



Energy research Centre of the Netherlands

Beleidsstudie naar WKK- en warmtepomptechnologieën

Eindrapport 21 juni 2011

W. Wetzels (ECN)

I. Blezer (Agentschap NL)

J.M. Sipma (ECN)



Agentschap NL
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

ECN-E--10-096

Juni 2011

Verantwoording

Dit rapport is geschreven door ECN en Agentschap NL in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. De contactpersoon bij VROM is mr. ing. P.J. Kruithof.

Het project staat bij ECN geregistreerd onder nummer 6.00307. Contactpersonen zijn Wouter Wetzels (tel. +31-224-568288, e-mail: wetzels@ecn.nl) en Ivo Blezer (tel. +31-88-6037713, e-mail: ivo.blezer@agentschapnl.nl).

De auteurs bedanken verschillende experts van Agentschap NL en Huib Visser (ECN), Casper Tigchelaar (ECN) en Cees Volkers (ECN) voor discussies en bijdragen aan dit rapport. De opmaak van dit rapport is verzorgd door Kim Stutvoet-Mulder (ECN).

Op 14 februari 2011 is een eerdere versie van dit rapport gepubliceerd. In deze nieuwe versie zijn enkele onderdelen toegevoegd.

- Aan paragraaf 3.6 is een alinea toegevoegd waarin toegelicht wordt in welke gevallen lucht/water warmtepompen in de praktijk worden toegepast.
- Aan paragraaf 3.8 is een gevoeligheidsanalyse toegevoegd voor de prijzen van warmtepomp-systemen.
- De samenvatting, paragraaf 3.9 ('Discussie resultaten cases') en hoofdstuk 7 ('Discussie en conclusies') zijn naar aanleiding van de toevoegingen bijgewerkt.

Abstract

New and upcoming technologies, such as micro-CHP and heat pumps, will make small-scale heat generation more diverse. Appropriate policies can advance the most beneficial technologies when the merits of the technologies are clear. For this purpose, this report compares heat generation technologies in the built environment, greenhouse horticulture and the industry and discusses the implications for CO₂ emissions, energy use and costs.

Inhoud

Lijst van tabellen	4
Lijst van figuren	5
Samenvatting	6
1. Inleiding	7
2. Uitgangspunten	8
2.1 Scenario Prijzen	8
2.2 Referentie elektriciteitsopwekking	9
2.3 Energiebelastingtarieven en SDE-opslag	11
2.4 Kostenberekening	14
2.5 Hernieuwbare energie	15
3. Woningbouw	16
3.1 Sectorbeschrijving	16
3.2 Technologiebeschrijvingen	16
3.3 Huidige toepassing	19
3.4 Huidig overheidsbeleid	19
3.5 Verwachte ontwikkelingen	21
3.6 Case-aannames	21
3.7 Resultaten cases	25
3.8 Gevoeligheidsanalyse	31
3.9 Discussie resultaten cases	35
4. Dienstensector/utiliteitsbouw	38
4.1 Sectorbeschrijving	38
4.2 Technologiebeschrijvingen	38
4.3 Huidige toepassing	40
4.4 Huidig overheidsbeleid	41
4.5 Verwachte ontwikkelingen	41
4.6 Case-aannames	42
4.7 Resultaten cases	43
4.8 Gevoeligheidsanalyse	49
4.9 Discussie resultaten cases	50
5. Glastuinbouw	52
5.1 Sectorbeschrijving	52
5.2 Technologiebeschrijvingen	52
5.3 Huidige toepassing	53
5.4 Huidig overheidsbeleid	53
5.5 Verwachte ontwikkelingen	54
5.6 Case-aannames	54
5.7 Resultaten cases	55
6. Industrie	58
6.1 Sectorbeschrijving	58
6.2 Technologiebeschrijvingen	58
6.3 Huidige toepassing	59
6.4 Huidig overheidsbeleid	60
6.5 Case-aannames	60
6.6 Resultaten cases	60
7. Discussie en conclusies	63
Referenties	71

Lijst van tabellen

Tabel 2.1	<i>Ontwikkeling scenarioprijzen in de Referentieraming 2010-2020 (variant met voorgenomen beleid)</i>	8
Tabel 2.2	<i>Referentiewaarden centrale elektriciteitsopwekking 'bij gebruiker', met operational margin voor 2010 en 2020, en build margin voor 2030</i>	11
Tabel 2.3	<i>Energiebelastingtarieven per 1 januari 2010 excl. BTW (Financiën, 2009)</i>	11
Tabel 2.4	<i>Tarieven SDE opslag aardgas (Daniëls et al., 2010b)</i>	13
Tabel 2.5	<i>Tarieven SDE opslag elektriciteit (Daniëls et al., 2010b)</i>	13
Tabel 2.6	<i>Indicatie marginale prijzen uitgedrukt in euro per ton CO₂ en euro per GJ primaire energie 2010</i>	14
Tabel 3.1	<i>Prestaties van de technologieën in de EPC-berekening (woningbouw)</i>	19
Tabel 3.2	<i>Jaarlijkse vraag naar ruimteverwarming, warm tapwater en elektriciteit (woningbouw)</i>	21
Tabel 3.3	<i>Aannames over kostendalingen</i>	24
Tabel 3.4	<i>Resultaten 2010 voor 2-onder-1-kapwoning</i>	25
Tabel 3.5	<i>Resultaten 2020 voor 2-onder-1-kapwoning</i>	25
Tabel 3.6	<i>Resultaten 2030 voor 2-onder-1-kapwoning (Referentie nieuwbouw STEG)</i>	25
Tabel 3.7	<i>Resultaten 2030 voor 2-onder-1-kapwoning (Referentie nieuwbouw kolen-CCS)</i>	26
Tabel 3.8	<i>Indicatie effecten ten opzichte van referentie bij invulling 10% warmtevraag in 2020</i>	30
Tabel 3.9	<i>Resultaten gevoeligheidsanalyse voor prijzen van warmtepompsystemen in 2010 (project matige nieuwbouw met schaalvoordelen voor warmtepompsystemen)</i>	32
Tabel 3.10	<i>Resultaten 2010 voor vrijstaande woning gebouwd voor 1930</i>	34
Tabel 3.11	<i>Resultaten 2010 voor meergezinswoning gebouwd na 1995</i>	34
Tabel 3.12	<i>Resultaten 2010 voor 2-onder-1-kapwoning met koeling</i>	34
Tabel 3.13	<i>Resultaten 2010 voor 2-onder-1-kapwoning met water/water warmtepomp</i>	34
Tabel 3.14	<i>Resultaten 2010 voor 2-onder-1-kapwoning met zonneboiler</i>	35
Tabel 3.15	<i>Resultaten 2020 voor 2-onder-1-kapwoning met variatie energieprijzen</i>	35
Tabel 4.1	<i>Prestaties van de technologieën in de EPC-berekening (dienstensector)</i>	39
Tabel 4.2	<i>Kenmerken van het gasmotorenpark in 2006 (Kroon et al., 2008)</i>	40
Tabel 4.3	<i>Jaarlijkse vraag naar ruimteverwarming, warm tapwater en elektriciteit (dienstensector)</i>	42
Tabel 4.4	<i>Aanname investeringskosten mini-WKK in 2010</i>	43
Tabel 4.5	<i>Resultaten 2010 voor kantoor en verpleeghuis</i>	44
Tabel 4.6	<i>Resultaten 2020 voor kantoor en verpleeghuis</i>	44
Tabel 4.7	<i>Resultaten 2030 voor kantoor en verpleeghuis (Referentie nieuwbouw STEG)</i>	44
Tabel 4.8	<i>Resultaten 2030 voor kantoor en verpleeghuis (Referentie nieuwbouw kolen- CCS)</i>	45
Tabel 4.9	<i>Indicatie effecten ten opzichte van referentie bij invulling 10% warmtevraag in 2020</i>	49
Tabel 4.10	<i>Resultaten 2010 voor school</i>	50
Tabel 4.11	<i>Resultaten 2020 voor kantoor en verpleeghuis met variatie energieprijzen</i>	50
Tabel 5.1	<i>Energiebelastingtarieven aardgas per 1 januari 2010</i>	53
Tabel 5.2	<i>CO₂-emissie per GJ opgewekte warmte (glastuinbouwcases)</i>	56
Tabel 5.3	<i>Indicatie effecten ten opzichte van de referentie bij invulling 10% van de warmtevraag (glastuinbouw)</i>	56
Tabel 5.4	<i>Primair energiegebruik per GJ opgewekte warmte (glastuinbouwcases)</i>	56
Tabel 5.5	<i>Overheidsopbrengsten uit heffingen per GJ opgewekte warmte voor de glastuinbouwcases</i>	57
Tabel 6.1	<i>Aantal WKK-installaties in de industrie in 2008</i>	59

Tabel 6.2	<i>Elektrisch vermogen van WKK in de industrie in 2008</i>	59
Tabel 6.3	<i>Brandstofinzet voor WKK in de industrie in 2008</i>	59
Tabel 6.4	<i>CO₂-emissie per GJ opgewekte warmte (industriële cases)</i>	61
Tabel 6.5	<i>Indicatie effecten ten opzichte van de referentie bij invulling 10% van de warmtevraag (niet-ETS industrie)</i>	61
Tabel 6.6	<i>Primair energiegebruik per GJ opgewekte warmte (industriële cases)</i>	61
Tabel 6.7	<i>Overheidsopbrengsten uit heffingen per GJ opgewekte warmte voor de industriële cases</i>	62

Lijst van figuren

Figuur 2.1	<i>Ontwikkeling basislast-elektriciteitsprijs in de Referentieraming 2010-2020</i>	9
Figuur 2.2	<i>Ontwikkeling CO₂-emissiefactor in de Referentieraming 2010-2020 met voorgenomen beleid</i>	9
Figuur 2.3	<i>Emissiefactoren van elektriciteitsopwekkende technologieën bij nieuwbouw</i>	10
Figuur 2.4	<i>Tarieven energiebelasting 2010, uitgedrukt in euro per ton CO₂</i>	12
Figuur 2.5	<i>Tarieven energiebelasting 2010, uitgedrukt in euro per GJ primaire energie</i>	12
Figuur 2.6	<i>Indicatie opbouw marginale prijzen aardgas per afnemerscategorie</i>	13
Figuur 2.7	<i>Indicatie opbouw marginale prijzen elektriciteit per afnemerscategorie</i>	14
Figuur 3.1	<i>Niet-ETS CO₂-emissie 2-onder-1-kapwoning in 2010</i>	26
Figuur 3.2	<i>Totale CO₂-emissie 2-onder-1-kapwoning in 2010</i>	26
Figuur 3.3	<i>Elektriciteitsverbruik 2-onder-1-kapwoning in 2010</i>	27
Figuur 3.4	<i>Energiegebruik 2-onder-1-kapwoning in 2010</i>	27
Figuur 3.5	<i>Investering voor 2-onder-1-kapwoning in 2010</i>	28
Figuur 3.6	<i>Jaarlijkse kosten excl. kapitaallasten 2-onder-1-kapwoning in 2010</i>	28
Figuur 3.7	<i>Jaarlijkse kosten 2-onder-1-kapwoning in 2010</i>	29
Figuur 3.8	<i>Nationale kosten uit heffingen voor de 2-onder-1-kap woning in 2010</i>	29
Figuur 3.9	<i>Overheidsopbrengsten uit heffingen voor de 2-onder-1-kap woning in 2010</i>	30
Figuur 3.10	<i>Jaarlijkse kosten bij projectmatige nieuwbouw (met schaalvoordelen voor warmtepompsystemen) in 2010</i>	32
Figuur 3.11	<i>Totale CO₂-emissie bij projectmatige nieuwbouw (met schaalvoordelen voor warmtepompsystemen) in 2010</i>	33
Figuur 3.12	<i>Primair energieverbruik voor verwarming bij projectmatige nieuwbouw (met schaalvoordelen voor warmtepompsystemen) in 2010</i>	33
Figuur 4.1	<i>Niet-ETS CO₂-emissie kantoor en verpleeghuis in 2010</i>	45
Figuur 4.2	<i>Totale CO₂-emissie kantoor en verpleeghuis in 2010</i>	45
Figuur 4.3	<i>Elektriciteitsverbruik kantoor en verpleeghuis in 2010</i>	46
Figuur 4.4	<i>Energiegebruik kantoor en verpleeghuis in 2010</i>	46
Figuur 4.5	<i>Investering kantoor en verpleeghuis in 2010</i>	47
Figuur 4.6	<i>Jaarlijkse kosten excl. kapitaallasten kantoor en verpleeghuis in 2010</i>	47
Figuur 4.7	<i>Jaarlijkse kosten kantoor en verpleeghuis in 2010</i>	48
Figuur 4.8	<i>Nationale kosten uit heffingen kantoor en verpleeghuis 2010</i>	48
Figuur 4.9	<i>Overheidsopbrengsten uit heffingen kantoor en verpleeghuis 2010</i>	49
Figuur 5.1	<i>Overheidsopbrengsten uit heffingen per GJ opgewekte warmte in 2020 (glastuinbouwcases)</i>	57
Figuur 6.1	<i>Overheidsopbrengsten uit heffingen per GJ geproduceerde warmte in 2020 (industriële cases)</i>	62
Figuur 7.1	<i>Niet-ETS CO₂-emissie 2-onder-1-kapwoning in 2010</i>	65
Figuur 7.2	<i>Totale CO₂-emissie 2-onder-1-kapwoning in 2010</i>	65
Figuur 7.3	<i>Primair energiegebruik 2-onder-1-kapwoning 2010</i>	66
Figuur 7.4	<i>Jaarlijkse kosten 2-onder-1-kapwoning in 2010</i>	66
Figuur 7.5	<i>Niet-ETS CO₂-emissie kantoor in 2010</i>	67
Figuur 7.6	<i>Totale CO₂-emissie kantoor in 2010</i>	67
Figuur 7.7	<i>Primair energiegebruik kantoor in 2010</i>	68
Figuur 7.8	<i>Jaarlijkse kosten kantoor in 2010</i>	68

Samenvatting

Deze studie zet technieken voor warmteopwekking op een rij voor verschillende sectoren en beoordeelt ze op energiegebruik, CO₂-uitstoot en kosten. Warmtepompen zetten omgevingswarmte op een efficiënte manier om in bruikbare warmte en hebben naast energiebesparing ook een verhoging van het aandeel duurzame energie tot gevolg. Warmtekrachtkoppeling (WKK) kan energie besparen doordat de warmte die vrijkomt bij de elektriciteitsproductie niet geloosd of weggekoeld wordt, maar nuttig wordt ingezet.

Door toepassing van warmtepompen neemt het lokale verbruik van aardgas af. Door WKK neemt het lokale aardgasverbruik juist toe. Kleinschalige warmtekracht-opwekking vindt meestal plaats buiten het emissiehandelssysteem (ETS) en de verhoging van het aardgasverbruik leidt dus tot een hogere CO₂-uitstoot voor de niet-ETS sectoren. Omdat het uitstootplafond van alle ETS-bedrijven is vastgelegd tot 2020 gaan de totale (ETS plus niet-ETS) emissies hierdoor omhoog.

Woningbouw

In de woningbouw zijn micro-WKK's met Stirlingmotor en warmtepompen op dit moment alternatieven voor de HR-ketel. Verwacht wordt dat WKK-brandstofcellen pas vanaf 2015 beschikbaar zullen zijn. Als het gaat om CO₂-emissie en gebruik van primaire energie presteert de water/water warmtepomp¹ in 2010 het beste van alle technieken. De jaarlijkse eindverbruikerskosten zijn echter ook het hoogst. De investeringen die nodig zijn voor hybride warmtepompen² zijn een stuk lager. Dat de energiebelasting op elektriciteit hoger is dan de energiebelasting op aardgas is ongunstig voor warmtepomptoepassingen.

Dienstensector/utiliteitsbouw

Warmte koude opslag (WKO) en WKK-gasmotoren vormen alternatieven voor het gebruik van HR-ketels in de dienstensector. Een warmtepompsysteem met WKO presteert op het gebied van energie, CO₂ en kosten het beste in de utiliteitsbouw, mits het gebouw voldoende koelvraag heeft. WKK is met name aantrekkelijk in gebouwen met een constante hoge warmtevraag.

Glastuinbouw

In de glastuinbouw zijn WKK-gasmotoren nu de meest voorkomende techniek. Gebruik van zonnewarmte en warmtepompen in semi-gesloten kassen is een manier om de glastuinbouw verder te verduurzamen. Deze ontwikkeling is tot nu toe achtergebleven door de concurrentie van warmte-opwekking met WKK.

Industrie

Voor processen in de industrie zijn warmtepompen geen algemeen toepasbaar alternatief voor de warmtevoorziening vanwege beperkingen aan het temperatuurniveau. WKK draagt bij aan de industriële energiebesparing en heeft een groter temperatuurbereik.

Voor de dienstensector, de glastuinbouw en de industrie geldt dat een toename van toepassing van WKK een afname van de belastinginkomsten met zich meebrengt. De aardgasinzet en het eigen verbruik van elektriciteit van WKK zijn meestal vrijgesteld van energiebelasting.³ Er is geen gelijk speelveld omdat gebruik van warmtepompen de belastinginkomsten juist verhoogt.

¹ Elektrisch aangedreven warmtepomp die de bodem of het grondwater als bron gebruikt. Hiervoor worden individuele of collectieve bodemwarmtewisselaars of Warmte-Koude Opslag (WKO) systemen gebruikt.

² Elektrisch aangedreven warmtepomp in combinatie met een cv-ketel die buiten- en/of ventilatielucht als bron gebruikt.

³ Voorwaarde voor de vrijstelling is dat de WKK-installatie een elektrisch rendement heeft van minimaal 30% en een elektrisch vermogen van tenminste 60 kW.

1. Inleiding

Warmte kan op veel verschillende manieren opgewekt worden. De kleinschalige warmte-opwekking in Nederland wordt diverser doordat er nieuwe technologieën in opkomst zijn. In de gebouwde omgeving dienen alternatieven voor HR-ketels zich aan, zoals micro-WKK, warmtepompen, warmte-koude opslag en zonneboilers. Mede vanwege stimulerend beleid winnen deze technologieën terrein.

Sinds 2005 is door snel toenemende toepassing van warmtekrachtkoppeling (WKK) de warmtevoorziening van de glastuinbouw sterk van karakter veranderd. Deze sector is massaal overgestapt van ketelstook op WKK-gasmotoren. Ook in andere sectoren zou de rol van WKK in de toekomst kunnen toenemen, bijvoorbeeld als gevolg van lokale klimaatinitiatieven, de oprichting van lokale energiebedrijven en de mogelijke grootschalige uitrol van micro-WKK installaties.

Toepassing van deze technologieën kan grote invloed hebben op het Nederlandse energiegebruik, de emissies en de energiekosten. Het overheidsbeleid stuurt deze ontwikkelingen. Om de beleidsafwegingen daarbij goed te kunnen maken is het van belang inzicht te hebben in hoe de technologieën kunnen bijdragen aan de lange-termijn doelstellingen van de overheid en hoe ongewenste neveneffecten zo veel mogelijk kunnen worden voorkomen.

Nieuwe technologie kan bijdragen aan energiebesparing en emissiereductie, kosten reduceren of de concurrentiepositie van de Nederlandse industrie verbeteren. Doordat sommige technologieën het decentrale elektriciteitsverbruik verhogen en andere juist leiden tot extra decentrale elektriciteitsproductie verschillen de effecten voor de energievoorziening en de energieinfrastructuur.

Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft ECN en Agentschap NL gevraagd om onderzoek te doen naar deze effecten. Het onderzoek heeft als doel een helder overzicht te bieden van voor- en nadelen van enkele WKK- en warmtepomptechnologieën. Voor vier sectoren, namelijk de woningbouw, de dienstensector, de glastuinbouw en de industrie, worden combinaties van toepassingslocaties en technieken onderzocht en gekarakteriseerd. Het onderzoek beperkt zich daarbij tot warmteopwekking op locaties die niet groot genoeg zijn om deel te nemen aan het Europese emissiehandelssysteem.

Deze studie beschrijft de effecten op het energiegebruik, CO₂-emissies en kosten tegen de achtergrond van een energievoorziening die op lange termijn duurzamer wordt. De huidige toepassing van de technologieën en het stimuleringskader worden besproken. Verder wordt een beeld gegeven van wat de effecten zijn van grootschalige marktpenetratie van de onderzochte technologieën.

Hoofdstuk 2 bespreekt enkele uitgangspunten voor deze studie, zoals het gebruikte achtergrondscenario. Daarna worden in achtereenvolgende hoofdstukken de woningbouw (Hoofdstuk 3), de dienstensector (Hoofdstuk 4), de glastuinbouw (Hoofdstuk 5) en de industrie (Hoofdstuk 6) besproken. Hoofdstuk 7 bevat een discussie en conclusies.

2. Uitgangspunten

Om de effecten op kosten, emissies en energiegebruik te kunnen bepalen zijn aannames nodig over toekomstige ontwikkelingen. Dit hoofdstuk licht enkele van de uitgangspunten en gebruikte methodes toe.

2.1 Scenarioprijzen

Voor de toekomstige energie- en CO₂-prijzen wordt aangesloten bij het scenario met voorgenomen beleid van de Referentieraming 2010-2020 van ECN en PBL (Daniëls et al., 2010a).

Tabel 2.1 *Ontwikkeling scenarioprijzen in de Referentieraming 2010-2020 (variant met voorgenomen beleid)*

	Eenheid	2010	2015	2020	2025	2030
Aardgas	[ct ₂₀₁₀ /m ³]	19	20	21	22	22
CO ₂ -prijs	[€ ₂₀₁₀ /ton]	16	21	21	26	31
Elektriciteit -basislast	[ct ₂₀₁₀ /kWh]	6,1	6,1	6,2	6,5	7,0
-piek	[ct ₂₀₁₀ /kWh]	7,2	7,1	7,2	7,4	8,1
-dal	[ct ₂₀₁₀ /kWh]	5,2	5,2	5,3	5,7	6,0

Aardgas

Het structurele commodityprijspeil voor aardgas loopt tussen 2010 en 2020 langzaam op van 19 ct₂₀₁₀/m³ tot 21 ct₂₀₁₀/m³. De werkelijke aardgasprijs kan in de loop van de tijd fluctueren. Voor onzekerheidsanalyses wordt gebruik gemaakt van een bandbreedte van 12-30 ct₂₀₁₀/m³ in 2020. Vooral voor kleinverbruikers maken de commodity kosten maar een beperkt deel uit van de aardgaskosten en zijn onder andere energiebelasting en BTW ook van groot belang.

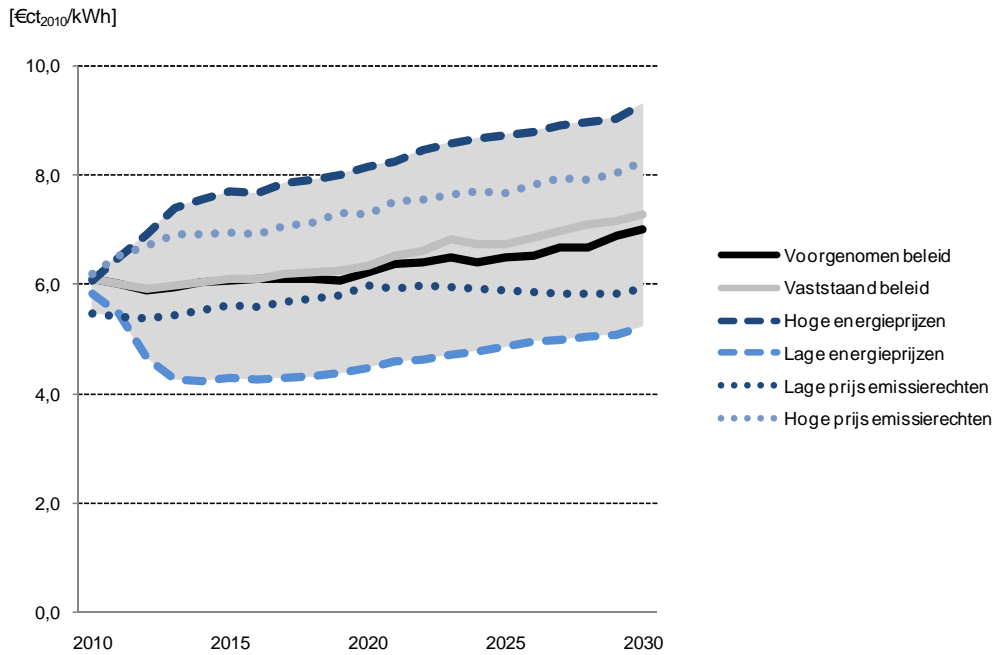
CO₂-emissierechten

Omdat grote elektriciteitsproducenten emissierechten moeten afdragen voor de uitstoot van CO₂ werkt de CO₂-prijs door in de elektriciteitsprijzen. De raming gaat uit van een CO₂-prijs van circa 20 €₂₀₁₀/ton voor de periode 2010-2020, met een bandbreedte van 10-40 €₂₀₁₀/ton in 2020. De economische recessie heeft tot een overschot aan CO₂-emissierechten geleid en door de gematigde economische groei in de raming stijgt de prijs van emissierechten maar beperkt. Voor deelnemers aan emissiehandel betekent een CO₂-prijs van 20 €/ton een verhoging van de kosten van aardgas met 3,6 ct/m³.

Elektriciteit

Nederland maakt een snelle omslag door van stroom-importeur naar stroom-exporteur. In de periode 2009-2015 vindt er veel nieuwbouw van gas- en kolencentrales plaats. Daarnaast zorgt het voorgenomen beleid tot 2020 ook voor een sterke uitbreiding van de opwekkingscapaciteit voor hernieuwbare elektriciteit.

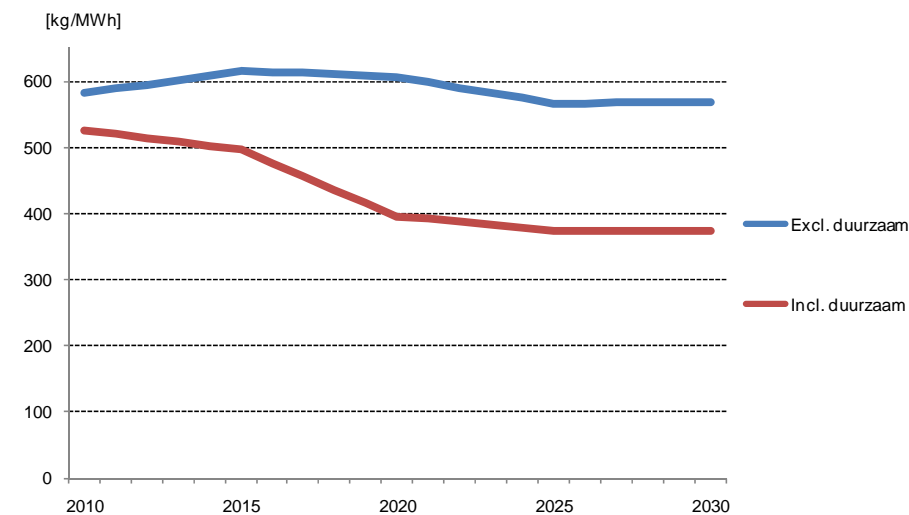
De basislast elektriciteitsprijs loopt in het scenario met voorgenomen beleid op tot 7,0 ct₂₀₁₀/kWh in 2030. Figuur 2.1 laat dit prijspad zien, samen met een aantal gevoeligheidsanalyses voor de energieprijzen en de CO₂-prijs. Ook voor de elektriciteitskosten geldt dat de eindverbruikersprijs niet alleen door de commodityprijs wordt bepaald, maar ook door andere kostencomponenten zoals de energiebelasting.



Figuur 2.1 *Ontwikkeling basislast-elektriciteitsprijs in de Referentieraming 2010-2020*

2.2 Referentie elektriciteitsopwekking

Als gevolg van het toenemende aandeel hernieuwbare elektriciteit neemt de gemiddelde CO₂-emissiefactor van het Nederlandse elektriciteitspark in het ramingscenario met voorgenomen beleid af (Figuur 2.2).



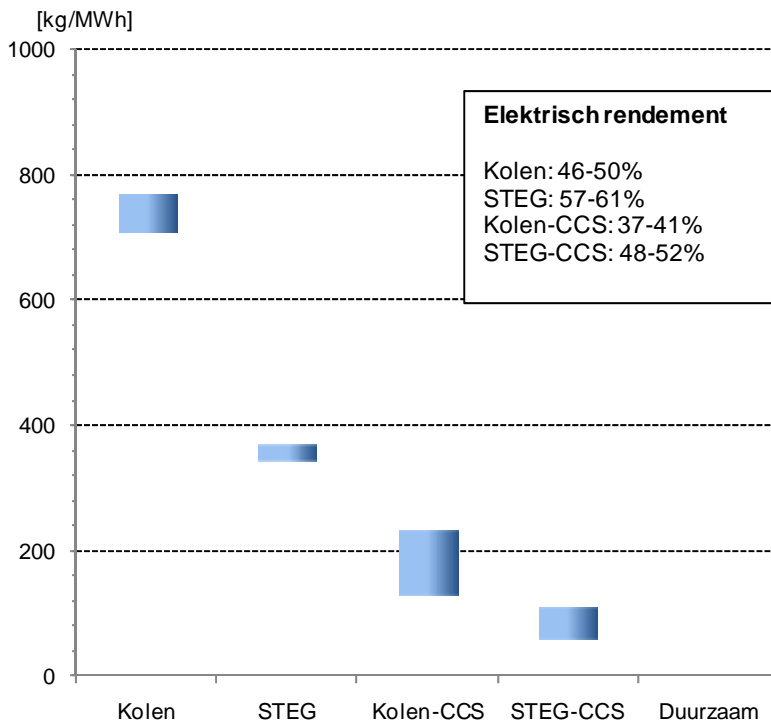
Figuur 2.2 *Ontwikkeling CO₂-emissiefactor in de Referentieraming 2010-2020 met voorgenomen beleid*

Als toepassing van een warmte-opwekkingstechnologie leidt tot toename van de hoeveelheid elektriciteit die wordt afgenomen van het net zijn er lokaal geen extra CO₂-emissies, maar ontstaan er wel indirecte emissies als gevolg van elektriciteitsopwekking elders. Bij extra decentrale elektriciteitsproductie kunnen emissies van centrale elektriciteitsopwekking juist worden vermeden. De marktgemiddelden voor emissies en opwekkingsrendement zijn niet geschikt

voor het bepalen van de grootte van deze effecten. Hiervoor kan beter gebruik worden gemaakt van de marginale emissies en marginale rendementen van het elektriciteitspark.

Beperkte veranderingen in het elektriciteitsverbruik kunnen opgevangen worden door aanpassing van het aantal draaiuren van het bestaande park. Dit is de zogenaamde ‘operational margin’. Op lange termijn hebben veranderingen invloed op de nieuwbouw van opwekkingscapaciteit. Als rekening wordt gehouden met het bijbouwen van centrales wordt gerekend met de ‘build margin’.

De emissiefactoren van verschillende opwekkingstechnologieën lopen sterk uiteen. Figuur 2.3 laat bijvoorbeeld zien dat de emissiefactor van nieuw te bouwen kolencentrales aanzienlijk hoger is dan die van gasgestookte Stoom- en Gasturbine (STEG) centrales. Op termijn kan door CO₂-afvang en opslag (CCS) de emissie voor elektriciteitsproductie worden beperkt. Dit heeft wel negatieve gevolgen voor het opwekkingsrendement, waardoor er meer brandstof nodig is om dezelfde hoeveelheid elektriciteit te produceren. Elektrische warmtepompen zullen bij toepassing van CCS minder energie besparen, maar wel meer CO₂-emissie reduceren. Duurzame elektriciteitsopwekking, bijvoorbeeld door windvermogen op zee of land, veroorzaakt geen CO₂-emissie.



Figuur 2.3 Emissiefactoren van elektriciteitsopwekkende technologieën bij nieuwbouw⁴

In deze studie wordt voor het bepalen van emissiereducties en energiebesparing aangesloten bij de referenties die zijn gebruikt in een potentieelstudie voor micro-WKK (de Jong et al., 2008) en een potentieelstudie voor lucht/water warmtepompen (Harmsen et al., 2009). Het uitgangspunt is dat tot en met 2020 extra elektriciteitsproductie of -verbruik kan worden opgevangen door het bijregelen van bestaand vermogen (waarbij gekozen is voor een STEG centrale). Voor het jaar 2030 worden twee verschillende referenties gebruikt: nieuwbouw van een STEG centrale, of nieuwbouw van een kolengestookte centrale met CO₂-afvang.

⁴ Bandbreedtes elektrisch rendement als in Wetzels, *e.a.* (2010).

Tabel 2.2 *Referentiewaarden centrale elektriciteitsopwekking 'bij gebruiker', met operational margin voor 2010 en 2020, en build margin voor 2030*

	2010 Bijregelen STEG	2020 Bijregelen STEG	2030 Nieuwbouw STEG	2030 Nieuwbouw Kolen-CCS
Emissiefactor [kg CO ₂ /MWh]	385 (325-430)	385 (325-430)	325 (300-350)	120 (90-150)
Elektrisch rendement [%]	50,5	50,5	59,6	41,3

De resultaten voor emissiereductie en energiebesparing zijn vaak erg gevoelig voor de keuze van de referentie. Er zijn veel verschillende methoden in omloop, die in verschillende situaties worden toegepast.

2.3 Energiebelastingtarieven en SDE-opslag

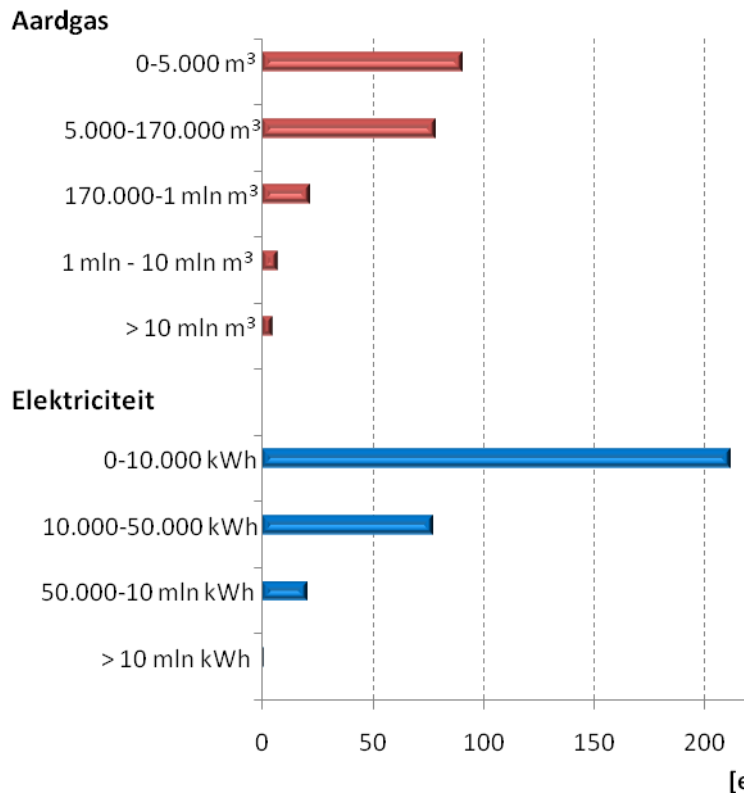
Eindverbruikers betalen energiebelasting over hun aardgas- en elektriciteitsverbruik. Tabel 2.3 geeft de energiebelastingtarieven. Kleinverbruikers betalen voor aardgas een aanzienlijk hoger belastingtarief dan grootverbruikers. Voor de glastuinbouw gelden verlaagde energiebelastingtarieven op aardgas. Dit wordt besproken in Hoofdstuk 0.

Tabel 2.3 *Energiebelastingtarieven per 1 januari 2010 excl. BTW (Financiën, 2009)*

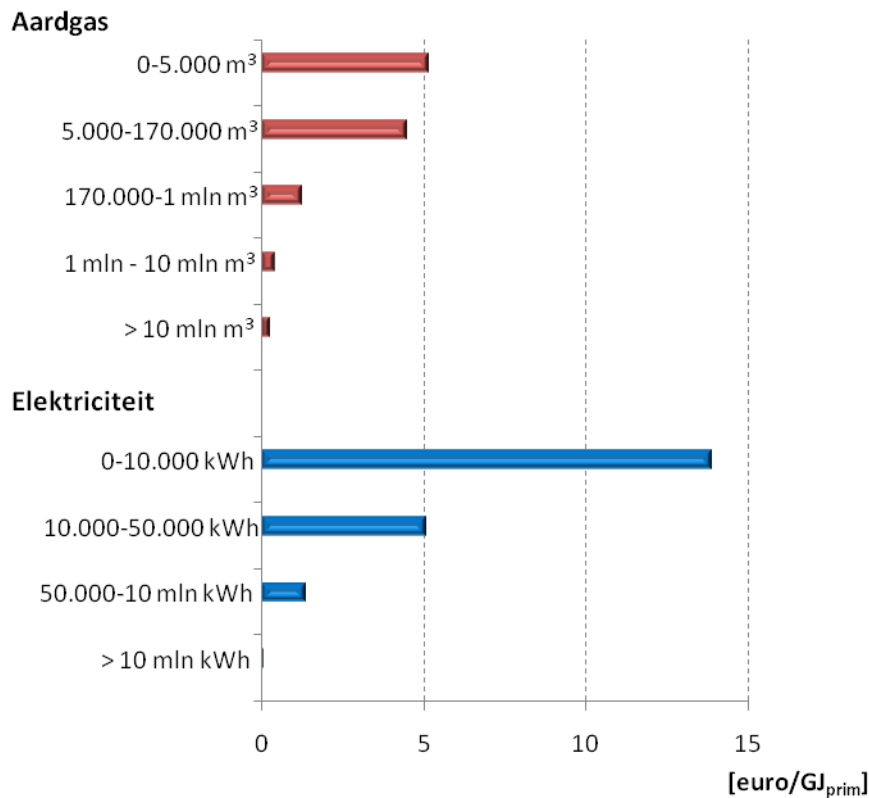
Energiebelasting gas - niet tuinbouw	Tarief [ct/m ³]	Energiebelasting elektriciteit	Tarief [ct/kWh]
0-5.000 m ³	16,29	0-10.000 kWh	11,14
5.000-170.000 m ³	14,11	10.000-50.000 kWh	4,06
170.000-1 mln. m ³	3,91	50.000-10 mln. kWh	1,08
1 mln.-10 mln. m ³	1,24	>10 mln kWh (niet-zakelijk verbruik)	0,1
> 10 mln. m ³ (niet-zakelijk verbruik)	1,16	>10 mln kWh (zakelijk verbruik)	0,05
>10 mln. m ³ (zakelijk verbruik)	0,82		

Ook de belastingtarieven voor elektriciteit zijn sterk degressief, zodat grootverbruikers per kWh veel minder betalen. Voor elektriciteit geldt in 2010 een vaste belastingvermindering per elektriciteitsaansluiting met verblijfsfunctie van €318,62.

Als de energiebelastingtarieven voor aardgas en elektriciteit met elkaar vergeleken worden op basis van primaire energie-inhoud en CO₂-emissies, zijn de tarieven voor de laagste schijf voor elektriciteit aanzienlijk hoger dan voor aardgas (Figuur 2.5).



Figuur 2.4 *Tarieven energiebelasting 2010, uitgedrukt in euro per ton CO₂*



Figuur 2.5 *Tarieven energiebelasting 2010, uitgedrukt in euro per GJ primaire energie⁵*

⁵ Deze tarieven zijn gebaseerd op een emissiefactor van het gemiddelde elektriciteitspark in 2010 van 526 kg/MWh en een gemiddeld rendement van fossiele elektriciteitsopwekking van 44,8%.

Sinds 2008 biedt de SDE-regeling subsidie voor de productie van hernieuwbare elektriciteit en groen gas. De SDE wordt gefinancierd uit de algemene middelen. Het is voorgenomen beleid om de SDE vanaf 2013 te financieren met een opslag op de elektriciteitsrekening voor eindgebruikers (Daniëls et al., 2010a). Dit systeem heet dan SDE+.

Hier wordt aangenomen dat de opbrengsten van de SDE heffing 50/50 verdeeld zijn over aardgas en elektriciteit en de financiering mogelijk maken van het extra hernieuwbare vermogen uit het ramingscenario met voorgenomen beleid. Tot en met 2012 is er geen SDE opslag. Vanaf 2013 lopen de tarieven langzaam op, waarbij de laagste schijf relatief zwaarder wordt belast. Deze variant van de SDE opslag is besproken als aanvullende beleids optie in Daniëls et al. (2010b).

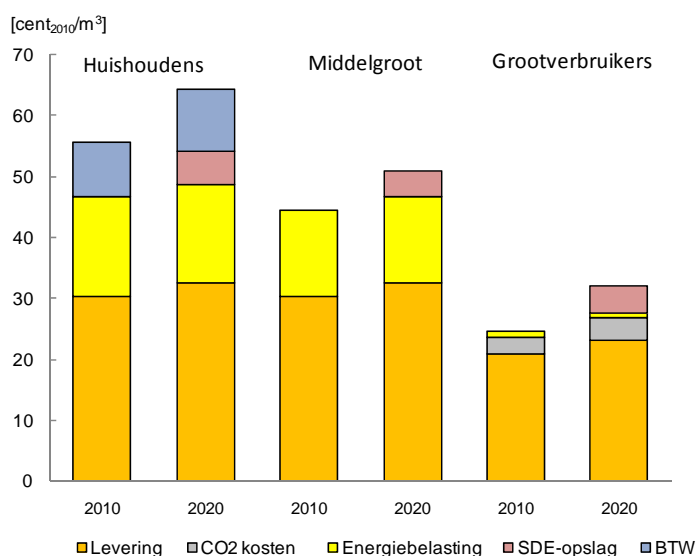
Tabel 2.4 *Tarieven SDE opslag aardgas (Daniëls et al., 2010b)*

[ct ₂₀₁₀ /m ³]	2012	2015	2020
0-5.000 m ³	-	1,64	5,31
5.000-170.000 m ³	-	1,34	4,31
170.000-1 mln. m ³	-	1,34	4,31
1 mln.-10 mln. m ³	-	1,34	4,31
> 10 mln. m ³ (niet-zakelijk verbruik)	-	1,34	4,31
>10 mln. m ³ (zakelijk verbruik)	-	1,34	4,31

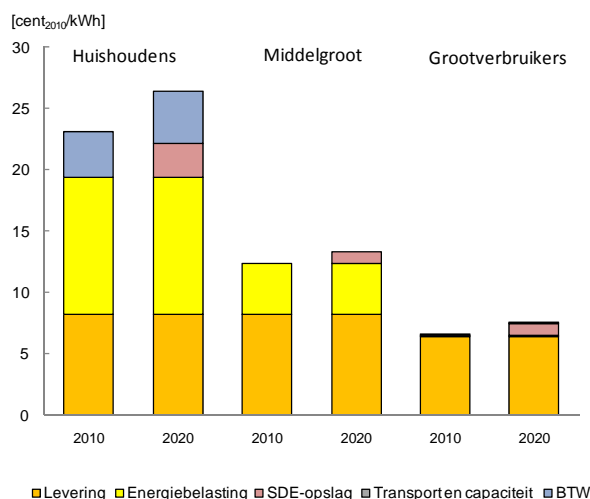
Tabel 2.5 *Tarieven SDE opslag elektriciteit (Daniëls et al., 2010b)*

[ct ₂₀₁₀ /kWh]	2012	2015	2020
0-10.000 kWh	-	0,86	2,80
10.000-50.000 kWh	-	0,30	0,97
50.000-10 mln. kWh	-	0,30	0,97
>10 mln kWh (niet-zakelijk verbruik)	-	0,30	0,97
>10 mln kWh (zakelijk verbruik)	-	0,30	0,97

Figuur 2.6 en Figuur 2.7 geven een indicatie van de totale opbouw van de marginale prijzen voor aardgas en elektriciteit voor drie afnemerscategorieën.



Figuur 2.6 *Indicatie opbouw marginale prijzen aardgas per afnemerscategorie*



Figuur 2.7 *Indicatie opbouw marginale prijzen elektriciteit per afnemerscategorie*

Op basis van primaire energie-inhoud en CO₂-emissies zijn de totale marginale prijzen voor elektriciteit hoger dan de marginale prijzen voor aardgas.

Tabel 2.6 *Indicatie marginale prijzen uitgedrukt in euro per ton CO₂ en euro per GJ primaire energie 2010⁶*

	Huishoudens	Middelgrote verbruikers	Grote verbruikers
Aardgas [€/ton CO ₂]	310	248	137
Elektriciteit [€/ton CO ₂]	439	252	125
Aardgas [€/GJ _{prim}]	18	14	8
Elektriciteit [€/GJ _{prim}]	29	16	8

De totale elektriciteit- en gaskosten zijn opgebouwd uit leveringskosten, energiebelasting, SDE opslag, netbeheer/transport en BTW. Het leveringstarief verschilt per energieleverancier. De hier gebruikte marge bovenop de commodityprijzen is gebaseerd op de gemiddelde tarieven van vijf energieleveranciers. Per 1 januari 2009 is voor kleinverbruikers het capaciteitstarief ingevoerd. Kleinverbruikers betalen een vast tarief voor het transport van gas en elektriciteit. Het tarief is gebaseerd op de capaciteit van de aansluiting en niet afhankelijk van het verbruik.⁷

2.4 Kostenberekening

De eindverbruikerskosten en nationale kosten voor de verschillende technologieën worden vergeleken. Voor de berekening van de eindverbruikerskosten voor huishoudens wordt een disconteringsvoet van 5,5% gebruikt, en voor de utiliteitsbouw een disconteringsvoet van 8%. Voor alle technologieën wordt uitgegaan van een technische levensduur van 15 jaar. De afschrijvings-termijn en de termijn van de lening zijn ook 15 jaar.

Voor de nationale kostenbenadering wordt geen onderscheid naar sector gemaakt en wordt een disconteringsvoet van 4% gebruikt voor het afschrijven van alle investeringskosten. De nationale kosten geven de kosten weer voor de BV Nederland vanuit een macro-economisch perspectief. Bij de nationale kosten spelen overdrachten binnen Nederland geen rol. Verdere toelichting van de kostenmethodiek staat in het Optiedocument (Daniëls et al., 2006).

⁶ Deze tarieven zijn gebaseerd op een emissiefactor van het gemiddelde elektriciteitspark in 2010 van 526 kg/MWh en een gemiddeld rendement van fossiele elektriciteitsopwekking van 44,8%.

⁷ Voor de bepaling van de tarieven zijn de tariefbladen van Liander gebruikt.

2.5 Hernieuwbare energie

In deze studie wordt de hoeveelheid hernieuwbare energie die door warmtepompen wordt opgewekt bepaald op basis van de substitutiemethode (te Buck et al., 2010). Dat houdt in dat de bijdrage van een hernieuwbare bron wordt teruggerekend naar de theoretische energie-inhoud van de vervangen conventionele bron. Voor de productie van hernieuwbare warmte wordt een referentiesysteem met een ketel gebruikt. Voor de hernieuwbare energieproductie uit bodemkoude wordt een compressiekoelmachine als referentiesysteem gebruikt.

Bij het bepalen van het aandeel hernieuwbare energie volgens de EU-Richtlijn Energie uit Hernieuwbare Bronnen wordt niet teruggerekend naar de hoeveelheid fossiele energie, maar wordt bekeken welk deel van het bruto eindverbruik van energie uit hernieuwbare bronnen afkomstig is. Er is nog steeds discussie over hoe in deze methode met warmtepompen moet worden omgegaan, en daarom worden in deze studie geen resultaten volgens de Europese methode gerapporteerd.

3. Woningbouw

3.1 Sectorbeschrijving

Het gasverbruik en het elektriciteitsgebruik in huishoudens laten een verschillende ontwikkeling zien (Daniëls, 2010a). Het gasverbruik voor verwarming en warm tapwater daalt. Dit is het gevolg van een gestage verbetering van de isolatiegraad en het verbeterde rendement van ketels van bestaande woningen. Hierdoor en door zachtere winters is de gasvraag per woning sterk afgenomen. Daar tegenover staat de toename van het aantal woningen. De energetische eisen aan deze nieuwe woningen zijn echter veel hoger, waardoor het effect van deze toename op het gasverbruik beperkt blijft. Al met al is het klimaatgecorrigeerde gasverbruik voor huishoudens tussen 1990 en 2008 gedaald van 362 tot 311 PJ.

Tegenover de daling van het gasverbruik in de huishoudens staat een toename van de elektriciteitsvraag door elektrische apparaten en verlichting. Voor apparaten die veel elektriciteit verbruiken, zoals wasmachines en koelkasten, is de afgelopen decennia een belangrijke efficiency verbetering gerealiseerd. Dit effect is echter gecompenseerd door een sterke toename van zowel het aantal als de gebruiksduur van apparaten. Het gaat hier vooral om witgoedapparaten, verlichting en ICT apparatuur. Daarnaast is er een aantal nieuwe apparaten bijgekomen met een groeiende penetratiegraad, met als voorbeeld de sterke opkomst van spelcomputers. Het finaal elektriciteitsverbruik van huishoudens is daardoor toegenomen van 59 PJ_e in 1990 tot 89 PJ_e in 2008.

3.2 Technologiebeschrijvingen

HR cv- ketel

De HR cv-ketel is de huidige referentietechniek in de woningbouw. Een HR cv-ketel wekt warmte op door de verbranding van aardgas. Deze warmte wordt gebruikt voor ruimteverwarming, zowel hoge als lage temperatuur, en warm tapwater.

Micro-WKK Stirlingmotor

Een warmtekrachtkoppelinginstallatie (WKK) is in staat om gelijktijdig warmte en elektriciteit op te wekken. De warmte die binnen het apparaat vrijkomt bij de opwekking van elektriciteit wordt nuttig gebruikt. Micro-WKK's wekken elektriciteit op met een maximaal vermogen van 5 kW_e en worden ook wel HRe ketels genoemd. Er zijn verschillende typen Stirlingmotoren in ontwikkeling. De vrije-zuiger Stirling wordt momenteel in verschillende configuraties verder ontwikkeld. Door verbeteringen in de Stirling generator en door verbeteringen in de warmteoverdracht van de brander kan de Stirlingmotor een elektrisch rendement behalen van 30%-35%. Ook worden er verbeteringen in prestaties verwacht door gewichtafname en een betere regeling (de Jong et al., 2008).

Micro-WKK Brandstofcel

Er zijn verschillende typen brandstofcellen in ontwikkeling. De belangrijkste twee zijn de SOFC19 en de PEM20. Deze systemen worden zowel geschikt gemaakt als totaalstelsel op aardgas als door waterstof gevoede systemen. Een SOFC kan direct gebruik maken van aardgas. De ontwikkeling van een PEM-brandstofcel-systeem op aardgas (met een reformer die aardgas omzet naar waterstof) is in volle gang (de Jong et al., 2008).

Verwacht wordt dat brandstofcellen vanaf 2015 ingepast zullen worden in micro-WKK's. Het elektrische rendement van de brandstofcel ligt tussen de 30% en 60%. Voor SOFC's op aardgas worden elektrische rendementen verwacht tot 50%. PEM-brandstofcellen kunnen elektrische

rendementen van meer dan 60% behalen. Voor PEM-brandstofcellen op aardgas dient rekening te worden gehouden met een eventuele reformstap van aardgas naar waterstof. Hierdoor loopt het netto rendement terug naar ca. 43%. Het totaalrendement is een aandachtspunt voor brandstofcellen, maar het is waarschijnlijk dat ook de warmte van de reformer in de toekomst kan worden ingezet voor ruimteverwarming.

Lucht/water warmtepomp

Een lucht/water warmtepomp is een elektrisch aangedreven warmtepomp die buiten- en/of ventilatielucht als bron gebruikt. In combinatie met elektrische bijstook kan de lucht/water warmtepomp worden toegepast in woningen voor ruimteverwarming, warm tapwater en koeling (Harmsen et al., 2009).

De warmtepomp voorziet in eerste instantie in het gevraagde vermogen, de elektrische bijstook springt bij indien nodig. Door combinatie van een lucht/water warmtepomp met elektrische bijstook is het niet noodzakelijk, maar wel gewenst, een lage temperatuur verwarmingsysteem (LTV) in de woning te hebben. Ook in woningen met een hoog temperatuursysteem (standaard in veel bestaande woningen) kan de warmtepomp toegepast worden. Wel geldt dat de prestatie en dekkingsgraad van de warmtepomp veel hoger zijn wanneer sprake is van een lage temperatuur systeem. Als in dit rapport wordt gesproken over lucht/water warmtepompen dan worden daarmee warmtepompen bedoeld die de buitenlucht en/of ventilatielucht als bron gebruiken en in combinatie met elektrische bijstook warmte leveren aan woningen.

Water/water warmtepomp

Een water/water warmtepomp is een elektrisch aangedreven warmtepomp die de bodem of het grondwater als bron gebruikt. Hiervoor worden individuele of collectieve bodemwarmtewisselaars of Warmte-Koude opslag (WKO) systemen gebruikt. Een water/water warmtepomp kan in woningen worden toegepast voor ruimteverwarming, warm tapwater en koeling. Levering van koude is min of meer noodzakelijk voor een goede werking van het systeem, omdat hiermee de balans in de bodem wordt gerealiseerd.

Voor de toepassing van een water/water warmtepomp is het noodzakelijk een lage temperatuur verwarmingsysteem (LTV) in de woning te hebben en ook moet de bestaande boven- en ondergrondse infrastructuur toepassing van bodemwarmtewisselaars of WKO toelaten. Als in dit hoofdstuk wordt gesproken over water/water warmtepompen dan worden daarmee warmtepompen bedoeld die de bodem en/of het grondwater als bron gebruiken en in combinatie met elektrische bijstook warmte voor ruimteverwarming en warm tapwater leveren aan woningen. Koude wordt geleverd op basis van vrije koeling. Dit houdt in dat een pompsysteem warmte afvoert naar de bodem en koude toevoert naar het woongebouw.

Hybride warmtepomp

Een hybride warmtepomp is een elektrisch aangedreven warmtepomp in combinatie met een cv-ketel die buiten- en/of ventilatielucht als bron gebruikt. De hybride warmtepomp kan worden toegepast in woningen voor ruimteverwarming, warm tapwater en koeling. De warmtepomp voorziet in eerste instantie in het gevraagde vermogen, de cv-ketel springt bij indien nodig (Harmsen et al., 2009).

Door combinatie van een lucht/water warmtepomp met cv-ketel is het niet noodzakelijk een lage temperatuur verwarmingsysteem (LTV) in de woning te hebben. Ook in woningen met een hoog temperatuursysteem (standaard in veel bestaande woningen) kan de warmtepomp toegepast worden. Wel geldt dat de prestatie en dekkingsgraad van de warmtepomp veel hoger is wanneer sprake is van een lage temperatuur systeem. Als in dit rapport wordt gesproken over hybride warmtepompen dan worden daarmee warmtepompen bedoeld die de buitenlucht en/of ventilatielucht als bron gebruiken en in combinatie met een cv-ketel warmte leveren aan woningen.

Airco-installatie

Een airco-installatie bestaat uit een elektrisch aangedreven koelmachine die de binnenlucht koelt en de overtollige warmte afgeeft aan de buitenlucht. Een airco-installatie kan worden toegepast in woningen voor ruimteverwarming en koeling. Tegenwoordig worden deze systemen ook ingezet als lucht/lucht of lucht/water warmtepomp door omkering van de functionaliteit.

Toepasbaarheid technologieën

Een HR cv-ketel is in vrijwel elk woning toepasbaar die is aangesloten op de gasinfrastructuur. Airco-installaties zijn ook vrijwel overal toepasbaar. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met een voldoende grote elektrische aansluiting, de mogelijkheid van plaatsing en de geluidsproductie van een buitendeel.

Een micro WKK is technisch in vrijwel elke woning toepasbaar die is aangesloten op de gas- en elektra-infrastructuur.

Een water/water warmtepomp wekt warmte op van een laag temperatuur niveau. Het is dus noodzakelijk dat een gebouw ook is voorzien van een laag temperatuur afgiftesysteem. Dit is eenvoudig te realiseren bij nieuwe gebouwen. Bestaande gebouwen zullen echter eerst nageïsoleerd moeten worden en eventueel voorzien worden van een nieuw afgiftesysteem. Voor het toepassen van een bodemwisselaar of een WKO-systeem dient de bodem van voldoende kwaliteit te zijn.

Een lucht/water warmtepomp is in vrijwel elke woning toepasbaar, dus ook in woningen met een hoog temperatuur afgiftesysteem. Een aantal systemen maakt gebruik van binnenlucht als bron. Een mechanisch afzuigsysteem dient dus aanwezig te zijn bij dit type warmtepompen. Er moet wel rekening worden gehouden met een voldoende grote elektrische aansluiting, de mogelijkheid van plaatsing en de geluidsproductie van een buitendeel.

Een hybride warmtepomp is in vrijwel elke woning toepasbaar die is aangesloten op de gasinfrastructuur, dus ook in woningen met een hoog temperatuur afgiftesysteem. Een aantal systemen maakt gebruik van binnenlucht als bron. Een mechanisch afzuigsysteem dient dus aanwezig te zijn bij dit type warmtepompen. Er moet wel rekening worden gehouden met een voldoende grote elektrische aansluiting, de mogelijkheid van plaatsing en de geluidsproductie van een buitendeel.

Technologieën in berekening Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC)

In onderstaande tabel zijn de resultaten gegeven van de prestaties van de verschillende technologieën in de EPC-berekening. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen forfaitaire waarden en gelijkwaardigheidsverklaringen. Het verschil in EPC verschilt per woning. De getallen in de tabel zijn indicatief voor een vrijstaande woning. Micro-WKK en hybride warmtepompen zijn geen standaard technologieën in de berekening.

Tabel 3.1 *Prestaties van de technologieën in de EPC-berekening (woningbouw)*

Technologie	Nsys,opw, forfaitair ¹	Nsys,opw, gelijkwaardigheid ²	Verskil in EPC t.o.v. cv-ketel ³
HR 107 cv-ketel	0,975	-	-
Micro-WWK Stirling	-	-	-
Micro-WWK Brandstofcel	-	-	-
Water/Water Warmtepomp bodem	1,575	1,90 ⁴	0,29-0,37
Water/Water Warmtepomp grondwater	1,775	2,56 ⁴	0,34-0,46
Lucht/Water Warmtepomp	1,35	1,52 ⁵	0,23-0,28
Hybride Warmtepomp	-	-	-

¹ Dit is het forfaitaire primaire opwekkingsrendement van de technologie in de EPC-berekening op bovenwaarde.

² Dit is het primaire opwekkingsrendement van de technologie in de EPC-berekening op basis van een gelijkwaardigheidsverklaring.

³ Berekening is gebaseerd op een vrijstaande woning van ca. 220 m² vloeroppervlak.

⁴ Gelijkwaardigheidsverklaring TNO Techneco Toros Nexus 5 serie.

⁵ Gelijkwaardigheidsverklaring TNO Nibe Split 12.

3.3 Huidige toepassing

HR cv- ketel

80% van de Nederlandse woningen is in 2010 voorzien van een individuele HR-ketel (Senter-Novem, 2010b). Uitgaande van ca. 6,3 mln woningen (Daniëls, 2010a) komt dit neer op ca. 5 mln individuele HR-ketels. Het gemiddeld vermogen van een HR-ketel bedraagt ca. 25 kW.

Micro-WKK Stirlingmotor

Micro-WKK is een nieuwe techniek waarvan de commerciële marktintroductie pas in 2010 heeft plaatsgevonden. Eind 2010 zijn ca. 1000 toestellen in Nederland geïnstalleerd (MicroWKK, 2010). Een micro-WKK heeft een elektrisch vermogen van ca. 1 kW_e en een thermisch vermogen van ca. 25 kW.

Micro-WKK Brandstofcel

Verwacht wordt dat brandstofcellen vanaf 2015 ingepast zullen worden in micro-WKK's. Op dit moment lopen de eerste individuele veldtesten (GasTerra, 2010).

Lucht/water en hybride warmtepompen

De lucht/water warmtepomp is een nieuwe techniek waarvan de commerciële marktintroductie pas recentelijk heeft plaatsgevonden. Eind 2010 zijn ca. 650 systemen in Nederland geïnstalleerd (SenterNovem, 2010c). Het thermisch vermogen ligt in de range van 1 tot 15 kW (SenterNovem, 2008).

Water/water warmtepomp

In Nederland zijn in 2009 4.560 nieuwe water/water warmtepompen geplaatst (CBS, 2010a). Het totale geplaatste aantal komt daarmee op 20.780 eind 2009 [(CBS,2010a), (CBS, 2009)]. Het thermisch vermogen ligt in de range van 4 tot 15 kW.

3.4 Huidig overheidsbeleid

EPC/Energielabel

De energieprestaties van nieuwe woningen worden gestimuleerd d.m.v. de Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC). Om in aanmerking te komen voor een bouwvergunning mag de EPC de waarde van 0,8 niet overschrijden. Per 1 januari 2011 zal de EPC-eis verlaagd worden naar 0,6.

De energieprestaties van bestaande woningen worden gestimuleerd d.m.v. het energielabel. Dit label geeft middels een letter (A t/m G) inzicht in de energiezuinigheid. Op dit moment zijn woningbouwcorporaties verplicht hun woningbestand te labelen, terwijl dit voor particulieren vrijwillig is. De technologieën in de voorgaande paragraaf hebben allemaal invloed op de EPC-waarde, dan wel het energielabel. De mate van invloed is afhankelijk van de specifieke woning en de daarin toegepaste technologie. Algemeen kan gesteld worden dat micro-WKK en warmtepompen een positief effect hebben op de EPC-waarde en het energielabel.

Meer met Minder

Om energiebesparing te realiseren in bestaande koop- en particuliere huurwoningen is het 'Meer met Minder'-convenant afgesloten met energiebedrijven, de installatiebranche en de bouwsector. Deze partijen hebben gezamenlijk een programma opgezet waarmee eigenaren van woningen ondersteund worden bij het aanbrengen van besparingsmaatregelen. Deelname van woning-eigenaren is vrijwillig.

Woningcorporaties

Investerings in energiebesparing door woningcorporaties worden gefaciliteerd door een aanpassing van het woningwaarderingstelsel, zodat door corporaties meer huur gevraagd kan worden voor energiezuinige woningen. Ook is tot en met 2010 een bedrag van €277 miljoen via de Energie Investeringsaftrek beschikbaar, dat corporaties kunnen gebruiken voor de verbetering van hun bestaande woningvoorraad. Dit betekent dat de investeringskosten van corporaties tot en met 2010 circa 11% lager zullen zijn.

Ecodesign en energielabels

Het huidige beleid gericht op het stimuleren van energiezuinige apparaten wordt vooral vanuit de Europese Unie ingevuld. De Europese Ecodesign richtlijn is een verplichtend beleidsinstrument en stelt eisen aan een productgroep. De Richtlijn Energielabels stelt energielabels op bepaalde apparaten verplicht. De verwachting van de opstellers van de Richtlijn is dat dit een stimulant zal zijn tot energiezuinig aankoopgedrag. De energielabels worden vermoedelijk in 2010/2011 aangepast. Er worden meer energiezuinige klassen toegevoegd (beter dan A) en meer apparaten krijgen verplicht een label.

Duurzame Warmte

In het kader van de regeling Duurzame Warmte worden micro-WKK's, lucht/water en water/water warmtepompen gesubsidieerd. De regeling geldt voor de bestaande bouw en heeft een looptijd tot 31 december 2011. De volgende subsidiebedragen worden gehanteerd:

- Micro-WKK €4.000 per toestel.
- Lucht/water warmtepomp €2.000 per toestel.
- Water/water warmtepompen €500/ kW thermisch vermogen tot 10 kW. Boven 10 kW draagt het subsidiebedrag per kW €250.

Overig financieel

Om financiële drempels weg te nemen of te verkleinen lopen er ook diverse kleinere faciliterende programma's.

- Tot 31 december 2010 is er €200 subsidie beschikbaar voor het verkrijgen van een maatwerkadvis.
- De regeling Groenprojecten maakt het mogelijk goedkoper geld te lenen voor investeringen in energiebesparing.
- Tot 31 december 2011 kan door particuliere woningbezitters gebruik gemaakt worden van een energiebesparingskrediet waardoor de rente op een lening lager wordt.

Naast de landelijke regeling Duurzame Warmte zijn er nog tal van provinciale en gemeentelijke regelingen (AgNL, 2010b).

3.5 Verwachte ontwikkelingen

De groei van het aantal huishoudens in de raming is minder sterk dan in de afgelopen decennia. In 2020 is het aantal huishoudens in Nederland volgens het CBS gestegen tot 7,9 miljoen. Omdat in sommige gevallen meerdere huishoudens in één woning wonen, schat de raming het aantal woningen op 7,7 miljoen. Door de minder sterke groei van het aantal huishoudens zal ook het aantal nieuwbouwwoningen minder sterk groeien, van in totaal 67 duizend per jaar in 2005 tot 57 duizend per jaar in 2020. De huishoudgrootte zal in dezelfde periode afnemen van 2,3 naar 2,1 personen per huishouden.

Het bestaande woningbestand in Nederland wordt in de periode 2005-2020 steeds energiezuiniger. Door autonome ontwikkeling zal in 2020 dubbel glas of HR-glas meer dan 70% van het totale glasoppervlak in woningen uitmaken en rond de 80% van het dakoppervlak zal geïsoleerd zijn. Ook het aandeel geïsoleerd vloeroppervlak zal toenemen. Buitengevelisolatie is ingewikkelder aan te brengen en zal autonoom nauwelijks worden toegepast in bestaande woningen, maar spouwmuurisolatie zal wel toenemen. Het resterende potentieel voor besparingsmaatregelen neemt af en zal steeds moeilijker invulbaar worden. Het potentieel voor HR-ketels zal al voor 2020 nagenoeg volledig ingevuld zijn. De toenemende penetratie van maatregelen leidt er ook toe dat veel G en F-labelwoningen in 2020 verbeterd zijn naar E niveau of beter. Het aantal A label woningen neemt sterk toe, vooral door nieuwbouw.

Er is, in overeenstemming met KNMI scenario's, aangenomen dat door klimaatverandering de gemiddelde temperatuur in Nederland stijgt. Het aantal warmtegraaddagen daalt tussen 2005 en 2020 met 7 %. Vooral waar ruimteverwarming een belangrijke rol speelt heeft dit invloed op het energiegebruik.

3.6 Case-aannames

Woningen

De sector huishoudens is gekarakteriseerd aan de hand van vier typen woningen: vrijstaand, 2-onder-1-kap, rijtjes- en meergezinswoning. De 2-onder-1-kap en rijtjeswoningen zijn gekarakteriseerd op basis van de gewogen gemiddelde warmtevraag (Daniëls, 2010a). Om ook inzicht te verkrijgen in prestaties van de technologieën voor woningen met een hoge en lage warmtevraag (de Jong et al., 2008), zijn cases doorgerekend voor een vrijstaande woning van voor 1930 en een meergezinswoning van na 1995. Het elektriciteitsverbruik van een woning bedraagt ca. 3430 kWh in 2010 en daalt daarna met ca. 10% (Daniëls, 2010a).

Tabel 3.2 *Jaarlijkse vraag naar ruimteverwarming, warm tapwater en elektriciteit (woningbouw)*

		Vrijstaande woning voor 1930	2-onder-1- kapwoning	Rijtjeswoning	Meergezins- woning na 1995
Ruimteverwarming [GJ]	2010	61	35	29	12
	2020	54	31	24	12
	2030	49	28	22	11
Tapwater [GJ]	2010	8,6	8,6	8,6	8,6
	2020	8,3	8,3	8,3	8,3
	2030	8,1	8,1	8,1	8,1
Elektriciteit [MWh]	2010	3,4	3,4	3,4	3,4
	2020	3,1	3,1	3,1	3,1
	2030	3,1	3,1	3,1	3,1

De jaarlijkse hoeveelheid aardgas die niet gebruikt wordt voor ruimteverwarming of warm tapwater bedraagt 1,2 GJ per woning (38 m³ aardgas). Bij woningen met een lucht/water of water/water warmtepomp is geen aardgas aansluiting aanwezig en is er in plaats daarvan een extra elektriciteitsverbruik van 1,2 GJ/jaar (333 kWh).

HR cv- ketel

Het rendement voor de opwekking van ruimteverwarming bedraagt 105% op onderwaarde (Harmsen et al., 2009, de Jong et al., 2008). Doordat deze techniek in hoge mate uitontwikkeld is, zal hier in de toekomst geen toename in te verwachten zijn. Het rendement voor de opwekking van warm tapwater bedraagt 83% en zal door techniekontwikkeling groeien naar 89% in 2020 en 2030 (Harmsen et al., 2009, de Jong et al., 2008). De kosten voor een cv-ketel inclusief installatie bedragen €1.937 excl. BTW (PRC, 2010). De HR-ketel is de referentietechniek in de gebouwde omgeving en heeft het einde van de leercurve bereikt. Substantiële kostprijzdalingen zijn dan ook niet meer te verwachten. De jaarlijkse onderhoudskosten bedragen € 150 incl. BTW en de technische levensduur is 15 jaar.

Micro-WKK Stirlingmotor

In 2010 bedraagt het rendement voor de opwekking van ruimteverwarming 90% op onderwaarde en het rendement voor elektriciteitsopwekking 15% op onderwaarde (de Jong et al., 2008). De opwekking van warm water vindt plaats met behulp van de geïntegreerde cv-ketel en heeft een rendement van 83% in 2010 en 89% in 2020 en 2030. Hierbij is aangenomen dat er tijdens warmtapwaterbereiding geen elektriciteitsproductie is.⁸ Doordat deze techniek nieuw is, wordt verondersteld dat het rendement van elektriciteitsopwekking zal toenemen tot 30% in 2030 en dat hieraan gekoppeld het rendement op ruimteverwarming zal dalen naar 75% (de Jong et al., 2008). De kosten voor een micro-WKK met een Stirlingmotor inclusief installatie bedragen €9.209 excl. BTW (PRC, 2010). Micro-WKK is een nieuwe techniek waarvan de commerciële marktintroductie pas in 2010 heeft plaatsgevonden en heeft dus het einde van de leercurve nog niet bereikt. De jaarlijkse onderhoudskosten bedragen € 200 incl. BTW en de technische levensduur is 15 jaar.

Voor aan het net geleverde elektriciteit wordt door de energiebedrijven een terugleververgoeding betaald. Energiebedrijven kunnen hier verschillende methodes voor hanteren. Bij de kostenberekening in deze studie wordt gesaldeerd met de geleverde elektriciteit als de levering kleiner is dan de afname. Bij een levering hoger dan de afname wordt uitgegaan van een vergoeding die gelijk is aan het leveringstarief exclusief energiebelasting en BTW.

Micro-WKK Brandstofcel

Verwacht wordt dat brandstofcellen pas vanaf 2015 ingepast zullen worden in micro-WKK's als alternatief voor Stirlingmotoren. Het rendement voor de opwekking van ruimteverwarming bedraagt 53% op onderwaarde en het rendement voor elektriciteitsopwekking 42% op onderwaarde (de Jong et al., 2008). De opwekking van warm water vindt plaats met behulp van de geïntegreerde cv-ketel en heeft een rendement van 89% in 2020 en 2030. Hierbij is aangenomen dat er tijdens warmtapwaterbereiding geen elektriciteitsproductie is. Aangenomen wordt dat de kosten voor een micro-WKK met brandstofcel in 2020 gelijk zijn aan de kosten van de huidige micro-WKK op basis van een Stirlingmotor. De jaarlijkse onderhoudskosten bedragen €200 incl. BTW en de technische levensduur is 15 jaar. Voor netlevering geldt dezelfde terugleververgoeding als voor Stirling micro-WKK.

Lucht/water warmtepomp (elektrisch)

Een lucht/water warmtepomp is een verzamelnaam voor een viertal verschillende types warmtepompen met lucht als bron. Binnen deze techniek kan een onderverdeling gemaakt worden naar binnen- of buitenlucht als bron en naar elektriciteit of gas als bijstook. De Seasonal Per-

⁸ Als gebruik zou worden gemaakt van een opslagvat voor warm tapwater zou het rendement voor opwekking van tapwater kunnen worden verhoogd.

formance Factor (SPF) is de verhouding tussen de hoeveelheid afgegeven warmte en de hoeveelheid benodigde finale elektrische energie (inclusief elektrische bijstook) in een jaar. Het afgiftesysteem en het type woning zijn van invloed op de waarde van de SPF. Bij de bepaling van de SPF (verwarming en warm tapwater) van een lucht/water warmtepomp zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd (Harmsen et al., 2009):

- Afgiftesysteem 70 °C /50 °C.
- Gemiddelde van type warmtepomp E t/m H (all electric).
- Vrijstaand, 2-onder-1 kap en rijtjeswoning: bouwjaar 1960-1980.
- Meergezinswoning: periode 1981-1995.

Dit resulteert voor 2010 in een SPF voor ruimteverwarming van 1,7 (vrijstaande woning) tot 2,0 (meergezinswoning). In 2020 en 2030 ligt de SPF tussen 1,9 en 2,5. Voor warm tapwater is de SPF in 2010 2,1 en in 2020 en 2030 ligt deze tussen 2,4 en 2,5. De kosten voor een lucht/water warmtepomp inclusief installatie bedragen €18.553 excl. BTW (PRC, 2010). Het is een nieuwe techniek waarvan de commerciële marktintroductie pas recentelijk heeft plaatsgevonden en heeft dus het einde van de leercurve nog niet bereikt. De jaarlijkse onderhoudskosten bedragen €200 incl. BTW en de technische levensduur is 15 jaar.

De lucht/water warmtepomp zal in de praktijk vrijwel niet toegepast worden bij woningen met een hoog energiegebruik. Bij energiezuinige concepten van lage-energiewoningen is de bijstook op een acceptabel niveau. Bij een hoger energiegebruik voor ruimteverwarming en bij woningen waarin pieken voorkomen in de warmtevraag wordt meestal de voorkeur gegeven aan bijstook op gas en kan een hybride warmtepomp worden gebruikt. Wanneer er sprake is van elektrische bijstook van de lucht/water warmtepomp dient er rekening gehouden te worden met voldoende aansluitcapaciteit aan het net.

Water/water warmtepomp

De SPF voor de opwekking van ruimteverwarming bedraagt 4,2 (AgNL, 2010). Deze waarde is een gemiddelde waarde voor open (SPF = 4,3) en gesloten systemen (SPF = 4,1). Doordat deze techniek nog niet uitontwikkeld is, zal hier in de toekomst een toename in te verwachten zijn naar 4,6 in 2020 en 4,8 in 2030 (deze ontwikkeling is conform de verbetering van de prestaties van lucht/water warmtepompen in Harmsen et al., 2009). De SPF voor de opwekking van warm tapwater bedraagt 2,3 en zal door techniekontwikkeling groeien naar 2,5 en 2,6 in respectievelijk 2020 en 2030 (Harmsen et al., 2009), (AgNL, 2010). De kosten voor een water/water warmtepomp inclusief installatie zijn afhankelijk van:

- Toepassing van een collectief of een individueel systeem.
- Een bodemwarmtewisselaar of een WKO-systeem als bron.
- Eengezinswoning of een meergezinswoning.

De kosten voor een collectieve warmtepomp (voor vijf woningen) met bodemwarmtewisselaars als bron bedraagt €14.910 excl. BTW per woning en voor een WKO-systeem als bron €25.299 excl. BTW per woning (PRC, 2010). De kosten voor een individuele warmtepomp met een bodemwarmtewisselaar als bron bedraagt voor een eengezinswoning €27.742 excl. BTW per woning en voor een meergezinswoning €26.851 excl. BTW per woning (PRC, 2010). De hier genoemde kosten zijn inclusief montage. De water/water warmtepomp is geen nieuwe techniek maar heeft het einde van de leercurve nog niet bereikt. De jaarlijkse onderhoudskosten bedragen ca. 1% van de investeringskosten incl. BTW (Deerns, 2007) en de technische levensduur is 15 jaar.

Hybride warmtepomp

Het afgiftesysteem en het type woning zijn van invloed op de waarde van de SPF. De Seasonal Performance Factor (SPF) is de verhouding tussen de hoeveelheid afgegeven warmte en de hoeveelheid benodigde elektriciteit en gas in een jaar. Bij de bepaling van de SPF (verwarming en warm tapwater) van een lucht/water warmtepomp zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd

(Harmsen et al., 2009):

- Afgiftesysteem 70 °C /50 °C.
- Gemiddelde van type warmtepomp A t/m D.
- Vrijstaand, 2-onder-1 kap en rijtjeswoning: bouwjaar 1960-1980.
- Meergezinswoning: bouwjaar 1981-1995.

Dit resulteert voor 2010 in een SPF voor ruimteverwarming van 2,5 (vrijstaande woning) tot 2,8 (meergezinswoning). In 2020 en 2030 ligt de SPF tussen 2,7 en 3,1. Voor warm tapwater is de SPF in 2010 2,1 en in 2020 en 2030 van 2,4 tot 2,5. De kosten voor een hybride warmtepomp inclusief de cv-ketel en inclusief installatie bedragen € 6.500 (incl. BTW) (SenterNovem, 2008⁹). De hybride warmtepomp is een nieuwe techniek waarvan de commerciële marktintroductie pas recentelijk heeft plaatsgevonden en heeft dus het einde van de leercurve nog niet bereikt. De jaarlijkse onderhoudskosten bedragen €200 en de technische levensduur is 15 jaar.

Airco-installatie

De SPF (Seasonal Performance Factor) voor de opwekking van koeling bedraagt 3 (Deerns, 2007). Doordat deze techniek in hoge mate uitontwikkeld is, zal hier in de toekomst geen toename in te verwachten zijn. De kosten voor een airco-installatie inclusief installatie bedragen € 700/kW_{th} (Deerns, 2007). Voor de verschillende type woningen is uitgegaan van een constant koelvermogen voor de koeling van de woonkamer (4 kW) en één slaapkamer (2 kW), zoals aangegeven door diverse fabrikanten (o.a. DSA-Koeling, 2010). De airco-installatie is de referentietechniek in de gebouwde omgeving m.b.t. koeling en heeft het einde van de leercurve bereikt. Substantiële kostprijzdalingen zijn dan ook niet meer te verwachten. De jaarlijkse onderhoudskosten bedragen ca. €75/jaar (Deerns, 2007) en de technische levensduur is 15 jaar.

Kostendalingen

De toekomstige ontwikkeling van de prijs van de verschillende installaties is zeer onzeker. Bij technologieën die nog in een vroeg stadium van ontwikkeling zitten zijn meer kostendalingen mogelijk dan voor meer gebruikelijke technologieën. In welke mate de kosten dalen hangt onder andere af van de snelheid waarmee de technologieën marktaandeel veroveren en gestimuleerd worden. De kosten van HR ketels zijn in het verleden sterk gedaald (Weiss, 2009) en dit is ook voor hybride warmtepompen mogelijk (Hoogwijk et al., 2009). Tabel 2.4 geeft de aannames over kostendalingen.

Tabel 3.3 *Aannames over kostendalingen*

	Kostendaling 2010-2020 [%]	Kostendaling 2010-2030 [%]
Ketel	-	-
WKK Stirling	30	40
WP lucht/water	10	20
WP water/water	10	20
WP hybride	30	40

WKK op basis van brandstofceltechnologie is op dit moment nog niet commercieel beschikbaar. Er wordt aan genomen dat de prijs van de brandstofcel-WKK in 2020 gelijk is aan de kosten van een Stirling WKK 2010. Verder wordt aangenomen dat de kosten voor een brandstofcel-WKK in de periode 2020-2030 dalen met 30%.

⁹ Dit cijfer is geschat aan de hand van de kostencijfers vanaf de leverancier zoals in de referentie aangegeven. Er is gecorrigeerd voor korting van de leverancier aan de installateur, installatiekosten, marges en BTW. Daarbij is rekening gehouden met verschillende hybride systemen: als één systeem in combinatie met een ketel of add-on bedoeld om naast een ketel op te hangen.

3.7 Resultaten cases

In de onderstaande tabellen en figuren zijn de resultaten gegeven van 2-onder-1-kapwoningen met een individueel systeem in 2010. Discussie van de resultaten volgt in Paragraaf 3.9. De 2-onder-1-kapwoning benadert het energiegebruik van een gemiddelde woning in Nederland in 2010. Er is hier uitgegaan van een woning zonder koeling. In de tabellen en figuren worden de volgende resultaten weergegeven:

- CO₂-emissie niet-ETS: de CO₂-uitstoot uit de schoorsteen van de woning.
- CO₂-totaal: de CO₂-uitstoot uit de schoorsteen van de woning en de CO₂-uitstoot van de centrale elektriciteitsproductie voor de elektriciteit in de woning.
- Primaire energie: de primaire energie behoefte van de woning voor ruimteverwarming, warm tapwater en elektriciteit. Door de productie van elektriciteit met micro-WKK wordt centrale elektriciteitsproductie vermeden.
- Hernieuwbare energie: de hoeveelheid geproduceerde hernieuwbare energie berekend met de substitutiemethode.
- Investering: de eenmalige investering voor de voorziening voor ruimteverwarming en warm tapwater. Hierbij is geen rekening gehouden met investeringssubsidies.
- Jaarlijkse kosten: de jaarlijkse kosten voor de eindverbruiker. Dit zijn kapitaalkosten voor de investering, onderhouds- en energiekosten.
- Nationale kosten: de nationale kosten voor investeringen, operationele kosten en energie, waarbij overdrachten binnen Nederland geen rol spelen.
- Overheidsopbrengsten uit heffingen: energiebelasting, SDE-opslag en BTW.

Tabel 3.4 Resultaten 2010 voor 2-onder-1-kapwoning

2010	CO ₂ -emissie [ton]		Energie [GJ]		Kosten [x €1000]	
	Niet-ETS	Totaal	Primair	Hernieuwbaar	Investering	Jaarlijks
Ketel	2,6	3,9	70	-	2,3	2,0
WKK Stirling	2,9	3,6	64	-	11,0	2,6
WKK brandstofcel	-	-	-	-	-	-
WP lucht/water	0,0	4,0	73	0	22,1	4,6
WP water/water	0,0	2,7	51	20	33,0	5,1
WP hybride	0,8	3,4	63	6	6,5	2,8

Tabel 3.5 Resultaten 2020 voor 2-onder-1-kapwoning

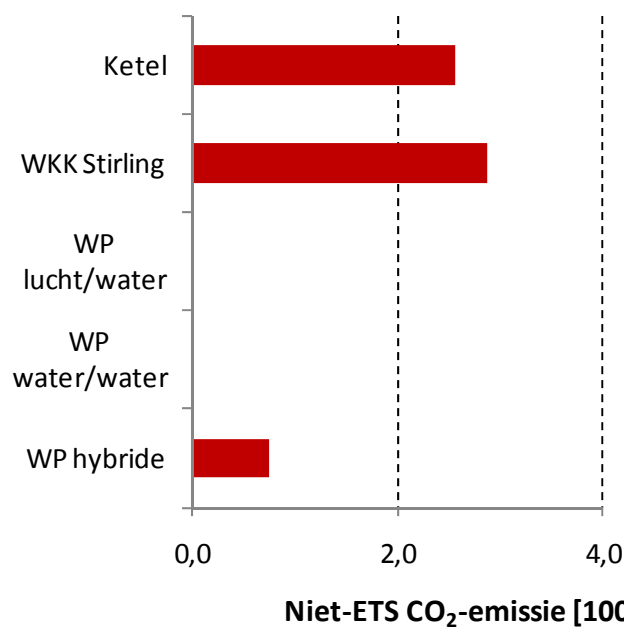
2020	CO ₂ -emissie [ton]		Energie [GJ]		Kosten [x €1000]	
	Niet-ETS	Totaal	Primair	Hernieuwbaar	Investering	Jaarlijks
Ketel	2,3	3,4	62	-	2,3	2,0
WKK Stirling	2,8	2,9	52	-	7,7	2,1
WKK brandstofcel	3,9	2,5	42	-	11,0	2,4
WP lucht/water	0,0	3,3	61	2	19,9	4,2
WP water/water	0,0	2,4	44	19	29,7	4,7
WP hybride	0,6	3,0	54	8	4,6	2,6

Tabel 3.6 Resultaten 2030 voor 2-onder-1-kapwoning (Referentie nieuwbouw STEG)

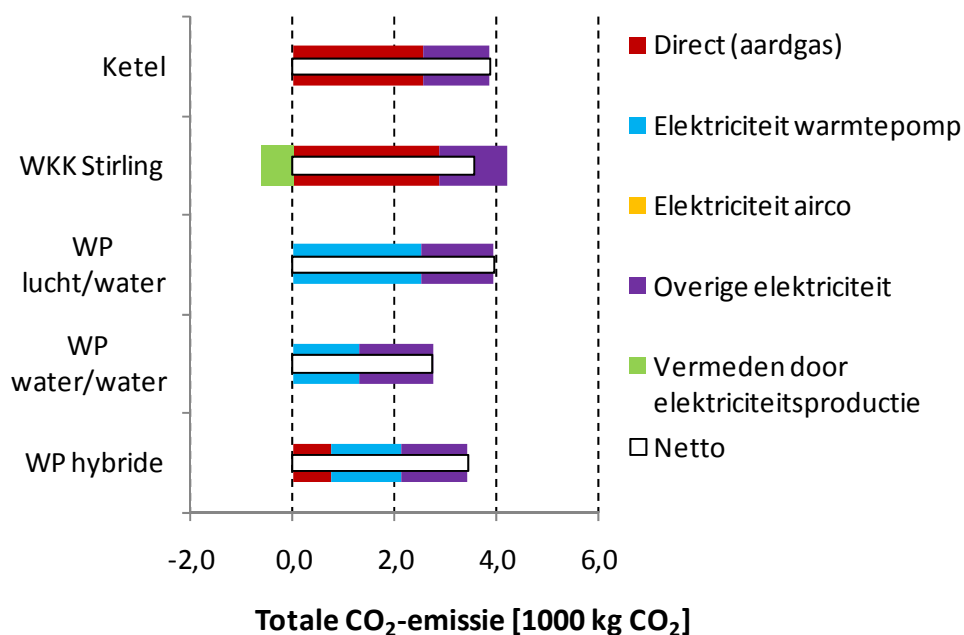
2030	CO ₂ -emissie [ton]		Energie [GJ]		Kosten [x €1000]	
	Niet-ETS	Totaal	Primair	Hernieuwbaar	Investering	Jaarlijks
Ketel	2,1	3,1	55	-	2,3	2,0
WKK Stirling	2,7	2,7	47	-	6,6	1,8
WKK brandstofcel	3,6	2,6	44	-	7,7	2,0
WP lucht/water	0,0	2,6	49	8	17,7	4,0
WP water/water	0,0	1,9	36	21	26,4	4,3
WP hybride	0,5	2,5	45	10	3,9	2,6

Tabel 3.7 Resultaten 2030 voor 2-onder-1-kapwoning (Referentie nieuwbouw kolen-CCS)

2030	CO ₂ -emissie [ton]		Energie [GJ]		Kosten [x €1000]	
	Niet-ETS	Totaal	Primair	Hernieuwbaar	Investing	Jaarlijks
Ketel	2,1	2,5	64	-	2,3	2,0
WKK Stirling	2,7	2,7	47	-	6,6	1,8
WKK brandstofcel	3,6	3,2	36	-	7,7	2,0
WP lucht/water	0,0	1,0	70	0	17,7	4,0
WP water/water	0,0	0,7	51	13	26,4	4,3
WP hybride	0,5	1,2	61	3	3,9	2,6

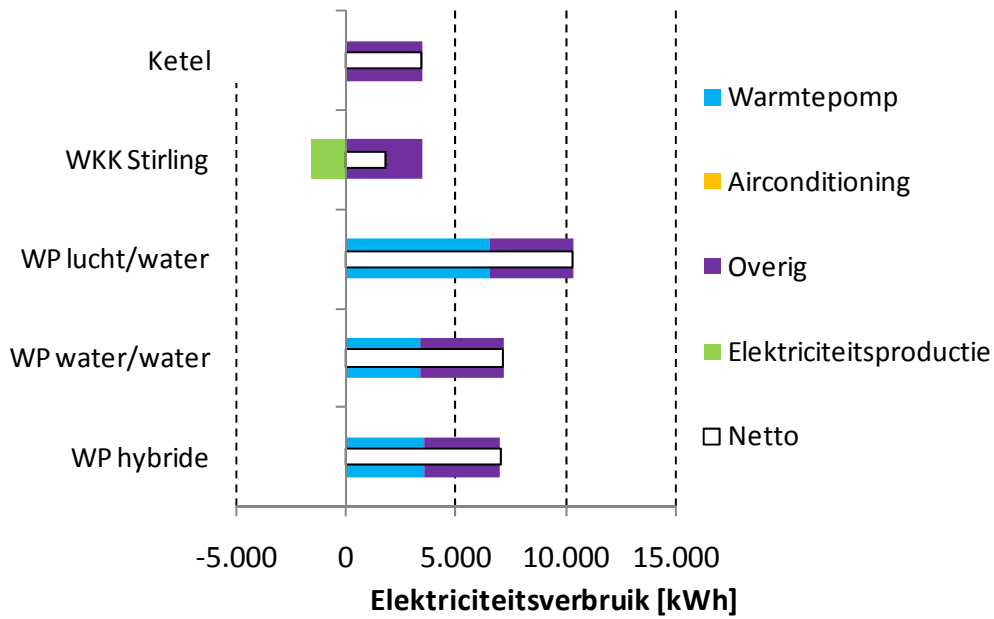


Figuur 3.1 Niet-ETS CO₂-emissie 2-onder-1-kapwoning in 2010¹⁰

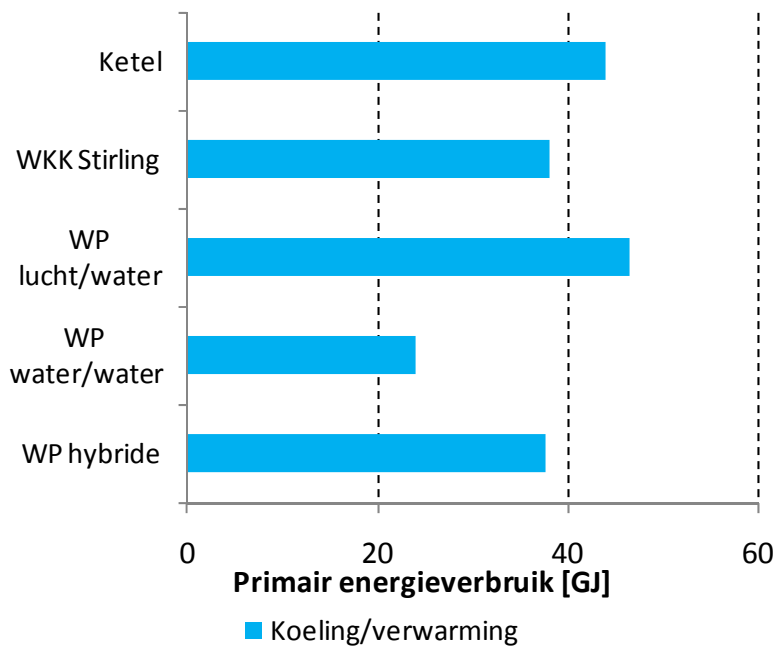


Figuur 3.2 Totale CO₂-emissie 2-onder-1-kapwoning in 2010

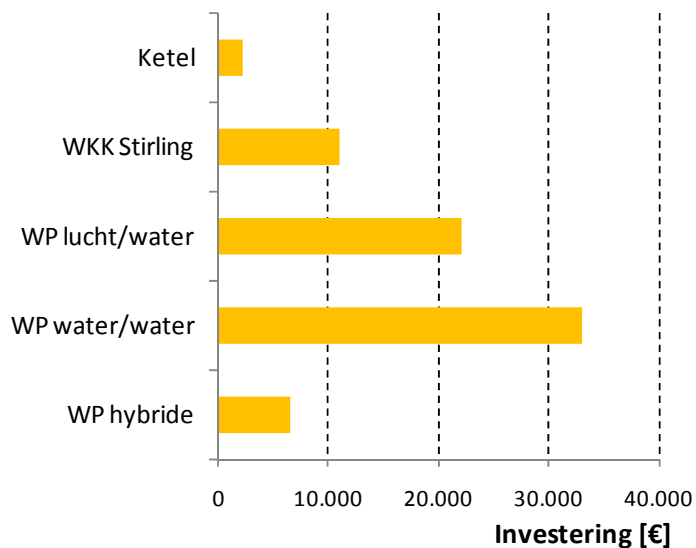
¹⁰ WKK met brandstofceltechnologie is in 2010 nog niet beschikbaar.



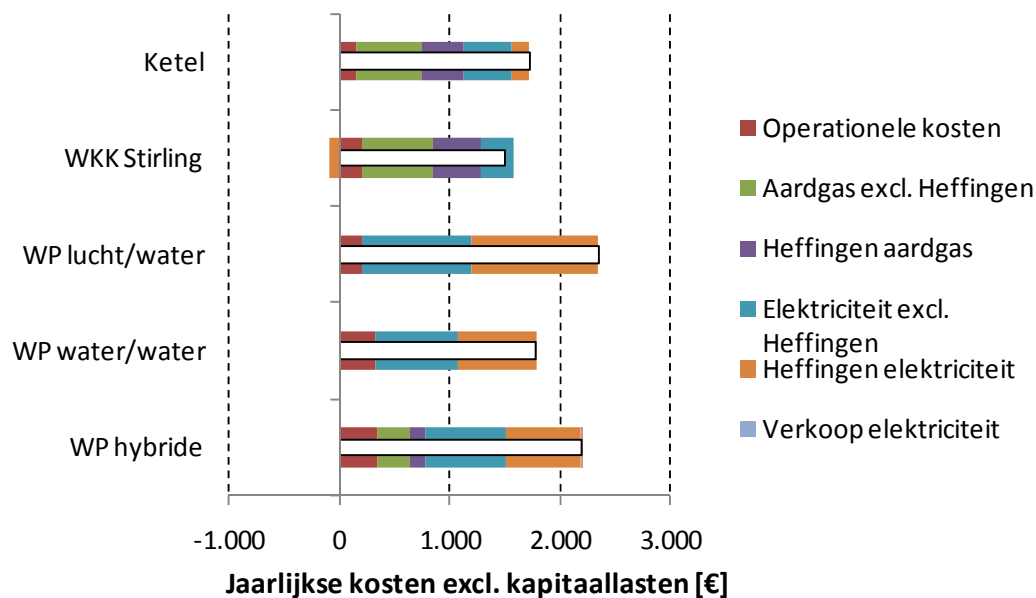
Figuur 3.3 Elektriciteitsverbruik 2-onder-1-kapwoning in 2010



Figuur 3.4 Energiegebruik 2-onder-1-kapwoning in 2010

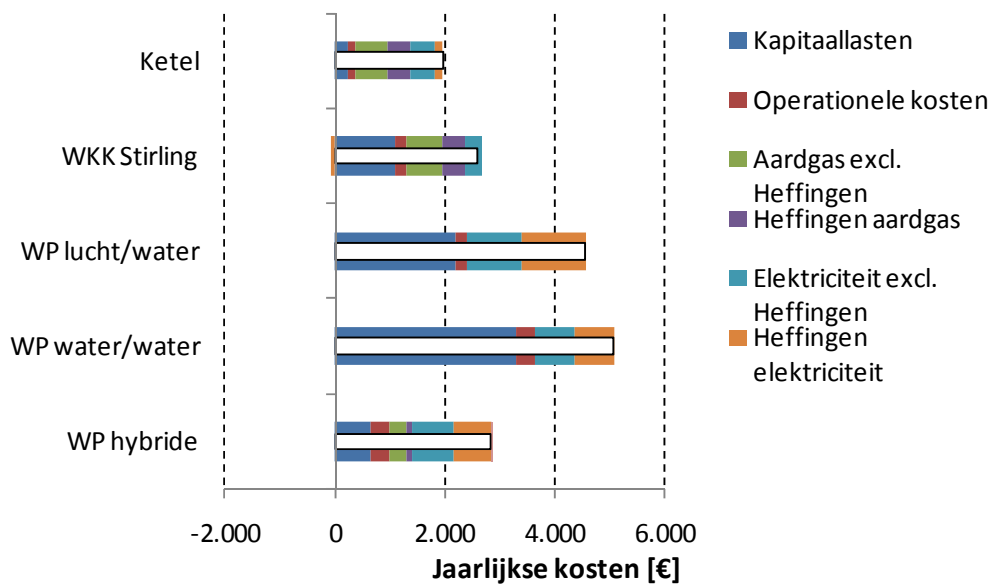


Figuur 3.5 *Investering voor 2-onder-1-kapwoning in 2010*

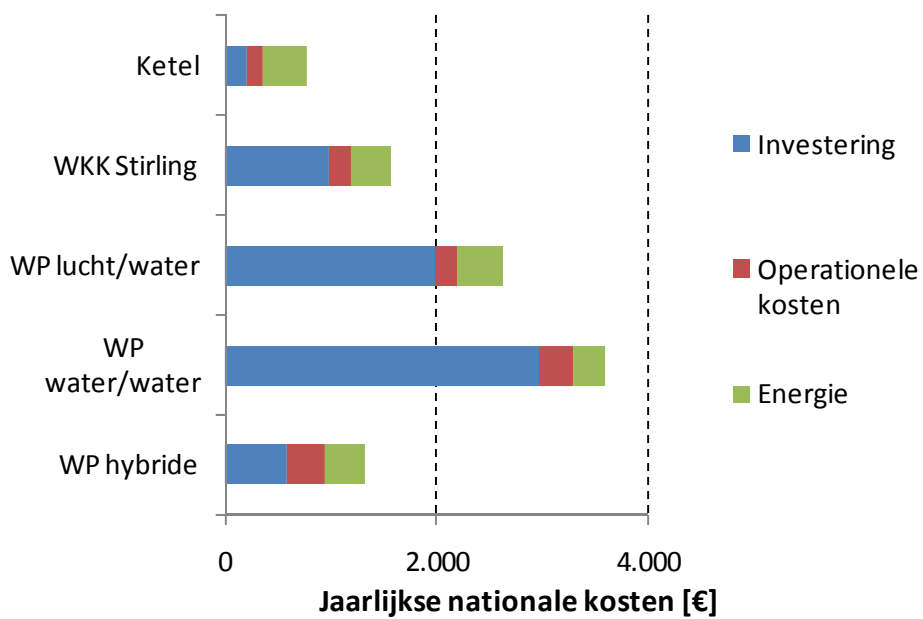


Figuur 3.6 *Jaarlijkse kosten excl. kapitaallasten 2-onder-1-kapwoning in 2010¹¹*

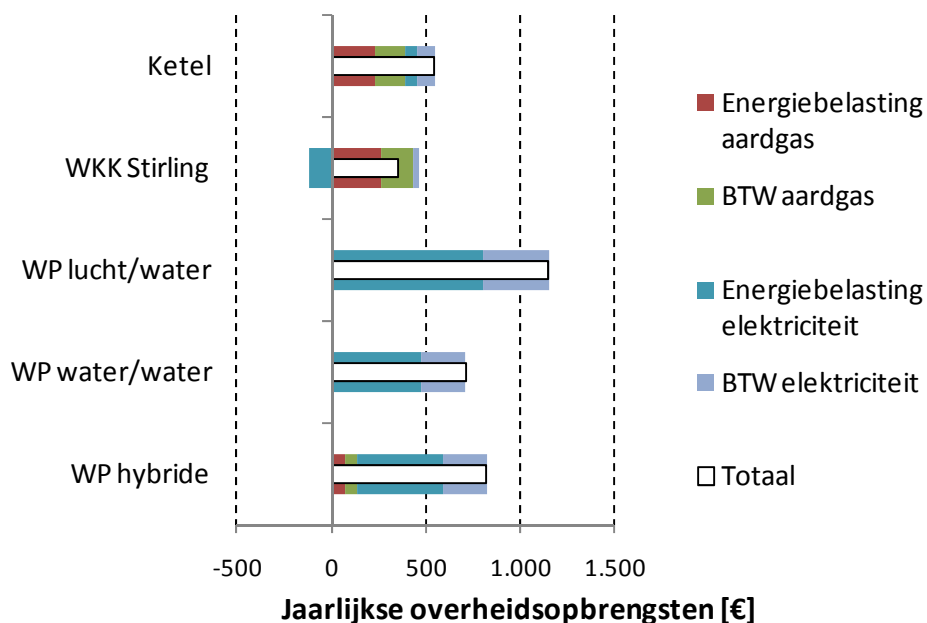
¹¹ Bij de Stirling micro-WKK zijn geen inkomsten uit elektriciteitsverkoop weergegeven omdat de elektriciteitsproductie is gesaldeerd met de elektriciteitsvraag. De elektriciteitsproductie is kleiner dan de elektriciteitsvraag.



Figuur 3.7 Jaarlijkse kosten 2-onder-1-kapwoning in 2010



Figuur 3.8 Nationale kosten uit heffingen voor de 2-onder-1-kap woning in 2010



Figuur 3.9 Overheidsopbrengsten uit heffingen voor de 2-onder-1-kap woning in 2010

Voor deze studie zijn geen realistische technologie-uitrolscenario's uitgewerkt. De snelheid waarmee een technologie marktaandeel wint hangt van veel factoren af, bijvoorbeeld van de economische aantrekkelijkheid, koelbehoefte, geluid, plaatsingsruimte en aanwezigheid van lage temperatuur radiatoren. Ook stimulerend overheidsbeleid speelt een belangrijke rol. Groot-schalige toepassing kan leiden tot kostendalingen.

Om een beeld te geven van het effect op emissies en energiegebruik van grootschalige toepassing is in Tabel 3.8 een indicatie gegeven van wat het effect is als de technologie in 10% van de warmtevraag in de woningbouw voorziet in 2020 (ca. 770.000 woningen). Hierbij is het effect gegeven ten opzichte van gebruik van HR ketels.

De finale warmtevraag die wordt ingevuld is 25 PJ en er is de volgende weging van de cases voor 2020 gebruikt:

- Vrijstaand: 10%.
- 2-onder-1 kap: 20%.
- Meergezinswoning: 41%.
- Rijtjeshuis: 29%.

Tabel 3.8 *Indicatie effecten ten opzichte van referentie bij invulling 10% warmtevraag in 2020*

	CO ₂ -emissie niet-ETS [Mton]	CO ₂ -emissie totaal [Mton]	Primaire energie [PJ]	Hernieuwbare energie [PJ]
WKK Stirling	0,3	-0,3	-5,5	-
WKK brandstofcel ¹²	0,9	-0,5	-10,9	-
WP lucht/water	-1,5	-0,2	-2,4	3
WP water/water	-1,5	-0,6	-10,4	12
WP hybride	-1,2	-0,3	-5,1	5

¹² Verwacht wordt dat brandstofcellen pas vanaf 2015 ingepast zullen worden in micro-WKK's.

3.8 Gevoeligheidsanalyse

De 2-onder-1-kapwoning is redelijk representatief voor een gemiddelde woning. Omdat er in werkelijk een grote diversiteit bestaat in toepassingsmogelijkheden wordt een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor:

- Prijzen van warmtepompsystemen.
- Warmtevraag.
- Toepassing koeling van de woning.
- Individueel warmtepompsysteem versus collectief warmtepompsysteem.
- Toepassing zonneboiler.
- Energieprijzen.

Discussie van de resultaten volgt in Paragraaf 3.9.

Prijzen van warmtepompsystemen

De prijzen van warmtepompen zijn door de concurrentie in de markt en de nieuwste technische ontwikkelingen behoorlijk in beweging. Bij projecten met meerdere woningen kunnen projectkortingen worden gegeven en bij nieuwbouw zijn warmtepompen vaak goedkoper toe te passen dan in de bestaande bouw.

De prijzen voor de lucht/water en water/water warmtepompen die gebruikt zijn voor de cases in paragraaf 3.6 zijn afkomstig uit het rapport 'Actualisatie investeringskosten maatregelen EPA-maatwerkadvies bestaande woningbouw 2010' (PRC, 1010). De kostenkengetallen uit dit rapport zijn richtprijzen en hebben als doel een financiële onderbouwing te geven van de kosten die gemoeid zijn met het nemen van energiebesparende maatregelen.

Q+P Communicatie heeft een marktverkenning uitgevoerd waarbij aanzienlijk lagere prijzen voor warmtepompsystemen zijn gevonden (Koster, 2011). De prijzen uit deze marktverkenning worden gebruikt voor een gevoeligheidsanalyse voor de prijzen van de warmtepompsystemen. Er worden drie cases gedefinieerd:

1. Individuele lucht/water warmtepomp (projectmatige nieuwbouw).
2. Individuele warmtepomp met gesloten bron (projectmatige nieuwbouw).
3. Koudwaterdistributienet met bron en individuele warmtepompen.

1. Individuele lucht/water warmtepomp (projectmatige nieuwbouw)

Het rapport van Q+P Communicatie geeft kosten voor een individuele lucht/water warmtepomp voor een nieuwbouwproject met 40 woningen. Het gaat het om een warmtepomp op basis van een luchtbron met opslagvat voor ruimteverwarming (door middel van een lage temperatuur afgifte systeem) en de productie van warm tapwater. De kosten van een lucht/water warmtepomp inclusief installatie bedragen €6.300 excl. BTW per woning. Dit bedrag is gebaseerd op een initiële investering van €4.900 euro met een herinvestering van 50% na 10 jaar.

2. Individuele warmtepomp met gesloten bron (projectmatige nieuwbouw)

Het rapport van Q+P Communicatie geeft ook kosten voor een individuele warmtepomp met gesloten bodemwarmtewisselaar als bron. Het gaat om een individuele grondbron voor ruimteverwarming en de productie van warm tapwater met opslagvat, met een projectkorting voor 40 woningen. De totale investering van €13.100 excl. BTW is berekend op basis van een initiële investering van €5.500 excl. BTW voor de warmtepomp en €6.000 excl. BTW voor de bron en installatie. Na 10 jaar is er voor de warmtepomp een herinvestering van 50%. Er is geen herinvestering nodig voor de bron.

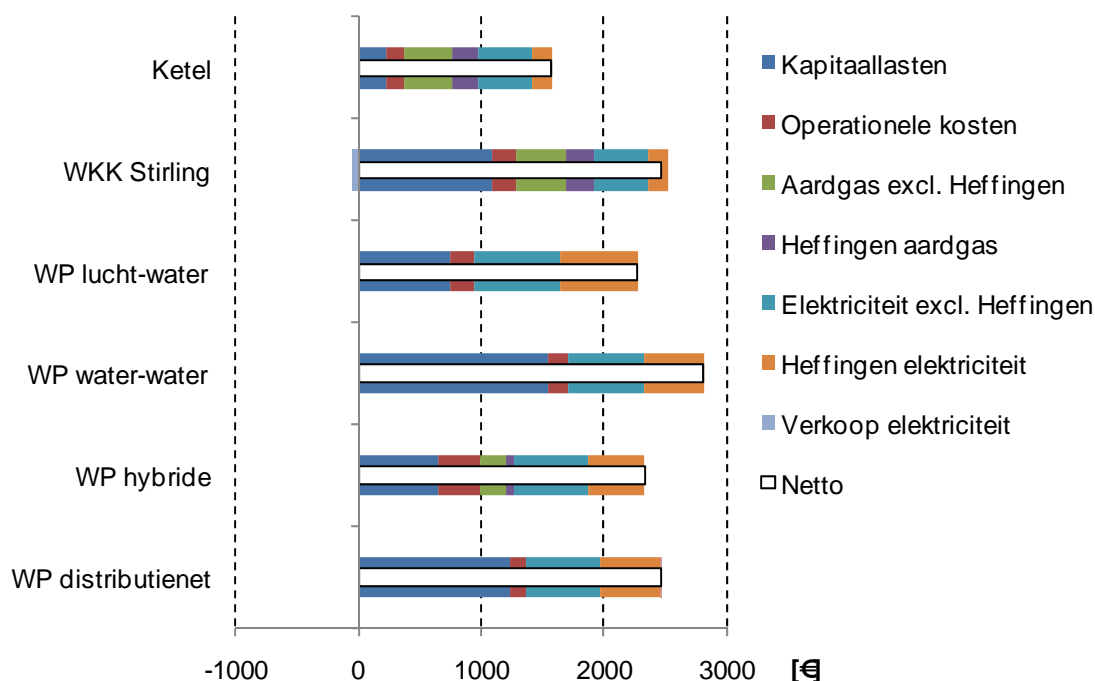
3. Koudwaterdistributienet met bron en individuele warmtepompen

In het rapport van Q+P Communicatie worden de kosten gegeven voor een koudwaterdistributienet met bron en individuele warmtepompen voor 92 woningen. De investering is €10.400 excl. BTW per woning. Dit bestaat uit een investering in de woning van €7.659 excl. BTW en een investering in het collectief systeem van €2.765 excl. BTW. Hiervoor worden een bron en een geoptimaliseerd distributienet aangelegd voor bronwater op basis van twin pipes (geïsoleerde dubbele leidingen met aanvoer en retour). Door de collectieve bron vallen de kosten per woning lager uit dan bij een individuele bron.

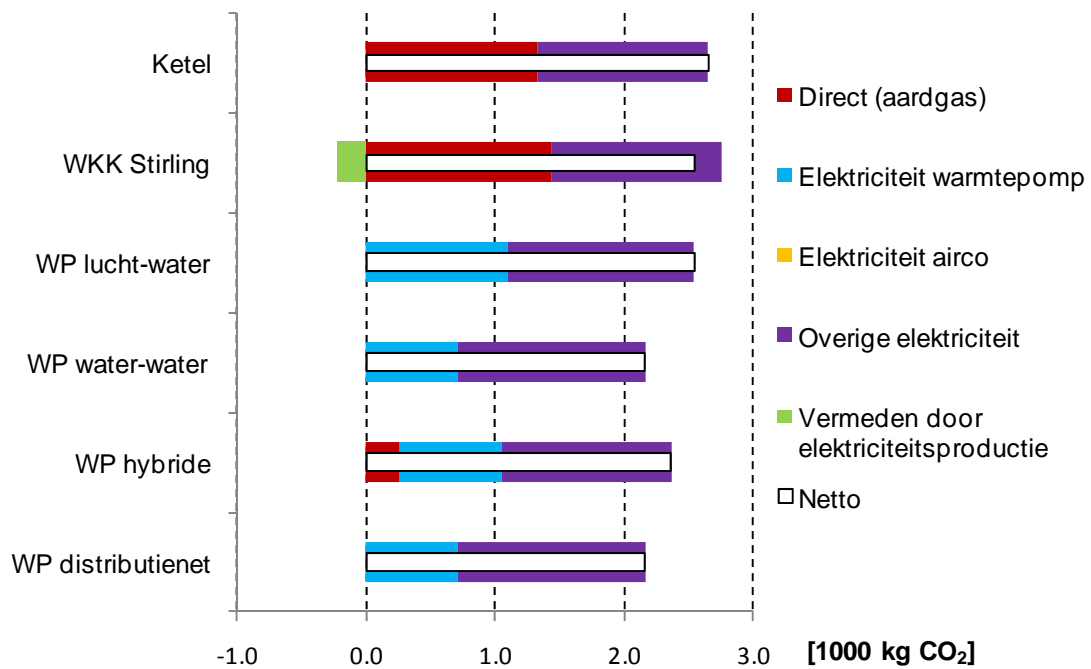
Voor deze cases zijn de CO₂-emissie, het primaire energiegebruik en de jaarlijkse kosten berekend voor de meest energiezuinige case (de meergezinswoning in 2010). Op de kosten voor de warmtepompsystemen na zijn de eigenschappen van de woning en de toegepaste technologieën gelijk gehouden aan die in paragraaf 3.6.

Tabel 3.9 *Resultaten gevoeligheidsanalyse voor prijzen van warmtepompsystemen in 2010 (projectmatige nieuwbouw met schaalvoordelen voor warmtepompsystemen)*

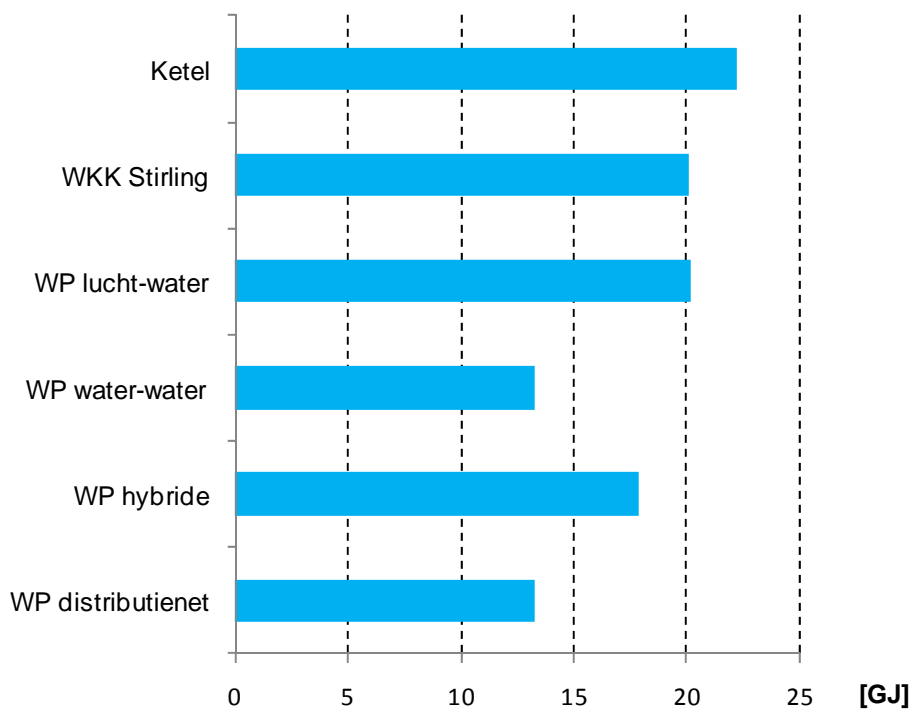
2010	CO ₂ -emissie [ton]		Energie [GJ]		Kosten [x 1000 euro]	
	Direct	Totaal	Primair	Hernieuwbaar	Investering	Jaarlijks
Ketel	1,3	2,6	48	-	2,3	1,6
WKK Stirling	1,4	2,5	46	-	11,0	2,5
WP lucht-water	0,0	2,5	47	2	7,5	2,3
WP water-water	0,0	2,2	40	9	15,6	2,8
WP hybride	0,3	2,4	44	4	6,5	2,3
WP distributienet	0,0	2,2	40	9	12,4	2,5



Figuur 3.10 *Jaarlijkse kosten bij projectmatige nieuwbouw (met schaalvoordelen voor warmtepompsystemen) in 2010*



Figuur 3.11 *Totale CO₂-emissie bij projectmatige nieuwbouw (met schaalvoordelen voor warmtepompsystemen) in 2010*



Figuur 3.12 *Primair energieverbruik voor verwarming bij projectmatige nieuwbouw (met schaalvoordelen voor warmtepompsystemen) in 2010*

Gevoeligheidsanalyse voor de warmtevraag van de woning

De vrijstaande woning gebouwd voor 1930 heeft een hoge warmtevraag en de meergezinswoning gebouwd na 1995 heeft een lage warmtevraag.

Tabel 3.10 Resultaten 2010 voor vrijstaande woning gebouwd voor 1930

2010	CO ₂ -emissie [ton]		Energie [GJ]		Kosten [x €1000]	
	Niet-ETS	Totaal	Primair	Hernieuwbaar	Investering	Jaarlijks
Ketel	4,0	5,3	94	-	2,3	2,4
WKK Stirling	4,5	4,8	85	-	11,0	2,9
WKK brandstofcel	-	-	-	-	-	-
WP lucht/water	0,0	5,8	107	0	22,1	5,2
WP water/water	0,0	3,4	63	32	33,0	5,5
WP hybride	1,5	4,7	86	8	6,5	3,4

Tabel 3.11 Resultaten 2010 voor meergezinswoning gebouwd na 1995

2010	CO ₂ -emissie [ton]		Energie [GJ]		Kosten [x €1000]	
	Niet-ETS	Totaal	Primair	Hernieuwbaar	Investering	Jaarlijks
Ketel	1,3	2,6	48	-	2,3	1,6
WKK Stirling	1,4	2,5	46	-	11,0	2,5
WKK brandstofcel	-	-	-	-	-	-
WP lucht/water	0,0	2,5	47	2	22,1	3,7
WP water/water	0,0	2,2	40	9	32,0	4,6
WP hybride	0,3	2,4	44	4	6,5	2,3

Gevoeligheid voor toepassing koeling van de woning

Koeling wordt maar in een beperkt deel van de woningen toegepast. Als koeling met een airco wordt toegepast is het gemiddelde elektriciteitsverbruik daarvoor 293 kWh (EVA, 2010).

Het voordeel van een warmtepompsysteem is dat met hetzelfde systeem verwarmd en gekoeld kan worden. Soms zullen echter aanpassingen aan het afgifte systeem nodig zijn om koeling mogelijk te maken. Zo zijn vloerverwarmings- en luchtverwarmingssystemen meer geschikt om te koelen dan radiatoren. In de berekeningen zijn geen extra kosten voor deze aanpassingen meegenomen. Onderstaande tabel geeft de resultaten indien rekening wordt gehouden met koeling in de woning.

Tabel 3.12 Resultaten 2010 voor 2-onder-1-kapwoning met koeling

2010	CO ₂ -emissie [ton]		Energie [GJ]		Kosten [x €1000]	
	Niet-ETS	Totaal	Primair	Hernieuwbaar	Investering	Jaarlijks
Ketel	2,6	4,0	72	-	6,5	2,5
WKK Stirling	2,9	3,7	66	-	15,2	3,2
WKK brandstofcel	-	-	-	-	-	-
WP lucht/water	0,0	4,1	75	0	22,1	4,6
WP water/water	0,0	2,8	51	22	33,0	5,1
WP hybride	0,8	3,6	65	6	6,5	2,9

Gevoeligheid voor individueel warmtepompsysteem vs. collectief warmtepompsysteem

In onderstaande tabel zijn de jaarlijkse kosten voor de eindverbruiker weergegeven indien in plaats van een individueel een collectief water/water warmtepompsysteem wordt toegepast.

Tabel 3.13 Resultaten 2010 voor 2-onder-1-kapwoning met water/water warmtepomp

2010	CO ₂ -emissie [ton]		Energie [GJ]		Kosten [x €1000]	
	Niet-ETS	Totaal	Primair	Hernieuwbaar	Investering	Jaarlijks
Individueel systeem	0,0	2,7	51	20	33,0	5,1
Collectieve bodemwarmtewisselaars	0,0	2,7	51	20	17,7	3,4
Collectