen. We moeten er ook rekening mee houden dat de opbrengst van dit systeem ongeveer 1.956 kWh/jaar bedraagt en de elektriciteitsvraag van het gezin geschat wordt op 3.500 kWh/jaar. Het gezin moet dus nog 1.544 kWh/jaar aankopen.



Figuur 5.4: NCW-profiel fotovoltaïsche zonnecellen

Figuur 5.4 toont het verloop van de NCW bij een variërende discontovoet. Uit de grafiek kan afgeleid worden dat de NCW nul wordt als de discontovoet 3,575% bedraagt. Deze waarde wordt de Interne Opbrengstvoet (IOV) genoemd. De verdisconteerde terugverdientijd van een PV-systeem, uitgaande van bovenstaande veronderstellingen, bedraagt ongeveer 34 jaar.

5.4 Hoogrendementsglas

Ramen kunnen een grote energieverliespost vormen in een woning, omdat zij een hogere warmtedoorgangscoefficiënt hebben dan geïsoleerde wanden. Het is daarom aan te raden om enkele en dubbele beglazing te vervangen door superisolerende beglazing of hoogrendementsbeglazing. Niet alleen de beglazing is van belang, maar ook de isolerende eigenschappen van het schrijnwerk zijn bepalend voor het warmteverlies via het raam (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2003a).

De Federale overheid biedt zowel bouwers als verbouwers een fiscaal voordeel aan voor het plaatsen van hoogrendementsbeglazing. Vanaf inkomstenjaar 2006 komt 40% van de investering in aanmerking voor belastingvermindering met een belastingvoordeel van maximum 1.280 EUR/jaar per woning. Bovendien moet een geregistreerde aannemer bevestigen dat de globale geleidingscoëfficiënt (U-waarde) van het venster (raamwerk + beglazing) lager is of gelijk aan 2,0 W/m²K (Energiesparen, 2006).

Een gemiddelde energiezuinige woning heeft een glasoppervlak van ongeveer 20 m² (VROM, 2006). Volgende analyse houdt een vergelijking in tussen het gebruik van enkel glas (U-waarde 5,8 W/m²K) en gewoon dubbel glas (U-waarde 2,9 W/m²K), een vergelijking tussen enkel glas en hoogrendementsglas (U-waarde 1,1 W/m²K) en een vergelijking tussen gewoon dubbel glas en hoogrendementsglas. De richtprijzen zijn terug te vinden in *bijlage 7* (L. VERACHTERT, 2006). Plaatsingskosten van 15 à 20

EUR/m² moeten nog bij de prijzen geteld worden, evenals BTW van 21%. Bij de berekening wordt een levensduur van 20 jaar verondersteld.

Elk jaar kan bespaard worden op aardgas- of stookoliekosten door over te schakelen op hoogrendementsglas. De vergelijking wordt hier beperkt tot aardgas. Als enkel glas wordt vervangen door gewoon dubbel glas levert dit een besparing op van 320 m³ gas/jaar. Wordt enkel glas vervangen door hoogrendementsglas dan kan men jaarlijks 480 m³ gas besparen. Als er reeds dubbel glas aanwezig is en dit vervolgens vervangen wordt door hoogrendementsglas, dan heeft men jaarlijks 160 m³ gas minder nodig (Milieuadvieswinkel, 2006). Als wij weten dat 1 m³ aardgas gelijk is aan 11 kWh aardgas en de aardgasprijs ongeveer 0,0582216 EUR/kWh bedraagt, kunnen wij de NCW gaan berekenen (*bijlage 7*) met behulp van volgende formules:

$$NCW = -1.101,1 + 204,94 a_{20 \rightarrow 4} \quad \text{voor enkel glas naar dubbel glas}$$

$$NCW = -1.304,38 + 307,41 a_{20 \rightarrow 4} + 521,752 A_{1 \rightarrow 4} \quad \text{voor enkel glas naar HR-glas}$$

$$NCW = -1.304,38 + 102,47 a_{20 \rightarrow 4} + 521,752 A_{1 \rightarrow 4} \quad \text{voor dubbel glas naar HR-glas}$$

Voor elke investering worden er positieve Netto Contante Waarden bekomen. Als men enkel glas vervangt door gewoon dubbel glas wordt er een NCW bekomen van 1.684,10. Als men besluit om enkel glas te vervangen door hoogrendementsglas ligt deze waarde nog hoger en bedraagt de NCW 3.375,10. Indien er dubbel glas vervangen wordt door hoogrendementsglas wordt er een NCW van 589,90 bekomen.

De IOV voor het vervangen van enkel glas door dubbel glas bedraagt ongeveer 18%, terwijl de investering in iets meer dan 6 jaar terugverdiend zal zijn. Voor een vervanging van enkel glas door hoogrendementsglas bekomen wij een IOV van 23,4% en het project wordt op iets minder dan 3 jaar terugverdiend. Als men ervoor kiest om dubbel glas te vervangen door hoogrendementsglas liggen de cijfers beduidend lager. De IOV bedraagt dan ongeveer 6,3% en de investering wordt terugverdiend op iets meer dan 9 jaar.

Hoofdstuk 6: Ecologische analyse

Zoals reeds hoger vermeld, is het zeer slecht gesteld met de energieuinigheid van de huizen in Vlaanderen. Eloi Glorieux (Groen!) zegt hierover het volgende: 'Om te beginnen waren de isolatienormen heel zwak opgesteld en dan bleek dat als men een werfcontrole deed, maar in amper 15% van alle nieuwe huizen die gebouwd werden, die zwakke normen werden gerespecteerd'. Er is hier dus nog een enorm potentieel tot het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen.

Het is echter zeer moeilijk om juist in te schatten in welke mate de Vlaamse huizen geïsoleerd zijn. Voor de ecologische analyse worden dan ook volgende veronderstellingen gemaakt:

- De Vlaamse woning is niet geïsoleerd.
- De Vlaamse woning maakt geen gebruik van warmtepompen, zonneboilers, fotovoltatische cellen of hoogrendementsbeglazing.

Op die manier kan er berekend worden wat het totale potentieel is voor het verminderen van de broeikasgassen van de Vlaamse huizen op het gebied van het energieuinig wonen.

In Vlaanderen staan bijna 2,5 M gebouwen, waarvan 83% een residentiële bestemming heeft. Vlaanderen heeft dus 2,075 M gebouwen die bestemd zijn voor het wonen (Vlaams klimaatbeleidsplan 2006-2012). Met behulp van al deze gegevens worden de vermeden externe kosten berekend indien men de huizen energieuinig zou bouwen. Deze vermeden externe kosten kunnen dan gebruikt worden als verantwoording voor het geven van subsidies (*hoofdstuk 7.2*).

6.1 Berekening van de externe kosten

In dit hoofdstuk wordt er berekend hoeveel CO₂-uitstoot er bespaard kan worden door de verschillende maatregelen die kunnen bijdragen tot een energiezuinige woning. Voor de berekening van de vermeden externe kosten wordt er uitgegaan van bovenstaande gegevens en een geraamde externe kost van 20 EUR/ton CO₂-eq (Milieurapport, 2005).

6.1.1 Vloerisolatie

Indien er een isolatiemateriaal gebruikt wordt met de veelvoorkomende warmteweerstand van 1,3 m²K/W, wordt er 6,1 kg CO₂/m²jaar minder uitgestoten (VR0M, 2006). Bij de berekening van de CO₂-reductie is uitgegaan van een gemiddelde vloeroppervlakte van 112 m²/woning (www.ecolife.be). Dit komt neer op een totale besparing van 1.417.640 ton CO₂/jaar (2.075.000*112*6,1). De vermeden externe kosten bedragen dan 28.352.800 EUR/jaar of 0,122 EUR/m²jaar.

6.1.2 Muurisolatie

Muurisolatie bespaart gemiddeld ongeveer 9,7 m³ gas/m². Daardoor wordt er 17,3 kg CO₂/m²jaar minder uitgestoten, indien isolatiemateriaal met de veelvoorkomende warmteweerstand van 1,3 m²K/W wordt gebruikt (VR0M, 2006). Bij de berekening van de CO₂-reductie is uitgegaan van een gemiddelde buitenmuuroppervlakte van 200 m²/woning. Dit komt neer op een totale besparing van 7.179.500 ton CO₂/jaar (2.075.000*200*17,3). De vermeden externe kosten bedragen dan 143.590.000

EUR/jaar of 0,346 EUR/m²jaar, indien men uitgaat van een externe kost van 20 EUR/ton CO₂-eq.

6.1.3 Dakisolatie

Dakisolatie bespaart 10,2 m³ gas/m²jaar. Daardoor wordt 18 kg CO₂/m²jaar minder uitgestoten indien isolatiemateriaal met de veelvoorkomende warmteweerstand van 1,3 m²K/W wordt gebruikt (VROM, 2006). Bij de berekening van de CO₂-reductie is uitgegaan van een gemiddeld dakoppervlak van 150 m² per woning (L. VERACHTERT, 2005). Dit komt neer op een totale besparing van 5.602.500 ton CO₂/jaar (2.075.000*150*18). De vermeden externe kosten bedragen dan 112.050.000 EUR/jaar of 0,36 EUR/m²jaar.

6.1.4 Warmtepomp

Een warmtepomp zorgt bij een gemiddelde woning voor een besparing van ongeveer 1.500 kg CO₂/jaar (www.klimaatbeurs.nl). Dit zorgt voor een totale besparing van 3.112.500 ton CO₂/jaar (2.075.000*1500) en een vermeden externe kost van 62.250.000 EUR/jaar.

6.1.5 Zonneboiler

Een zonneboiler zorgt gemiddeld voor een besparing van ongeveer 380 kg CO₂/jaar (www.pyrosolar.nl). Dit zorgt voor een totale besparing van 788.500 ton CO₂/jaar

($2.075.000 \cdot 380$) en een vermeden externe kost van 15.770.000 EUR/jaar, indien er uitgegaan wordt van een externe kost van 20 EUR/ton CO₂-eq.

6.1.6 Fotovoltaïsche cellen

Volgens pyrosolar zorgen zonnecellen gemiddeld voor een vermindering van ongeveer 27 ton CO₂/20jaar per woning. Dit komt neer op 1.350 kg CO₂/jaar per woning. Op die manier bekomt men een totale besparing van 2.801.250 ton CO₂/jaar ($2.075.000 \cdot 1.350$) en een vermeden externe kost van 56.025.000 EUR/jaar.

6.1.7 Hoogrendementsglas

Hoogrendementsglas bespaart gemiddeld 30 m³ gas/m²jaar. Daardoor wordt ongeveer 53,4 kg CO₂/m²jaar minder uitgestoten dan bij het gebruik van enkel glas (VROM, 2006). Bij de berekening van de CO₂-reductie is uitgegaan van een gemiddeld glasoppervlak van 20 m² per woning. Dit zorgt voor een totale besparing van 2.216.100 ton CO₂/jaar ($2.075.000 \cdot 20 \cdot 53,4$) en een vermeden externe kost van 44.322.000 EUR/jaar of 1,068 EUR/m²jaar.

6.2 Vermeden externe kosten

In *hoofdstuk 7* ziet men een overzicht van de verschillende subsidies die er gegeven worden. Men kan de vermeden externe kosten zien als een verantwoording voor het geven van subsidies. In volgende tabel wordt er een overzicht gegeven van de totale besparing aan CO₂/jaar en de daarmee gepaard gaande vermeden externe kosten.

Tabel 6.1: besparing aan CO₂ per jaar en vermeden externe kosten per energiebesparende maatregel

Energiebesparende maatregel	Besparing CO₂/jaar (Mton)	Vermeden externe kosten per jaar (EUR)
Vloerisolatie	1,4	28.352.800
Muurisolatie	7,2	143.590.000
Dakisolatie	5,6	112.050.000
Warmtepomp	3,1	62.250.000
Zonneboiler	0,8	15.770.000
Zonnecellen	2,8	56.025.000
Hoogrendementsglas	2,2	44.322.000
Totaal	23,1	462.359.800

In *tabel 6.2* wordt er een overzicht gegeven van de CO₂-reductie en de vermeden externe kosten die bereikt kunnen worden per woning. Dit geeft een beter beeld van wat er per gezin bereikt kan worden.

Tabel 6.2: besparing aan CO₂ per jaar en vermeden externe kosten per energiebesparende maatregel en per woning

Energiebesparende maatregel	Besparing CO₂/jaar per woning (ton)	Vermeden externe kosten per jaar en per woning (EUR)
Vloerisolatie	0,68	13,6
Muurisolatie	3,46	69,2
Dakisolatie	2,70	54,0
Warmtepomp	1,50	30,0
Zonneboiler	0,38	7,6
Zonnecellen	1,35	27,0
Hoogrendementsglas	1,07	21,4
Totaal	11,14	222,8

In *tabel 6.2* kunnen wij zien dat er per woning een CO₂-reductie bereikt kan worden van ongeveer 11 ton. Als er uitgegaan wordt van een externe kost van 20 EUR/ton CO₂-eq, komt dit neer op 223 EUR/woning aan vermeden externe kosten. Deze vermeden externe kosten zou men kunnen nemen ter verantwoording voor het geven van subsidies.

Er is in deze berekening geen rekening gehouden met de bestaande isolatie, die reeds (in beperkte mate) aanwezig is in de Vlaamse huizen, omdat dit zeer moeilijk te kwantificeren is. Er werd hier vanuit gegaan dat de huizen in Vlaanderen nog geen energiebesparende maatregelen nemen. Als men dus wil berekenen hoeveel er juist bespaard kan worden door de bestaande huizen in Vlaanderen, moet men eraan denken dat de werkelijke waarden iets lager liggen dan hier berekend werd. Indien men echter wil berekenen hoeveel er bespaard kan worden door middel van nieuwbouw, kan er wel gewerkt worden met de waarden in *tabel 6.2*.

Volgens *tabel 6.2* kan er het meeste bespaard worden door een goede isolatie van de woning en de plaatsing van hoogrendementsglas. Vooral muur- en dakisolatie blijken zeer belangrijk te zijn. Men kan ook een besparing verwezenlijken door middel van een warmtepomp, zonneboiler en zonnecellen. Deze waarden blijken echter nog niet heel hoog te liggen, maar door een continue verbetering van de technologie kan dit snel veranderen. Elke verbetering zorgt namelijk voor een grotere CO₂-reductie en een stijging van de daarmee gepaard gaande vermeden externe kosten.

Hoofdstuk 7: Subsidies

Energiebesparende maatregelen kunnen rekenen op subsidies van verschillende instanties. Dit hoofdstuk geeft enerzijds een overzicht van de verschillende subsidies die gegeven worden door de overheid, distributienetbeheerders, provincies en gemeenten. Anderzijds wordt er gezocht naar een verantwoording voor het geven van subsidies.

7.1 Soorten subsidies

(Energiesparen, 2006)

7.1.1 Acties van de Vlaamse overheid

Vanaf 1 januari 2006 start de Vlaamse overheid met een systeem van productiesteen voor elektriciteit uit fofovoltaïsche zonnepanelen (PV-panelen). Voor elke 1000 kWh elektriciteit, opgewekt met deze zonnepanelen ontvangt de eigenaar een groenestroomcertificaat. Elk certificaat kan vervolgens bij de netbeheerder ingeruild worden tegen een gegarandeerde waarde van 450 EUR, gedurende 20 jaar, vanaf de inwerkingstelling van de installatie. Groenestroomcertificaten kunnen aangevraagd worden bij de Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt. Dit geldt voor elk PV-systeem dat in dienst genomen wordt na 1 januari 2006.

Flankerend aan deze productiesteen voorziet de Vlaamse overheid nog een beperkte investeringssubsidie voor particulieren en een ecologiepremie voor ondernemingen.

Voor particulieren, onderwijsinstellingen, lokale besturen, vzw's en verenigingen geeft de Vlaamse overheid bijkomend 10% investeringssteen. Deze steun is voorzien voor investeringen in 2006 en 2007. Om te kunnen genieten van deze subsidie moet men

een aanvraag indienen bij de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie van de Vlaamse overheid.

7.1.2 Acties van de Federale overheid

7.1.2.1 Fiscale maatregelen

Men kan een aantal energiebesparende maatregelen inbrengen bij uw jaarlijkse belastingaangifte. Per aanslagjaar kan men meerdere facturen indienen voor investering in verschillende maatregelen. Hier blijft de regel dat het bedrag dat men per jaar per woning kunt recupereren voor alle maatregelen samen, beperkt is tot 1.280 EUR, geïndexeerd per jaar voor nieuwbouw en 1.280 EUR, geïndexeerd per jaar voor verbouwingen. Deze bedragen gelden voor inkomstenjaar 2006. De datum van betaling van de factuur is bepalend voor de belastingaangifte. Volgende energiebesparende maatregelen komen in aanmerking als fiscale aftrek:

Vervanging oude stookketel of onderhoud bestaande stookketel

Vanaf inkomstenjaar 2006 (aanslagjaar 2007) komt 40% van deze investering in aanmerking voor belastingvermindering. Het gaat hier echter wel om de vervanging van een oude stookketel. De maatregel is bijgevolg niet van toepassing bij nieuwbouw.

Hoogrendementsbeglazing

Vanaf inkomstenjaar 2006 komt 40% van de investering in hoogrendementsbeglazing in aanmerking voor belastingvermindering. Een geregistreerde aannemer moet bevestigen dat de globale geleidingscoëfficiënt (U) van het venster (raamwerk + beglazing), berekend volgens de vereenvoudigde formules van de geldende norm, lager ligt dan of gelijk is aan 2,0 W/m²K. Zowel de

kosten van het glas als de kosten van het raamwerk komen in aanmerking voor het fiscale voordeel.

Dakisolatie

Vanaf inkomstenjaar 2006 komt 40% van de investering in dakisolatie in aanmerking voor belastingvermindering. Een geregistreerde aannemer moet bevestigen dat het gebruikte isolatiemateriaal een thermische weerstand (R) heeft die gelijk is aan of groter is dan 2,5 m²K/W.

Plaatsing van thermostatische kranen op radiatoren of een kamerthermostaat met tijdsindeling

Vanaf inkomstenjaar 2006 komt 40% van deze investering in aanmerking voor belastingvermindering. Een geregistreerde aannemer moet bevestigen dat hij thermostatische kranen of een klokthermostaat heeft geplaatst voor de warmteregeling van een installatie van centrale verwarming.

Zonneboiler

Vanaf inkomstenjaar 2006 komt 40% van de investering in een zonneboiler in aanmerking voor belastingvoordeel. De geregistreerde aannemer, die de zonneboiler moet plaatsen, moet bevestigen dat:

- De oriëntatie van de panelen tussen het oosten en het westen ligt via het zuiden.
- De hellingshoek van de vaste panelen tussen 0 en 70° ten opzichte van de horizon ligt.
- De aangewende techniek het mogelijk maakt om een eventueel probleem van legionellose te vermijden.

Warmtepomp

Vanaf inkomstenjaar 2006 komt 40% van de investering in een warmtepomp in aanmerking voor belastingvermindering. De geregistreerde aannemer moet bevestigen dat:

- De geothermische warmtepomp voorzien is van het EG-kenmerk.
- De globale prestatiecoëfficiënt hoger is dan of gelijk is aan 3.

Fotovoltaïsche installaties

Vanaf inkomstenjaar 2006 komt 40% van deze investering in aanmerking voor belastingvermindering. De geregistreerde aannemer moet bevestigen dat:

- De kenmerken van de modules beantwoorden aan de volgende vereisten:
 - Voor kristallijne modules wordt de norm IEC 61215 vereist, alsook een minimum rendement van 12%.
 - Voor de dunne filmodules wordt de norm IEC 61646 vereist, alsook een minimum rendement van 7%.
- Het minimum rendement voor de omvormers hoger ligt dan 88% voor de autonome systemen en 91% voor de netgekoppelde systemen.
- De oriëntatie van de panelen tussen het oosten en het westen ligt via het zuiden en dat de hellingshoek van de vaste panelen tussen 0 en 70° ten opzichte van de horizon ligt.

Energieaudit

Vanaf inkomstenjaar 2006 komt 40% van deze investering in aanmerking voor belastingvermindering. De factuur moet afgeleverd worden door een door de Vlaamse overheid erkende energiedeskundige.

Installatie van een open of gesloten gaskachel met HR+-label

De premie is enkel geldig voor HR+ kachels (individuele gasradiatoren) en niet voor HR+ of HRTOP ketels (centrale verwarming). Premie van 100 EUR voor een open HR+ gaskachel. Premie van 150 EUR voor een gesloten HR+ gaskachel. De installatie dient door een gehabiteerde installateur verricht te worden.

7.1.2.2 BTW-tarief bij renovatie

Voor nieuwbouwwoningen is een BTW-tarief van 21% van toepassing. Woningen ouder dan 5 jaar (in plaats van 15 jaar) kunnen genieten van een voordelig BTW-tarief van 6% in plaats van 21% bij renovatie. Deze maatregel is ook interessant voor energiebesparende maatregelen: plaatsing van isolatie, zonneboiler, fotovoltaïsche zonnepanelen, vervangen van centrale verwarmingsketel mits bepaalde voorwaarden.

7.1.3 Acties van de distributienetbeheerders

Vanaf 2003 zijn de Vlaamse netbeheerders verplicht om een energiebesparing te realiseren bij hun afnemers, onder andere door een aantal energiebesparende maatregelen financieel te ondersteunen. *Bijlage 8* geeft een overzicht van de subsidies die gegeven worden door de verschillende netbeheerders. Iedere netbeheerder mag zelf kiezen welke acties hij wil uitvoeren. Men kan zijn netbeheerder niet kiezen. Welke netbeheerder men toegewezen krijgt, hangt af van de plaats waar men woont. Sinds 1 juli 2003 kan men wel de elektriciteits- en aardgasleverancier kiezen. De keuze van de leverancier heeft echter geen invloed op het toekennen van de premies door de netbeheerder.

De maatregelen waarvoor een premie wordt toegekend, de hoogte van de tegemoetkomingen en de toekenningsvoorwaarden verschillen per netbeheerder. In *bijlage 8* wordt er een overzicht gegeven van de verschillende premies per netbeheerder.

7.1.4 Acties van de provincies

Er zijn slechts 2 Vlaamse provincies die provinciale subsidies geven, namelijk Vlaams-Brabant en West-Vlaanderen.

7.1.4.1 Vlaams-Brabant

Premie voor de plaatsing van een zonneboiler

De premie voor de plaatsing van een zonneboiler bedraagt 625 EUR. De premie dient aangevraagd te worden via de netbeheerder. De provincie Vlaams-Brabant ontvangt maandelijks van de netbeheerders een lijst met de positief beoordeelde aanvragen. Op basis hiervan ontvangen de begunstigten van de provincie een ingevuld formulier, dat zij binnen een termijn van drie maanden ondertekend moeten terugbezorgen.

Premie voor de plaatsing van dakisolatie in bestaande woningen

De premie bedraagt 1,25 EUR/m² voor het plaatsen van dakisolatie in bestaande woningen. Het isolatiemateriaal dient een U-waarde te halen van maximaal 0,3 W/m²K. De aanvraag gebeurt eveneens via de netbeheerder. De provincie Vlaams-Brabant ontvangt maandelijks van de netbeheerders een lijst met de positief beoordeelde aanvragen.

7.1.4.2 West-Vlaanderen

Premie ter voorkoming van CO-vergiftiging

Drie soorten werken komen in aanmerking:

- De vervanging van CO-onveilige gasgeisers en –boilers met een open verbrandingsruimte.
- De vervanging van onveilige verwarmingstoestellen met een open verbrandingsruimte.
- Het bouwen, verbouwen, herstellen of aanpassen van een rookkanaal.

De woning moet minimum 20 jaar oud zijn en de werken moeten uitgevoerd worden door een geregistreerd aannemer. Voor de drie soorten werken bedraagt de premie 50% van de kostprijs der uitgevoerde betoelaagbare werken met een maximum van 250 EUR. Men kan dus maximaal 750 EUR bekomen.

Premie voor dakrenovatie en vochtbestrijding

Twee soorten werken komen in aanmerking voor deze toelage:

- De werken die vochtproblemen door opstijgend grondvocht en/of slagregen efficiënt bestrijden.
- Het plaatsen van een nieuw dak op het hoofdgebouw en/of de aanbouw. Het nieuwe dak moet voorzien zijn van een goed onderdak.

De woning moet minimum 30 jaar oud zijn en het niet geïndexeerd kadastraal inkomen mag niet hoger zijn dan het gemiddelde kadastraal inkomen van de gemeente waar de woning gelegen is. De premie bedraagt 50% van de kostprijs der werken met een maximum van 1.000 EUR per categorie en een minimum van 400 EUR.

Toelage voor het plaatsen van een eigen waterbevoorradinginstallatie (boorput)

Als voorwaarde wordt gesteld dat de woning of het bedrijf niet aangesloten is op het openbaar waterleidingsnet en niet of zeer moeilijk kan worden aangesloten gezien de grote afstand tot het openbaar waterleidingsnet. Het gaat hier om het plaatsen van boorputten (grondwater). Het reglement voorziet niet in een betoelaging van regenwaterputten. Het bedrag van de premie bedraagt 25% van de totale kosten met een maximale subsidie van 750 EUR.

Toelage voor aansluiting op het openbaar waterleidingsnet

De provincie West-Vlaanderen verleent een toelage aan bedrijven of particulieren voor het aansluiten op het openbaar waterleidingsnet. Als voorwaarde wordt gesteld dat de afstand van deze aansluiting groter moet zijn dan 50 meter. De premie bedraagt 1/3 van de totaliteit van de kosten met een maximale subsidie van 1.000 EUR.

7.1.5 Acties van de gemeenten

Heel wat gemeenten geven een extra premie voor de installatie van een zonneboiler, fotovoltaïsche zonne-installaties en warmtepompen. Deze premie bedraagt meestal 250 à 1.000 EUR en verschilt per gemeente.

7.2 Verantwoording voor het geven van subsidies

Er zijn drie manieren voor het behalen van de Kyoto-norm, namelijk:

- Zelf CO₂ verminderen in België;
- Zelf CO₂ verminderen buiten België;
- Emissierechten aankopen in het buitenland.

De prijs voor het aankopen van emissierechten in het buitenland hangt af van vraag en aanbod. De afgelopen maanden liep de prijs op van ongeveer 6 EUR/ton CO₂ in januari tot bijna 30 EUR in de laatste week van april. Op 26 april kwamen een aantal Europese landen met emissiecijfers over 2005. Nederland, Frankrijk en een paar andere landen bleken minder CO₂ te hebben uitgestoten dan verwacht. Een paar dagen later meldde Zweden dat zij 10% van haar emissierechten had overgehouden. Er dreigde een overschot aan emissierechten te ontstaan. De handel op de klimaatbeurs reageerde onmiddellijk. De prijs van een CO₂-certificaat daalde van 29 EUR op 12 april naar 13 EUR/ton CO₂ op 10 mei (www.politics.be).

België is van plan om 12,3 Mton CO₂-emissierechten (2,46 Mton/jaar) aan te kopen in het buitenland. Voor Vlaanderen zal dit ongeveer 6,4 Mton/jaar bedragen (www.serv.be). Dit is veel hoger, omdat in België de Gewesten verantwoordelijk zijn voor het terugdringen van broeikasgassen. Het is heel moeilijk om te voorspellen wat het aankopen van emissierechten precies gaat kosten. Indien wij uitgaan van de laatste prijs (13 EUR/ton CO₂) komt dit neer op een bedrag van 83,2 M EUR/jaar voor Vlaanderen. Indien men ervan uitgaat dat de Vlaamse huizen niet geïsoleerd zijn, zou Vlaanderen alleen al met behulp van energiezuinig wonen ongeveer 23,1 Mton CO₂/jaar kunnen besparen (*tabel 6.1*). Dit bedrag geeft geen perfect beeld voor het potentieel wat Vlaanderen nog bezit op het gebied van energiezuinig wonen, maar geeft wel aan dat er nog heel wat bespaard kan worden door de energiezuinigheid van gebouwen. De CO₂-reductie die bereikt kan worden door het energiezuinig wonen in Vlaanderen

(*tabel 6.1*) zou reeds moeten volstaan om het tekort aan emissierechten weg te werken.

Uitgaande van bovenstaande berekeningen kan men dus stellen dat men evengoed het geld wat men gebruikt voor het aankopen van emissierechten, kan gebruiken voor het verlenen van subsidies voor energiezuinig wonen. Indien men uitgaat van een prijs van 13 EUR/ton CO₂ voor het aankopen van emissierechten, kost dit voor Vlaanderen ongeveer 83,2 M EUR/jaar. Indien men weet dat er in Vlaanderen ongeveer 2.075.000 gebouwen zijn die bestemd zijn voor het wonen (Vlaams klimaatbeleidsplan 2006-2012), zou dit neerkomen op een subsidie van ongeveer 40 EUR/jaar per woning. Als de prijs voor het aankopen van emissierechten echter weer gaat toenemen tot 30 EUR/ton CO₂ ligt dit bedrag veel hoger. Het aankopen van emissierechten brengt voor Vlaanderen dan een kost mee van 192 M EUR. Dan zou er een eventuele subsidie gegeven kunnen worden van 93 EUR/jaar per woning.

Het geven van subsidies biedt echter verschillende voordelen ten opzichte van het aankopen van emissierechten. Het gaat hier dan over volgende aspecten:

- Het geven van subsidies kan gezien worden als een beloning voor de vermeden externe kosten. Indien men subsidies gaat geven voor energiebesparende maatregelen, zorgt dat voor een effectieve vermindering van de uitstoot van broeikasgassen in Vlaanderen. Voor Vlaanderen werd er in *hoofdstuk 6* een vermeden externe kost per woning berekend van 223 EUR/jaar (*tabel 6.2*).
- Indien men subsidies gaat geven, wordt het geld geïnvesteerd in eigen land en bouwt men op die manier aan de toekomst van het land door middel van technologie en ontwikkeling. Als men echter het geld gaat gebruiken voor het aankopen van emissierechten, krijgt men er niets voor in de plaats.
- Een derde aspect is dat het geven van subsidies een niet te verwaarlozen multiplicatoreffect heeft. Indien er een toename is van de finale vraag naar bepaalde producten (isolatiemateriaal, warmtepomp, zonneboiler, ...) heeft dit een effect op de productie van het product in kwestie, alsook de productie van

al de bedrijfstakken die tussenkomen in het productieproces. Op die manier stijgt de binnenlandse productie van verschillende bedrijfstakken en dit heeft automatisch ook een toename van het aantal arbeidsplaatsen tot gevolg.

- Het subsidiëren van energiebesparende maatregelen zorgt ook voor een beperking van de energievraag in Vlaanderen. Op die manier is men minder afhankelijk van andere landen voor de energiebevoorrading. Door het beperken van de vraag wordt het ook gemakkelijker om aan de vraag te voldoen door middel van duurzame energiebronnen.

Deze aspecten laten duidelijk zien dat de subsidie, die gegeven wordt, veel groter zou moeten zijn dan het bedrag dat voorzien wordt voor het aankopen van emissierechten. Het investeren in eigen land heeft een duidelijke meerwaarde ten opzichte van het aankopen van emissierechten in het buitenland.

Hoofdstuk 8: Conclusies

8.1 Besluit

De literatuurstudie en de praktijkstudie die in de vorige hoofdstukken beschreven zijn, zouden mij nu in staat moeten stellen een antwoord te geven op de vragen die vooropgesteld werden in *hoofdstuk 1*.

Vanaf 2006 moeten nieuwbouw- en verbouwde woningen voldoen aan een bepaald niveau van energieprestatie. De nieuwe energieprestatieregelgeving wordt Energieprestatie en Binnenklimaat (EPB) genoemd en werd opgelegd door de Europese Commissie. De regelgeving bestaat uit drie aspecten: de energieprestatie-eis, de eisen voor thermische isolatie en de eisen voor het binnenklimaat van een woning. De energieprestatie-eis wordt uitgedrukt in het E-peil. Het E-peil is een maat voor het totale energieverbruik van een woning en is een globale aanwijzing voor de energiezuinigheid van de woning. Voor het E-peil worden volgende aspecten in rekening gebracht: de compactheid en oriëntatie van de woning, de thermische isolatie en ventilatie, het luchtdicht bouwen van de woning, het benutten van zonnewarmte en het plaatsen van een hoog renderende installatie voor verwarming en warm water.

Volgens verschillende bronnen is het zeer slecht gesteld met de isolatie van de Vlaamse huizen. Uit studies van de Europese federatie van isolatieproducenten (EURIMA) blijkt dat ons huizenbestand op hetzelfde niveau geïsoleerd wordt als in landen rond de Middellandse Zee. In een interview zegt ook Eloi Glorieux (Groen!) dat een onderzoek in de bouw aangetoond heeft dat het met de isolatie van onze huizen nog veel slechter gesteld is dan oorspronkelijk gedacht werd. Volgens hem hebben de huizen in Zweden, waar het veel kouder is dan in België, maar de helft zoveel energie

nodig voor het verwarmen van hun huizen dan hier in België. België heeft dus op het vlak van energiezuinig wonen nog een enorm onaangeroerd potentieel om het energieverbruik te verminderen en bijgevolg de uitstoot van broeikasgassen te reduceren.

Volgens de verschillende milieugroepen (Bond Beter Leefmilieu, Groen!, ...) is de energieprestatieregelgeving absoluut een verbetering. Men had voordien enkel isolatienormen, die zeer zwak waren en bijna nooit nageleefd werden. Met de nieuwe regelgeving wordt de energieprestatie van een woning in zijn totaliteit bekeken. Aan de andere kant zijn de milieuorganisaties het er ook allemaal over eens dat door de late invoering van het decreet, de normen al achterhaald waren vooraleer de regelgeving van start ging.

In Nederland is de energieprestatieregelgeving al van kracht sinds 1995. Dit blijkt uit een interview met Inge Essers (provincie Noord-Brabant, Nederland). In Nederland maakt men gebruik van de energieprestatiecoëfficiënt (EPC), wat vergeleken kan worden met het E-peil in Vlaanderen. Deze EPC is sinds de invoering in 1995 al meerdere malen strenger geworden. De waarden gaan van 1,4 in 1995 tot 0,8 in 2006. Op die manier voldoen in Nederland praktisch alle huizen aan een minimale tot uitstekende energiezuinigheid, terwijl België nog bijna vanaf nul moet beginnen.

Iedereen is het er over eens dat de energieprestatieregelgeving kan bijdragen tot een lager energieverbruik in België en de daarmee gepaard gaande lagere uitstoot van broeikasgassen. Energiezuinig wonen zou voor een groot deel kunnen bijdragen tot het behalen van de Kyoto-norm. Veel mensen vrezen echter dat de regering een enorm potentieel laat liggen, doordat de regelgeving niet streng genoeg is.

Op technologisch vlak zijn er zeer veel mogelijkheden om energie te besparen in een woning. In deze eindverhandeling werden volgende technologieën besproken: energiezuinige verwarmingsinstallaties, warmtepompen, warmtekrachtkoppeling,

zonneboilers en fotovoltaïsche zonnecellen. Heel veel technieken staan nog maar in hun kinderschoenen. Dat wil zeggen dat er op dit vlak nog heel wat te bereiken valt.

Door middel van een economische analyse werd er getracht om de rendabiliteit van verschillende technieken te bepalen. Dit werd gedaan door gebruik te maken van voorbeeldprojecten. Op basis van de gegevens van deze projecten werden de Netto Contante Waarde (NCW), de Interne Opbrengstvoet (IOV) en de verdisconteerde terugverdientijd berekend. In *tabel 9.1* vindt men een overzicht van de resultaten van de economische analyse.

Gezien de cruciale rol die het element tijd in investeringsprojecten speelt, zal het duidelijk zijn dat de tijdswaarde van het geld niet mag verwaarloosd worden. Om die reden werd er gekozen voor bovenstaande methoden voor het berekenen van de rendabiliteit van de verschillende projecten.

Tabel 9.1: overzicht economische analyse

Technologie	NCW	IOV	Verdisconteerde terugverdientijd (jaar)	Geschatte levensduur (jaar)
Warmtepomp				20
Stookolieprijs:				
0,5967 EUR/l	2.307,45	8,1%	12	
0,5000 EUR/l	-165,99	3,7%	21	
Zonneboiler	1.390,38	9,35%	11	30
Fotovoltaïsche zonnecellen	-659,12	3,575%	34	25
Hoogrendementsglas				20
Enkel → dubbel	1.684,10	18%	6	
Enkel → hoogrendements	3.375,10	23,4%	3	
Dubbel → hoogrendements	589,90	6,3%	9	

De NCW berekent de huidige waarde van de kasstromen van het project door die kasstromen te verdisconteren tegen een gekende kapitaalkost ($r = 4\%$). Indien de NCW groter is dan nul is dit een investering die zichzelf terugverdient, rekening houdend met de tijdswaarde van het geld.

Als wij kijken naar de resultaten voor de warmtepomp kan er geconcludeerd worden dat de warmtepomp alsmaar rendabeler wordt met een stijgende stookolieprijs. Indien er uitgegaan wordt van de huidige stookolieprijs (0,5967 EUR/l), wordt er een positieve waarde bekomen voor de Netto Contante Waarde. Dit duidt erop dat de warmtepomp zichzelf terugverdient binnen zijn geschatte levensduur. Om een vergelijking te kunnen maken, werd de NCW opnieuw berekend voor hetzelfde project. Er werd nu uitgegaan van een lagere stookolieprijs (0,5 EUR/l). Er werd geopteerd voor deze prijs, omdat er in deze prijs rekening gehouden werd met de stookoliekorting die de regering deze winter gegeven heeft. Met deze prijs wordt er een negatieve NCW bekomen. Als er uitgegaan wordt van een lagere stookolieprijs is de warmtepomp dus niet rendabel. Er wordt echter een stijgende trend waargenomen in de stookolieprijzen. De aanschaf van een warmtepomp behoort dus tot de mogelijke oplossingen indien de stookolieprijzen blijven stijgen.

Op basis van de NCW kan er ook gezegd worden dat de aankoop van een zonneboiler en de aanschaf van hoogrendementsglas een rendabele investering is. Het investeren in fotovoltaïsche zonnecellen blijft echter een investering die niet in staat is om zichzelf terug te verdienen in zijn gebruiksduur. Dit kan wel snel veranderen, vermits er een dalende trend waarneembaar is in de prijs voor zonnecellen. De prijs voor fotovoltaïsche zonnecellen halveert gemiddeld elke 10 jaar.

De Interne Opbrengstvoet is de discontovoet die leidt tot een zero Netto Contante Waarde. Deze IOV werd berekend aan de hand van het NCW-profiel van de investering. Met NCW-profiel wordt de grafische weergave bedoeld van de NCW in functie van de

discontovoet. De IOV is het snijpunt met de X-as in de verschillende grafieken. Het project wordt verworpen indien de IOV kleiner is dan het vereiste rendement (4%).

De IOV geeft ons ongeveer dezelfde informatie als de NCW. Er kan duidelijk gezien worden welke projecten aanvaard kunnen worden en welke verworpen zouden moeten worden. Deze waarde geeft ons ook een beeld van de hoogste intrestvoet die een investeerder zou kunnen betalen zonder geld te verliezen. Dit geeft dus wat extra informatie. De NCW van een zonneboiler (1.390,38) is ongeveer even groot als de NCW voor het vervangen van enkel glas door dubbel glas (1.684,10). De IOV toont ons dat het vervangen van het enkele glas door dubbel glas nog rendabel is bij een discontovoet van 18%, terwijl de IOV bij de zonneboiler 9,35% bedraagt en dus bij een hogere discontovoet niet meer rendabel is.

De verdisconteerde terugverdientijd is een variant op de gewone terugverdientijd, waarbij er rekening wordt gehouden met de tijds waarde van het geld. Het is de tijd die nodig is om de Contante Waarde van de kasstromen van negatief naar positief te brengen. Dit is heel interessant indien men de geschatte levensduur kent van het project. Hier kunnen wij bijvoorbeeld zien dat het investeren in hoogrendementsglas zeer rendabel is.

Tijdens de ecologische analyse werd er getracht om te berekenen wat het investeren in energiezuinig wonen opbrengt voor het milieu. Er wordt hier uitgegaan van de bestaande huizen in Vlaanderen. Er wordt gesteld dat er geen isolatie aanwezig is en er geen gebruik gemaakt wordt van technologieën die bijdragen aan een energiezuinige woning.

Uitgaande van deze veronderstellingen zou men een totale besparing van 23,1 Mton CO₂/jaar kunnen realiseren door middel van energiezuinig wonen (*tabel 9.2*). Dit komt neer op een besparing per woning van ongeveer 11 ton CO₂/jaar.

Tabel 9.2: overzicht ecologische analyse

Energiebesparende maatregel	Besparing CO ₂ /jaar (Mton)	Besparing CO ₂ /jaar per woning (ton)
Vloerisolatie	1,4	0,68
Muurisolatie	7,2	3,46
Dakisolatie	5,6	2,70
Warmtepomp	3,1	1,50
Zonneboiler	0,8	0,38
Zonnecellen	2,8	1,35
Hoogrendementsglas	2,2	1,07
Totaal	23,1	11,14

Vlaanderen is van plan om jaarlijks 6,4 Mton CO₂-emissierechten aan te kopen in het buitenland. Hoewel de totale besparing van 23,1 Mton CO₂ een overschatting is van het eigenlijke potentieel, zou men kunnen stellen dat men door middel van energiezuinig wonen heel wat kan bijdragen tot het behalen van de Kyoto-norm. De kans kan zelfs als reëel beschouwd worden dat energiezuinig wonen ervoor kan zorgen dat er praktisch geen extra uitstootkredieten aangekocht moeten worden.

Het is duidelijk dat er nog heel wat mogelijkheden zijn om te voldoen aan de Kyoto-norm in eigen land. Men kan met deze besparing aan CO₂-uitstoot ook de vermeden externe kosten berekenen. Deze externe kosten worden door ecologen geraamd op 20 EUR/ton CO₂. Met behulp van energiezuinig wonen zou er dus, volgens deze berekening, ongeveer 462 M EUR/jaar vermeden kunnen worden. Dit komt neer op een vermeden externe kost van 223 EUR/woning.

Eenzijds zou men de vermeden externe kosten kunnen nemen ter verantwoording voor het geven van subsidies. Anderzijds mag men ook niet vergeten dat er geen emissierechten meer aangekocht moeten worden. De prijs voor het aankopen van emissierechten in het buitenland hangt af van vraag en aanbod en is de laatste maand

zeer sterk gedaald. De prijs van een CO₂-certificaat daalde van 29 EUR op 12 april naar 13 EUR/ton CO₂ op 10 mei. Indien men uitgaat van de laatste gegevens komt dit neer op een bijkomende besparing van 40 EUR/jaar en per woning. Men zou dit geld ook kunnen aanwenden voor het geven van subsidies. Indien men zowel de vermeden externe kosten als de vermeden kosten voor het aankopen van emissierechten in rekening zou brengen voor het geven van subsidies, zou men jaarlijks een subsidie kunnen geven van ongeveer 260 EUR/woning.

Bij het geven van subsidies zijn er naast de vermeden externe kosten en de vermeden kosten voor het aankopen van emissierechten in het buitenland nog andere aspecten die meespelen. Het geven van subsidies zorgt ervoor dat het geld in eigen land blijft. Op die manier bouwt men aan de toekomst van het eigen land. Een ander aspect is het multiplicatoreffect dat bereikt wordt door het investeren in eigen land. Als er een toename is in de vraag van een bepaald finaal product, heeft dit effect op de productie van dit product zelf en alle andere bedrijfstakken die tussenkomen in het productieproces. Dit heeft een aanzienlijke stijging van het aantal arbeidsplaatsen tot gevolg. Een laatste aspect is dat men door de beperking van de energievraag minder afhankelijk is van andere landen voor de energiebevoorrading. Door het beperken van de energievraag wordt het ook gemakkelijker om aan de vraag te voldoen door middel van duurzame energiebronnen.

Bovenstaande analyses laten duidelijk zien dat het heel belangrijk is om het geld in eigen land te investeren. Deze eindverhandeling heeft ook aangetoond dat er wel degelijk mogelijkheden zijn voor het behalen van de Kyoto-norm in eigen land. Misschien moet men niet voor de gemakkelijkste oplossing kiezen, maar aan de toekomst van ons land denken.

8.2 Vragen voor verder onderzoek

- Bij de economische analyse werd er meestal uitgegaan van de huidige brandstofprijzen. Het zou interessant zijn om de rendabiliteit van de verschillende projecten te onderzoeken met verschillende scenario's, zoals stijgende brandstofprijzen, een daling van de investeringskost, enzovoort.
- Bij de ecologische analyse werd er uitgegaan van de bestaande woningen in Vlaanderen om te berekenen wat het potentieel is van besparing bij energiezuinig wonen. Voor de berekening werd er gewerkt met een vereenvoudigd model. Er werd verondersteld dat de Vlaamse huizen geen isolatie hebben en geen gebruik maken van technologieën zoals warmtepompen, zonneboilers, enzovoort. Een studie met een meer gedetailleerde berekening van de besparing, die mogelijk is door het energiezuinig wonen in Vlaanderen zou zeer interessant zijn en een beter beeld kunnen geven van de werkelijke besparing en de mogelijkheid tot het behalen van de Kyoto-norm.
- Het zou ook zeer interessant kunnen zijn om per energiebesparende maatregel de vermeden externe kosten te vergelijken met de subsidies die nu al gegeven worden door de verschillende instanties. Op die manier kan men beter zien of de subsidies voldoende zijn en in overeenstemming met de vermeden externe kost per maatregel.

Lijst van de geraadpleegde werken

Boeken en publicaties

- AERTS, P., CLAES, A. (2001) *Enquête energiegebruik huishoudens in Vlaanderen in 2001*, Brussel, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie
- GIANCOLI, D.C. (1998) *Physics: principles with applications, fifth edition*, New Jersey, Prentice Hall
- HUSTINGS, C. (2004) *Economische aspecten van duurzaam bouwen*, Diepenbeek, Limburgs Universitair Centrum
- MERCKEN, R. (2003-2004) *Investerings – Investeringscalculatie*, Diepenbeek, Faculteit Toegepaste Economische Wetenschappen, Limburgs Universitair Centrum
- VERACHTERT, L. (2005) *Energiezuinig wonen: economische en ecologische analyse*, Diepenbeek, Limburgs Universitair Centrum

Brochures en folders

- COGEN Vlaanderen VZW (2004a) *Nieuwsbrief 4 jaargang 4*, Grimbergen
- COGEN Vlaanderen VZW (2004b) *Wegwijzer 2004*, Grimbergen
- COGEN Vlaanderen VZW (2005) *Nieuwsbrief 1 jaargang 5*, Grimbergen
- Electrabel (2003a) *Elektriciteit, opvallend onopvallend*, Brussel
- Electrabel (2003b) *Kerncentrales, solide en veilig*, Brussel
- Electrabel (2004) *Doelbewust*, z.pl.
- Electrabel (2005a) *Doelbewust*, z.pl.
- Electrabel (2005b) *Milieuverklaring 2004, kerncentrale Doel*, Lier

- Epb2006 (2005) *Bouwers en verbouwers, ontdek nu het gouden ei*, z.pl.
- Interelectra (2005) *Rationeel energiegebruik, krijg het warmer met minder moeite*, z.pl.
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2003a) *Ideeën voor energiezuinig bouwen en verbouwen*, Haarlem
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2003b) *Warmte uit zonlicht*, Haarlem
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2004a) *Elektriciteit uit zonlicht*, Haarlem
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2004b) *Ventilatie*, z.pl.
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2004c) *Warmtepompen voor woningverwarming*, Haarlem
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2005a) *Duurzame Energie, wegwijzer 2006*, Haarlem
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2005b) *Energie besparen bij u thuis, Premies van de netbeheerders voor energiebesparende maatregelen in 2005*, Haarlem
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2005c) *Fotovoltaïsche zonne-energie, Elektriciteit uit de zon*, Dilbeek
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2005d) *Ideeën voor energiezuinig wonen*, Dilbeek
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2005e) *Maak uw huis energiezuiniger en betaal minder belastingen*, Dilbeek
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2005f) *Praktische gids voor als u binnenkort gaat bouwen of verbouwen*, Haarlem
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2005g) *Warmtepompen, De natuur als bron van verwarming*, Dilbeek
- Stichting warmtepompen (2003) *Wegwijzer warmtepompen 2003-2004*, z.pl.

Internetbronnen (geraadpleegd tussen 1 september 2005 en 15 mei 2006)

- Administratieve Planning en Statistiek (2003) *Van Kyoto naar Vlaanderen*, beschikbaar op
URL:http://aps.vlaanderen.be/statistiek/dossiers/stat_dossiers.htm
- Administratieve Planning en Statistiek (2005) *Resultaten klimaatenquête*, beschikbaar op
URL:http://aps.vlaanderen.be/statistiek/nieuws/milieu/2006-01_klimaat.htm#top
- AMINAL (2006) *Het klimaat verandert, U ook? Ontwerp Vlaams Klimaatbeleidsplan 2006-2012*, beschikbaar op
URL:http://www.mina.be/uploads/060512_ontwerpVKP_2006-2012.pdf
- Belgische Senaat (2003) *Wetsontwerp houdende de geleidelijke uitstap uit kernenergie voor industriële elektriciteitsproductie*, beschikbaar op
URL:<http://www.senate.be/www/?MIval=/publications/viewPubDoc&TID=33620906&LANG=nl>
- BOLLEN, A. (2006) *Flexibiliteitsmechanismen, Een inleiding in de principes en toepassingen van CDM, JI en ET*, beschikbaar op
URL:<http://www.serv.be/webteksten/SERV/serv%20flexmex%20060421%20060421%20def.ppt#1>
- Commissie Ampère (2000) *Rapport van de Commissie voor de Analyse van de Productiemiddelen van Elektriciteit en de Reoriëntatie van de Energievectoren (AMPERE) aan de Staatssecretaris voor Energie en duurzame Ontwikkeling, Besluiten en aanbevelingen*, beschikbaar op
URL:http://mineco.fgov.be/energy/ampere_commission/ExSum_nl.pdf
- Federaal Planbureau (2004) *Een handleiding over economische instrumenten voor het binnenlandse en internationale beleid rond klimaatverandering*, beschikbaar op
URL:<http://www.plan.be/fr/pub/wp/WP0403/WP0403nl.pdf>

- Federaal Planbureau (2004) *Energievooruitzichten voor België tegen 2030*, beschikbaar op
URL:<http://www.plan.be/nl/pub/pp/PP095/PP095nl.pdf>
- Federale Overheidsdienst Economie, K.M.O., Middenstand en Energie (2006) *Energie 2004*, beschikbaar op
URL:http://mineco.fgov.be/energy/balance_sheets/2004/evolution_energy_market_2004_nl.pdf
- Federale overheidsdienst, Volksgezondheid, veiligheid van de voedselketen en leefmilieu (2005) *Belg kan meer doen dan hij/zij denkt*, beschikbaar op
URL:https://portal.health.fgov.be/portal/page?_pageid=56,512448&_dad=portal&_schema=PORTAL&ITEM_ID=4582387&SITE_ID=56&PAGE_ID=512545&isportlet=true&p_security=ON
- Federale portaalsite (2004) *Kyoto in België: een lastenverdeling tussen de Gewesten en de Federale overheid*, beschikbaar op
URL:<http://www.belgium.be/eportal/application?languageParameter=nl&pageid=contentPage&docId=33738>
- MIRA (2005) *Zoektocht naar milieuvriendelijke energievormen*, beschikbaar op
URL:http://www.milieurapport.be/portals/sitesource/uploads/miradata/MIRA-T/02_THEMAS/02_12/SYNTHESETEKST_MIRAT2005-03DEF.PDF
- PAREDIS, E. (2002) *Het Belgisch EU-voorzitterschap en energiefiscaliteit: worstelen tegen de stroom in*, beschikbaar op
URL:<http://cdonet.ugent.be/diverse%20projecten/publicaties/energiefiscaliteit.htm>
- URL:<http://externe.jrc.es/>
- URL:http://mineco.fgov.be/informations/statistics/port/env_nl.asp#A02
- URL:<http://portal.health.fgov.be>
- URL:<http://wsj.com>
- URL:<http://www.bblv.be/>
- URL:<http://www.bes.be/>
- URL:<http://www.bondbeterleefmilieu.be>

- URL:<http://www.bouwteamwoning.be/index.php>
- URL:<http://www.dialoog.be>
- URL:<http://www.ecolife.be>
- URL:<http://www.ecopower.be/reg.htm>
- URL:<http://www.emis.vito.be>
- URL:<http://www.energie.nl>
- URL:<http://www.energiesparen.be/>
- URL:<http://www.energik.be/>
- URL:<http://www.epb.be>
- URL:<http://www.hollandsolar.nl/>
- URL:<http://www.howstuffworks.com>
- URL:<http://www.ipcc.ch/>
- URL:<http://www.klimaat.be>
- URL:<http://www.klimaatbeurs.nl>
- URL:<http://www.livios.be>
- URL:<http://www.mansolar.nl/>
- URL:<http://www.milieuadvieswinkel.be/>
- URL:<http://www.ode.be/>
- URL:<http://www.planet.nl/>
- URL:<http://www.politics.be>
- URL:<http://www.provant.be/kampc/pages/Duurzaam%20bouwen/energieprestatieberekeningsmethodeart2.pdf>
- URL:<http://www.pyrosolar.nl>
- URL:<http://www.rtl.nl>
- URL:<http://www.senternovem.nl>
- URL:http://www.statbel.fgov.be/figures/d64_nl.asp#bron
- URL:<http://www.steg.be/>
- URL:<http://www.supersystems.be/>
- URL:<http://www.vhm.be/>

- URL:<http://www.viavzw.be/static/ViaBibliotheek/Artikels/Belgi%EB%20stapt%20uit%20kernenergie.htm>
- URL:<http://www.voka.be/>
- URL:<http://www.vrom.nl>
- URL:<http://www.vrtnieuws.net>
- URL:http://www.w-e.nl/WE%20algemeen/producten/artikelen/2004_Energieprestatiemethoden%20samen%20sterk.pdf
- URL:<http://www.wikipedia.org>
- URL:<http://www.yabasta.be>
- VERBRUGGEN, A. (2003) *Energietaksen als alternatief voor emissiehandel*, beschikbaar op
URL:<http://extranet.ufsia.ac.be/MTT/STEM/docs/348.pdf>
- Vlaams instituut voor wetenschappelijk en technologisch onderzoek (2005) *Determinanten Huishoudelijk Energiegebruik*, beschikbaar op
URL:<http://www.viwt.a.be/files/eindrapport%20PE02%20determinanten%20-%20volledig%20document.pdf>
- Vlaams instituut voor wetenschappelijk en technologisch onderzoek (2004) *Bouwen, Wonen en Energie deel 1 van 2*, beschikbaar op
URL:<http://www.viwt.a.be/files/BwWnpart1.pdf>
- Vlaams instituut voor wetenschappelijk en technologisch onderzoek (2004) *Bouwen, Wonen en Energie deel 2 van 2*, beschikbaar op
URL:<http://www.viwt.a.be/files/BwWnpart2.pdf>
- Vlaamse Milieumaatschappij (2005) *Internalisering van externe kosten voor de productie en de verdeling van elektriciteit in Vlaanderen*, beschikbaar op
URL:http://www.milieurapport.be/portals/sitesource/uploads/miradata/MIRA-T/03_gevolgen/03_03/econ_0&0_07.pdf
- Vlaamse overheid (2002) *Vlaams Klimaatbeleidsplan 2002-2005*, beschikbaar op
URL:<http://www2.vlaanderen.be/ned/sites/economie/energiesparen/doc/vkp.pdf>

- Vlaamse overheid (2005) *Energieverbruik in huishoudens in Vlaanderen, Resultaten enquête 2005*, beschikbaar op
URL:<http://www2.vlaanderen.be/ned/sites/economie/energiesparen/doc/enquete2005.pdf>

Bijlage 1

Eenheden van energie en vermogen

Eenheden van energie

Energie wordt uitgedrukt in de standardeenheid Joule (J). Dit is een vrij kleine eenheid, daarom worden vaak veelvoudenvan ervan gebruikt.

1 J	(1 Joule)	
1 kJ	(1 kiloJoule)	= 10^3 J
1 MJ	(1 MegaJoule)	= 10^6 J
1 GJ	(1 GigaJoule)	= 10^9 J
1 TJ	(1 TeraJoule)	= 10^{12} J
1 PJ	(1 PetaJoule)	= 10^{15} J
1 EJ	(1 ExaJoule)	= 10^{18} J
1 ZJ	(1 ZetaJoule)	= 10^{21} J

1 ton olie-equivalenten (toe) = 42 GJ

1 Mtoe = 42 PJ

Meestal wordt energie echter uitgedrukt in kilowattuur (kWh) of een van zijn veelvoudenvan.

1 kWh = 3600000 J = 3,6 MJ

1 kWh (1 kilowattuur) = 3600 kJ

1 MWh (1 Megawattuur) = 3600MJ

1 GWh	(1 Gigawattuur)	= 3600 GJ
1 TWh	(1 Terawattuur)	= 3600 TJ
1 PWh	(1 Petawattuur)	= 3600 PJ

Eenheden van vermogen

Vermogen wordt uitgedrukt in Watt (W) en zijn veelvouden. Vermogen is energie per eenheid van tijd. $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ (Joule per seconde)

1 W	(1 Watt)	
1 kW	(1 kiloWatt)	= 1000 W
1 MW	(1 MegaWatt)	= 10^6 W
1 GW	(1 GigaWatt)	= 10^9 W
1 TW	(1 TeraWatt)	= 10^{12} W

Bijlage 2: Interview met Inge Essers

Op donderdag 2 maart had ik een afspraak met Inge Essers in het provinciehuis van Noord-Brabant in Den Bosch. Inge Essers werkt voor Energie 2050 en staat daar in voor het duurzaam bouwen. Energie 2050 is recent gaan samenwerken met de provincie Noord-Brabant.

Jullie zijn pas samengegaan met de provincie Noord-Brabant. Heeft dat aan de werking van Energie 2050 veel veranderd?

Energie 2050 was eerst een projectorganisatie, die zeer actief samenwerkte met de gemeenten. Wij deden voorstellen van projecten en zo kon een gemeente kijken wat voor hen haalbaar was. De taak van Energie 2050 bestond er vooral in om de gemeenten met de realisatie van die projecten te helpen. Energie 2050 bestaat eigenlijk niet meer als bedrijf, maar als een afdeling van de provincie. Wij maken dus deel uit van de overheid. Dit heeft zowel voordelen als nadelen. Binnen de provincie komt er namelijk veel meer bij kijken dan enkel het realiseren van projecten. Beleid is nu een zeer grote factor geworden. Er zijn nu veel meer regeltjes waar rekening mee moet worden gehouden, omdat de politieke invloed van een provincie nu eenmaal zeer belangrijk is. Een voordeel is echter wel dat wij veel meer impact hebben vanuit de provincie. Alles wat wij doen, krijgt nu veel meer aandacht van de media.

Moeten gemeenten zelf initiatieven nemen tot projecten?

Het voorstel van een bepaald project moet niet op initiatief van de gemeente komen, maar het kan wel. Gemeenten mogen ook kiezen of zij aan een project willen meewerken of niet.

Hoe wordt de bouwregelgeving in Nederland juist gerealiseerd?

Nederland heeft in 1995 de energieprestatiecoëfficiënt ingevoerd. Die bedroeg toen 1,4 en is nadien strenger geworden tot 0,8 in 2006. Deze EPC, zoals het in Nederland

genoemd wordt, is een maat voor de totale energieprestatie van een woning. Op die manier worden er geen specifieke eisen gesteld voor afzonderlijke maatregelen, maar kijkt men naar het totaal. De mensen mogen zelf kiezen op wat ze juist willen besparen. Door de waarde regelmatig te laten dalen, moeten de mensen meer moeite doen om altijd maar energiezuiniger te bouwen. Een goede isolatie is niet meer voldoende om aan de norm te voldoen. Ook heeft Nederland nog het EPL. Dit is het energieniveau op locatie. Dit is niet verplicht en wordt op wijkniveau bekeken. Zo kan een bepaalde wijk een bepaald energieniveau behalen door allemaal samen te werken.

De Europese regelgeving rond het energieprestatieniveau is pas opgesteld door de Europese Commissie in 2003. Waarom loopt Nederland hier zo ver op vooruit?

Dat is een moeilijke vraag. Nederland is een technologieland en bij het invoeren van de EPC zijn heel veel bedrijven nieuwe technologieën gaan ontwikkelen om energiezuiniger te gaan leven. Deze technologieën had men nodig om steeds aan de strengere normen te voldoen. Ook kreeg Nederland heel veel impulsen van de buurlanden. In Scandinavië zijn ze namelijk nog veel verder op het gebied van energiezuinigheid en Duitsland is hier ook heel hard mee bezig.

Vlaanderen is met de energieprestatieregelgeving pas in januari begonnen. Wallonië en Brussel zijn nog steeds niet in orde met de regelgeving. Kunnen wij dan stellen dat Nederland 11 jaar voor is op België?

Ja, misschien wel. Het energiezuinig wonen is in Nederland eigenlijk helemaal geen 'hot item' meer. Er zijn weer andere dingen in het beleid opgenomen die nu belangrijker zijn, zoals het verkeer bijvoorbeeld. Nederland is daar heel snel mee begonnen en heeft eigenlijk al heel veel bereikt op dat vlak, terwijl België eigenlijk nog moet starten.

Is dit de schuld van de overheid?

Ik denk wel dat het de taak is van de overheid om de mensen te informeren en warm te maken voor het energiezuinig wonen. In Nederland zitten er in de energieprijzen

ook heel wat belastingen. Deze worden dan gebruikt voor het geven van subsidies of het investeren in onderzoek en ontwikkeling.

Vindt u het ook een beetje een gekke gedachte dat de Federale regering in België een deel van de energieprijzen gaat terugbetalen, terwijl de prijzen juist stijgen omdat men maar over zeer beperkte energievoorraden meer beschikt?

Daar ben ik het volledig mee eens. Als wij de energieprijzen constant houden, gaan de mensen nooit beseffen dat zij energiezuiniger moeten gaan leven. De regering zou beter net als in Nederland het geld investeren in onderzoek en ontwikkeling.

Worden er gemakkelijk subsidies verleend aan de mensen die extra willen investeren?

Eigenlijk niet zo veel meer. Wij hadden een tijd geleden wel de energiepremie-regelgeving, die wel voor subsidies zorgde, maar die bestaat spijtig genoeg niet meer. Zoals ik al zei, is energiezuinig wonen niet echt 'hot' meer in Nederland.

In Nederland worden er heel dikwijls nieuwbouwwijken gezet. Zou dat een reden kunnen zijn dat Nederland al veel verder staat dan België op het gebied van energiezuinig bouwen?

Ik denk zeker dat het een voordeel is. Het is veel gemakkelijker om door een grote aannemer een aantal huizen te laten bouwen en dan rekening te houden met de energiezuinigheid van de woningen. Het is ook veel gemakkelijker en goedkoper om al de woningen te voorzien van een goede isolatie. Ook de oriëntatie van de woningen is veel beter. Men kan ervoor zorgen dat ze niet in elkaars schaduw staan bijvoorbeeld. Het is echter niet zo dat dit speciaal gedaan werd om energiezuiniger te kunnen bouwen. Dit heeft enkel te maken met het beleid van ruimtelijke ordening in Nederland.

Wat is tegenwoordig de basis van het energiezuinig wonen in Nederland? Gaat dit alleen maar over een goede isolatie, de oriëntatie van de woning, ventilatie, ... of

maakt men de laatste tijd ook al veel gebruik van innovatieve technieken zoals energieopslag, warmtepompen, WKK, zonnecellen, ...?

Er wordt meer en meer gebruik gemaakt van innovatieve technieken. Zeker als men de EPC-waarde nog wil verlagen, zal men extra zijn best moeten doen om nog aan de regelgeving te voldoen. Vooral in wijken kunnen wij daar een evolutie waarnemen. Daar is het gemakkelijker om samen iets aan het energiezuinig wonen te doen. Men kan bijvoorbeeld een warmtepomp kopen voor de hele wijk of gebruik maken van mini-WKK.

Waar zijn volgens u de komende jaren de meeste mogelijkheden voor het energiezuinig wonen?

Ik denk dat in nieuwbouwwijken de meeste mogelijkheden zitten, maar aan plaatsen voor deze nieuwbouwwijken komt ook stilaan een einde. Men kan dan wel in steden oudere woningen gaan afbreken en er nieuwe plaatsen. Het nadeel is echter wel dat daar al overal gasleidingen liggen en men niet zo snel gaat kiezen voor een warmtepomp bijvoorbeeld. Ik denk wel dat er nog altijd nieuwere en energiezuinigere technieken voor individuele woningen zullen komen.

In België staat de sluiting van de kerncentrales volop ter discussie. Kernenergie zorgt voor een zeer kleine uitstoot van koolstofdioxide en men heeft schrik dat als men de kerncentrales gaat sluiten, de Kyoto-norm niet gehaald kan worden. Nederland heeft zeer weinig kernenergie, hoe proberen zij aan de Kyoto-norm te voldoen?

In Nederland is er eigenlijk een omgekeerd proces aan de gang. Men wil hier voor het halen van de Kyoto-norm juist overschakelen op kernenergie. Op onze afdeling is eigenlijk iedereen daar tegen, omdat wij dit geen duurzame energie vinden. Men krijgt wel niet te maken met de uitstoot van CO₂, maar het brengt wel heel wat ander afval met zich mee. Ik denk echter wel dat men uiteindelijk toch voor kernenergie gaat kiezen om de Kyoto-norm te halen. Voor de rest koopt Nederland heel veel energie aan van Frankrijk, wat eigenlijk ook kernenergie is. Men concentreert zich ook op het uitbreiden van de windenergie. Elke provincie heeft bepaalde doelstellingen die men

moet halen op het gebied van windenergie. Voor Noord-Brabant is dat 115MW. Ook maakt men in Nederland heel veel gebruik van biomassa.

Na het interview heb ik een bezoek gebracht aan informatiecentrum duurzaam bouwen: VIBA EXPO in Den Bosch (Vereniging Integrale Biologische Architectuur). Stichting VIBA EXPO is een landelijk platform voor humaan en ecologisch bouwen, wonen en werken met een unieke en Europa's grootste permanente expositie van bouwmaterialen, installaties, ontwerpen en diensten, die bijdragen aan een menswaardige en natuurlijke leefomgeving.

Bijlage 3: Interview met Eloi Glorieux (Groen!)

Op 28 maart had ik een interview met Vlaams parlements lid Eloi Glorieux in het Vlaams Parlement. Eloi Glorieux (Groen!) heeft mij uitleg gegeven over het standpunt van Groen! ten opzichte van kernenergie, het behalen van de Kyoto-norm en de nieuwe energieprestatieregeling.

Zou u even in het kort het standpunt van Groen! ten opzichte van kernenergie kunnen weergeven?

Wij zijn om diverse redenen tegen kernenergie. Kernenergie is niet ecologisch, kernenergie is niet economisch, het is geen duurzame energiebron, het is geen schone energiebron, het is geen veilige energiebron, ze werkt de proliferatie van atoomwapenmaterialen in de hand en ze is volgens ons overbodig.

Wat vindt u van de heropleving van het debat over de kernuitstap?

Ik ben voorstander van het vrij onderzoek. Ik vind dat debat altijd mogelijk moet zijn. Ik vind het wel eigenaardig dat diegenen die zweren dat er nu een debat moet zijn, wel 30 jaar lang kernenergie hebben ingevoerd zonder dat er ook maar enig debat was. Elke beslissing die genomen werd rond kernenergie, werd in het beste geval wel door regeringen genomen, maar ook door politici die zelf absoluut niet met de zaak bezig waren. Deze politici lieten zich alles influisteren door de monopolist op dat ogenblik, die ook qua regeling overal de hand in had. In elk Ministerie van energie zaten mensen van Electrabel. De invoering van kernenergie is zonder enig debat gebeurd. Zonder enige vorm van oplossingen voor talrijke problemen, waarvan men toen al wist dat die bestonden. Men veronderstelde toen dat die problemen zich onderweg wel zouden oplossen. Het verbaast mij dat men nu zit te schreeuwen dat die beslissing ondoordacht genomen zou zijn en daar een groot debat rond gevoerd moet worden. Die beslissing van kernuitstap is helemaal niet ondoordacht genomen, daar is drie jaar aan parlementair debat aan vooraf gegaan. Er is veel meer gedebatteerd in

het Federaal Parlement vooraleer men die kernuitstap goedkeurde dan dat er ooit rond het nucleaire thema gedebatteerd is. Groen! heeft toen de kernuitstap wel op de agenda gezet, maar er moet wel een meerderheid zijn om dat goed te keuren en die was er toen wel in het Federaal Parlement.

Kan kernenergie ooit deel uitmaken van een mogelijke oplossing voor het energieprobleem?

Kernenergie is een deel van het probleem en als men deel is van het probleem kan men geen deel zijn van de oplossing. Het kernaafvalprobleem is één probleem, daarnaast zijn er nog andere gerelateerde problemen. Het feit dat je een ernstig ongeval nooit kunt uitsluiten bijvoorbeeld. Zelfs al is het maar een fractie van de radioactiviteit die vrijkomt, zou dit een economische ramp zijn. Er zou bijvoorbeeld in het geval van Doel tientallen jaren niemand meer gebruik willen maken van de haven van Antwerpen. De hele economie zal in elkaar storten en de uitbaters van kerncentrales zijn grotendeels vrijgesteld van aansprakelijkheid. Men kan ook nooit een terroristische aanslag uitsluiten. Na 9/11 weet iedereen wel dat de terroristen tot alles in staat zijn. Uranium is ook geen onuitputtelijke erts, dus kan het voor ons ook niet echt deel uitmaken van een oplossing. Ook als men zegt dat kerncentrales CO₂-neutraal zijn, dan bedoelt men enkel het splijtingsproces in de reactor. Om dat splijtingsproces mogelijk te maken, moet men wel uranium uit de grond halen, verrijken en omzetten. Dat zijn allemaal processen die wel veel CO₂ produceren.

De voorstanders van kernenergie halen vooral aan dat kernenergie weinig CO₂ uitstoot en goedkoop elektriciteit levert. Die bevindingen zijn ook bevestigd door de Commissie Ampère. Vindt u dat die Commissie objectief geoordeeld heeft?

De Commissie Ampère is niet echt een onafhankelijk onderzoek. Men heeft niet overal inzage in gehad, maar moest meer herkauwen wat er aangebracht werd door andere mensen. Kernenergie is goedkoop, maar als men alle subsidies die wij ooit aan kernenergie gegeven hebben, alle voordelen die de uitbaters van kerncentrales gehad hebben, enzovoort in rekening brengen, komen wij tot een heel ander bedrag. Als men

nu een windturbine wil plaatsen, moet men al een volledig plan voor de ontmanteling van een windturbine klaar hebben, terwijl men nu nog altijd niet weet hoe men de kerncentrales gaat ontmantelen. In Duitsland heeft men berekend dat indien de aansprakelijkheid van mogelijke ongevallen in de kWh-prijs zou worden ingerekend, dit een kWh-prijs zou opleveren van wat op dit moment die van fotovoltaïsche zonne-energie is. Kernenergie heeft enorme voordelen gehad, waar men nu bij hernieuwbare energiebronnen honderden keren strenger is. Als kernenergie dan toch zo goedkoop is, hoe komt het dan dat een land met 60% kernenergie, de burgers decennialang de duurste energiefactuur van Europa moeten betalen.

Er wordt ook vaak beweerd dat er zonder kernenergie de Kyoto-norm niet zal gehaald kunnen worden.

Ik stel alleen vast dat die landen met de meeste kernenergie ook die landen zijn met de meeste CO₂-uitstoot. Dit toont duidelijk dat kernenergie deel uitmaakt van het probleem. Kernenergie is gebaseerd op de visie van een gecentraliseerd energiesysteem. Een gecentraliseerd energiesysteem produceert massa's energie, maar waar de boodschap ook is: verbruik heel veel. Kernenergie maakt dus deel uit van een energiesysteem dat op zich verkeerd is. Een energiesysteem dat duurzaam is, is gedecentraliseerd. Kernenergie kan geen oplossing zijn, omdat het niet CO₂-neutraal is zoals men beweert. Kernenergie produceert ook enkel elektriciteit. Kernenergie heeft dus maar een impact op 20% van de totale CO₂-uitstoot. De grootste uitstoot op dit moment zit in het verkeer en in het verwarmen van gebouwen. Ik denk dat wij op het verkeerde paard zouden wedden als wij kernenergie als oplossing gaan zien tegen de strijd van het broeikasprobleem.

Hoe ziet u het aandeel in verschillende hernieuwbare energiebronnen in een oplossing van het probleem?

Hernieuwbare energie is een deel van de oplossing. In Vlaanderen gaan wij er niet komen met alleen maar hernieuwbare energiebronnen. In de eerste plaats moeten wij ons energieverbruik verminderen. Wij hebben in België de hoogste energie-intensiteit

zowel per capita als per economische output. Wij hebben in tegenstelling tot sommige andere landen een enorm onaangeroerd potentieel tot energiebesparing. Een onderzoek in de bouw heeft vorige week nog aangetoond dat het met de isolatie van onze huizen nog veel slechter gesteld is dan oorspronkelijk gedacht werd. Het energieverbruik moet om te beginnen drastisch gereduceerd worden. Dat is praktisch echt mogelijk.

Ten tweede kan men hernieuwbare energiebronnen optimaliseren. Wij zouden ook qua jobs heel wat kunnen realiseren als dezelfde som geld, als wat nu naar het kernonderzoek gaat, naar hernieuwbare energiebronnen zou gaan. Dan zouden wij ook met technologie-innovatie heel wat exportmogelijkheden hebben. Er zijn zoveel mogelijkheden die Nederland, Noorwegen, Zweden, enzovoort al volop aan het ontwikkelen zijn, terwijl wij bijna al onze middelen nog volop in verouderde energiebronnen blijven steken, zoals kernenergie. Wij laten op die manier de energiebronnen van de toekomst aan ons ontglippen.

Ten derde moeten wij natuurlijk nog een deel van de energie opwekken via de conventionele middelen. Hier moet men dan gebruik maken van diegene die het hoogste rendement hebben qua omzetting van energiegrofstof naar elektriciteit. In de eerste plaats spreken wij hier over WKK en STEG-centrales.

Hoe zou Groen! de energievraag willen beperken en de Belg bewuster maken van het energieverbruik?

De regering wil voor een paar honderd miljoen EUR uitstootkredieten gaan kopen in het buitenland. Investeer dat geld in energiebesparende middelen in eigen land. Het potentieel is er en op die manier kan men ook tewerkstelling gaan creëren in de eigen sector. Men kan zo ook expertise opbouwen die men later ten gelde kan maken in het buitenland. Men kan op die manier ook het wooncomfort van de mensen verhogen. Er zijn zoveel argumenten om dat geld beter hier te investeren dan te zeggen: wij kiezen voor een gemakkelijksoplossing en iedereen mag maximaal verbruiken. Als wij dan

niet toekomen, gaan wij in het buitenland uitstootkredieten kopen. Men zou energie-audits bij iedereen kunnen laten uitvoeren. Er is enorm veel mogelijk, maar men moet maatregelen durven nemen.

Er is ook de maatregel geweest om aan iedereen een gratis spaarlamp te geven. De resultaten zijn daar heel goed. Door die maatregel alleen hebben de energiedistributeurs 2% energie bespaard op de energiehoeveelheid die ze het jaar voordien hadden geleverd. Groen! heeft nu voorgesteld om dit op te trekken tot 4%. Dat is perfect haalbaar, maar zeer moeilijk te realiseren vanuit de oppositie. Wij hebben echt een zeer groot potentieel tot besparing. Onze huizen zijn bijvoorbeeld het slechts geïsoleerd van heel Europa. Onze huizen zijn geïsoleerd op het niveau van huizen in Griekenland en Portugal. De huizen in Zweden, waar het veel kouder is dan in België, hebben maar de helft aan energie nodig voor verwarming dan hier in België. Als men met het voorstel naar de Vlaamse minister Peeters gaat om hier iets aan te doen, zegt hij: waar haalt u het meneer Glorieux dat onze huizen zo slecht geïsoleerd zijn? Hoe willen wij nu vooruitgang boeken op dat vlak als men eerst de minister nog moet overtuigen dat er inderdaad een probleem is en dat er wel degelijk iets aan gedaan kan worden. Als men liever geld investeert in het aankopen van buitenlandse uitstootkredieten, kan men daaraan vanuit de oppositie zeer weinig tegen doen. Men kan het geld maar één keer uitgeven natuurlijk.

Maar hoe kan er dan eigenlijk aan emissiehandel gedaan worden als iedereen denkt zoals België en er niemand gaat besparen? Men moet ook ergens kunnen aankopen bij landen die wel besparen.

Ja, dat is waar. Het probleem is echter dat sommige landen heel gunstig bedeeld zijn met uitstootkredieten. Die hebben een massa in aanbod, zonder dat ze daar eigenlijk iets voor moeten doen. Rusland is zo een voorbeeld. Op die manier kunnen andere landen dat overschot aan emissierechten gaan opkopen zonder dat er ook maar 1g CO₂ zal verminderen. Dat is allemaal goed om een deel op te vangen van landen die echt moeite doen om de uitstoot te verminderen en dan net niet toekomen, maar als men

in eigen land zoveel potentieel laat liggen om energie te besparen, waar is men dan mee bezig?

**Dan had België beter niet kunnen ondertekenen als zij er toch niets aan willen doen?
Nu is het meer een verliespost, zonder winst voor Vlaanderen.**

Wij hadden zeker wel moeten ondertekenen, maar dan moet men er wel iets aan doen. Kyoto is ondertekend tijdens de vorige legislatuur. Wij hebben nu een nieuwe legislatuur, waar de minister praat over windenergie als een hype die wel snel zal overwaaien. Nu is Minister Peeters zijn klimaatplan aan het opstellen, maar hij komt er niet. In plaats van effectief maatregelen te nemen, in plaats van te investeren, heeft hij de administratie de opdracht gegeven om eens een andere rekenformule te gebruiken. Misschien dat wij er zo wel komen. Het is niet door dit soort berekeningen dat men echt 1g CO₂ gaat verminderen.

Denkt u dat wij eigenlijk zouden kunnen voldoen aan de Kyoto-norm als wij zouden willen of is deze te streng?

De Kyoto-norm was tamelijk streng om de goede reden dat wij enorm veel uitstoten. Het is volgens mij perfect mogelijk om de CO₂-reductiedoelstelling in eigen land te halen als men er ook de middelen voor vrijmaakt. Als men echter het geld al onmiddellijk reserveert om buitenlandse uitstootkredieten te gaan aankopen, zal men ook de sector niet stimuleren om de CO₂ te reduceren.

Is de energieprestatieregelgeving die sinds 1 januari van kracht is gegaan een verbetering en zijn de normen eigenlijk streng genoeg?

Het is absoluut een verbetering, om de goede reden dat wij voordien helemaal niks hadden. Het enige wat wij hadden waren isolatienormen, die dan nog niet eens werden toegepast. Om te beginnen waren de isolatienormen heel zwak en dan bleek dat als men een werfcontrole deed, maar in amper 15% van alle nieuwe huizen die gebouwd werden die zwakke normen werden gerespecteerd. Het energieprestatie-decreet is dus wel een grote stap vooruit, vooral omdat hier ook de energieprestatie in

zijn totaliteit bekeken wordt. Het is echter ongetwijfeld zo dat door de late invoering ervan, want we zijn er 7 jaar geleden al aan begonnen, de normen die erin opgenomen zijn al achterhaald waren, vooraleer het decreet goed en wel van start ging.

In Nederland is die energieprestatieregelgeving al sinds 1995 van kracht.

Het is juist dat wat mij ook altijd kwaad maakte. In België heeft men heel dure contracten gegeven aan de WTCB. Die hebben allerhande berekeningen gemaakt en modellen ontwikkeld, terwijl men gewoon het model van Nederland had kunnen overnemen, in plaats van daar zoveel geld en tijd in te steken. Ondertussen heeft men dan iets ontwikkeld waar geen enkele architect aan uit kan. Eigenlijk is dat energieprestatiedecreet al achterhaald nog voordat het in werking treedt.

Uit een enquête die gedaan is door Bruno Tobback blijkt dat heel veel mensen willen dat er iets gedaan wordt aan de klimaatverandering, maar dat bijna niemand weet dat zij er zelf iets aan kunnen doen. Is het niet de taak van de overheid om de mensen hier de juiste informatie te geven?

Ja zeker, ook bij die spaarlampactie had dat moeten gebeuren. Men had een informatiefolder samen met die lamp moeten geven om de mensen duidelijk te maken wat zo één lamp kan besparen per jaar. De mensen weten het gewoon niet. Het eerste wat men moet doen is de mensen overtuigen en informeren. Dan gaan die automatisch openstaan voor besparende maatregelen, want zij gaan er zelf ook beter van worden.

Bijlage 4a: Berekening NCW warmtepomp zonder stookoliekorting (discontovoet 4%)

Periode	Investeringskost (EUR)	Opbrengst (EUR)	Subsidie Interelectra (EUR)	Subsidie Gemeente Lummen (EUR)	Fiscaal voordeel (EUR)
0	8.676,27				
1		554	2.112,1	250	
2		554			1.280
3		554			
4		554			
5		554			
6		554			
7		554			
8		554			
9		554			
10		554			
11		554			
12		554			
13		554			
14		554			
15		554			
16		554			
17		554			
18		554			
19		554			
20		554			
NCW					2.307,45

Bijlage 4b: Berekening NCW warmtepomp met stookoliekorting (discontovoet 4%)

Periode	Investeringskost (EUR)	Opbrengst (EUR)	Subsidie Intereselectra (EUR)	Subsidie Gemeente Lummen (EUR)	Fiscaal voordeel (EUR)
0	8.676,27				
1		372	2.112,1	250	
2		372			1.280
3		372			
4		372			
5		372			
6		372			
7		372			
8		372			
9		372			
10		372			
11		372			
12		372			
13		372			
14		372			
15		372			
16		372			
17		372			
18		372			
19		372			
20		372			
NCW					-165,99

Bijlage 5: Berekening NCW zonneboiler (discontovoet 4%)

Periode	Investeringskost (EUR)	Besparing (EUR)	Subsidie Interelectra (EUR)	Subsidie Gemeente Diepenbeek (EUR)	Fiscaal voordeel (EUR)
0	3.825				
1		166,51	625	573,75	
2		166,51			1.280
3		166,51			
4		166,51			
5		166,51			
6		166,51			
7		166,51			
8		166,51			
9		166,51			
10		166,51			
11		166,51			
12		166,51			
13		166,51			
14		166,51			
15		166,51			
16		166,51			
17		166,51			
18		166,51			
19		166,51			
20		166,51			
21		166,51			
22		166,51			
23		166,51			
24		166,51			

25		166,51			
26		166,51			
27		166,51			
28		166,51			
29		166,51			
30		166,51			
NCW					1.390,38

Bijlage 6: Berekening NCW PV-systeem (discontovoet 4%)

Periode	Investeringskost (EUR)	Opbrengst (EUR)	Groenestroom- certificaten (EUR)	Subsidie Vlaamse overheid (EUR)	Fiscaal voordeel (EUR)
0	19.565,7				
1		231,12	900	1.956,57	
2		231,12	900		1.280
3		231,12	900		
4		231,12	900		
5		231,12	900		
6		231,12	900		
7		231,12	900		
8		231,12	900		
9		231,12	900		
10		231,12	900		
11		231,12	900		
12		231,12	900		
13		231,12	900		
14		231,12	900		
15		231,12	900		
16		231,12	900		
17		231,12	900		
18		231,12	900		
19		231,12	900		
20		231,12	900		
21		231,12			
22		231,12			
23		231,12			
24		231,12			

25		231,12			
NCW					-659,12

Bijlage 7: Berekening NCW hoogrendementsglas (discontovoet 4%)

Enkel glas	Gewoon dubbel glas	Hoogrendementsglas
Aankoopprijs (EUR/m ²) 15	Aankoopprijs (EUR/m ²) 25,5	Aankoopprijs (EUR/m ²) 33,9
Oppervlakte (m ²) 20	Oppervlakte (m ²) 20	Oppervlakte (m ²) 20
Aankoopkost (EUR) 300	Aankoopkost (EUR) 510	Aankoopkost (EUR) 678
Plaatsingskost (per m ²) 20	Plaatsingskost (per m ²) 20	Plaatsingskost (per m ²) 20
Totale plaatsingskost (EUR) 400	Totale plaatsingskost (EUR) 400	Totale plaatsingskost (EUR) 400
BTW 0,21	BTW 0,21	BTW 0,21
Totale aankoopkost (EUR) 847	Totale aankoopkost (EUR) 1.101,1	Totale aankoopkost (EUR) 1.304,38

Enkel glas → Dubbel glas	Enkel glas → HR-glas	Dubbel glas → HR-glas
1 m ³ aardgas = 11 kWh	1 m ³ aardgas = 11 kWh	1 m ³ aardgas = 11 kWh
Besparing aardgas (m ³) 320	Besparing aardgas (m ³) 480	Besparing aardgas (m ³) 160
Aantal kWh 3.520	Aantal kWh 5.280	Aantal kWh 1.760
Aardgasprijs (EUR) 0,0582216	Aardgasprijs (EUR) 0,0582216	Aardgasprijs (EUR) 0,0582216
Totale besparing/jaar (EUR) 204,94	Totale besparing/jaar (EUR) 307,41	Totale besparing/jaar (EUR) 102,47

Enkel glas → Dubbel glas

Periode	Investering (EUR)	Opbrengst (EUR)	Fiscaal voordeel (EUR)
0	1.101,1		
1		204,94	/
2-20		204,94	
NCW			1.684,10

Enkel glas → HR-glas

Periode	Investering (EUR)	Opbrengst (EUR)	Fiscaal voordeel (EUR)
0	1.304,38		521,752
1		307,41	
2-20		307,41	
NCW			3.375,10

Dubbel glas → HR-glas

Periode	Investering (EUR)	Opbrengst (EUR)	Fiscaal voordeel (EUR)
0	1.304,38		521,752
1		102,47	
2-20		102,47	
NCW			589,9

Bijlage 8: Subsidies gegeven door de distributienetbeheerders

PREMIE	AGEM	GEDIS	GHA*	INTERELECTRA	IVEG	PBE	WVEM
Dakisolatie in bestaande woning	1,25 EUR/ m ²	2 EUR/ m ²	3 EUR/ m ²	1,25 EUR/ m ²	1,25 EUR/ m ²	1,25 EUR/ m ²	1,25 EUR/ m ² , min 25 m ² isoleren
Muurisolatie in bestaande woning	2 EUR/ m ² zelf 5 EUR/ m ² aannemer	2 EUR/ m ²	2 EUR/ m ²	2 EUR/ m ² zelf 5 EUR/ m ² aannemer	2 EUR/ m ²		
Vloerisolatie in bestaande woning			2 EUR/ m ²		2 EUR/ m ²		
Kelderisolatie in bestaande woning					1,25 EUR/ m ²		
Superisolierende beglazing ter vervanging van enkel glas	10 EUR/ m ²	10 EUR/ m ²	20 EUR/ m ²			10 EUR/ m ²	
Superisolierende beglazing ter vervanging van dubbel glas of in nieuwbouw		10 EUR/ m ²	8 EUR/ m ²			8 EUR/ m ²	

PREMIE	AGEM	GEDIS	GHA*	INTERELECTRA	IVEG	PBE	WVEM
Buisisolatie	0,5 EUR/m		0,5 EUR/m		0,5 EUR/m	0,5 EUR/m	
Radiatorfolie	1 EUR/ m ² , min 10 m ² plaatsen				1 EUR/ m ²	1 EUR/ m ²	
Ventilatiesysteem met warmterecuperatie		150 EUR	1 EUR/u ventilatie-debiet, min 150 EUR, max 50% factuur			150 EUR	
Condensatieketels (HR-top) ter vervanging	125 EUR	125 EUR	25 EUR/kW, min 125 EUR	125 EUR	125 EUR	125 EUR	125 EUR
Condensatieketels (HR-top) in nieuwbouw	125 EUR	125 EUR	25 EUR/kW, min 125 EUR	125 EUR	125 EUR	125 EUR	125 EUR
HR+ ketels in bestaande woning	50 EUR	50 EUR				50 EUR	
Vervanging elektrische verwarming					150 EUR/kW, max 2500 EUR		

PREMIE	AGEM	GEDIS	GHA*	INTERELECTRA	IVEG	PBE	WVEM
Warmtepomp		210 EUR per kVA, max 1680 EUR, geen premie voor lucht-lucht types, max 50% factuur	300 EUR/kW thermisch, geen lucht- lucht types	Premie afhankelijk van vermogen, min 250 EUR, max 2112,1 EUR, max 50% factuur	210 EUR per kVA, max 1680 EUR, geen premie voor lucht- lucht types, max 50% factuur		
Thermostaatkranen in bestaande woning	5 EUR/stuk, min 3 aankopen	5 EUR/stuk	5 EUR/stuk			5 EUR/stuk, min 3 aankopen	5 EUR/stuk, min 3 aankopen
Zonneboiler	75 EUR/ m ² , min 625 EUR, max 3750 EUR, max 50% factuur	625 EUR als enkel voor SWW, 75 EUR/ m ² , max 1500 EUR als ook voor ruimteverwarming	400 EUR/ m ²	75 EUR/ m ² , min 625 EUR, max 3750 EUR, max 50% factuur	75 EUR/ m ² , min 625 EUR, max 1500 EUR, max 50% factuur	75 EUR/ m ² , min 625 EUR, max 3750 EUR, max 50% factuur	75 EUR/ m ² , min 625 EUR, max 3750 EUR, max 50% factuur
Warmtepompboiler			625 EUR	625 EUR, max 50%factuur	625 EUR, max 50%factuur		

PREMIE	AGEM	GEDIS	GHA*	INTERELECTRA	IVEG	PBE	WVEM
Spaardouchekop					7 EUR	7 EUR	
Keukengeiser		150 EUR/toestel			150 EUR/toestel		
Aardgaswasdrogers		250 EUR, max 50% factuur		50 EUR	250 EUR		
Nieuwbouw met verlaagd E-peil E70		850 EUR				850 EUR	850 EUR
Nieuwbouw met verlaagd E-peil E75		750 EUR				750 EUR	750 EUR
Passiefhuis		1500 EUR voor NB***, 2000 EUR BW**					
Domotica met REG- eigenschappen		100 EUR NB***, 150 EUR BW**		100 EUR NB***, 150 EUR BW**	100 EUR NB***, 150 EUR BW**	100 EUR NB***, 150 EUR BW**	100 EUR NB***, 150 EUR BW**

PREMIE	AGEM	GEDIS	GHA*	INTERELECTRA	IVEG	PBE	WVEM
Huishoudelijke audit	gratis	50 EUR	Kosten afnemer beperkt tot 25 EUR	Kosten afnemer beperkt tot 25 EUR		50 EUR	
Huishoudelijk planadvies		75 EUR					
Bouwteams				50 EUR		50 EUR	
Klimaatwijken		0,05 EUR/bespaarde kWh			0,05 EUR/bespaarde kWh op voorwaarde dat besparing min 8% is	Startpakket + prijzen	Startpakket + prijzen

* Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen

** Bestaande woningen (BW)

*** Nieuwbouw (NB)

Bron: *Energie besparen bij u thuis, Premies van de netbeheerders voor energiebesparende maatregelen in 2005*, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap

Bijlage 9: Foto's van een woonwijk in Nederland (Zelhem, Gelderland)



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 : economische, ecologische en technologische analyse.

Mogelijke bijdrage om de Kyoto-norm te halen tegen 2012

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,

Griet TIMMERMANS

Datum: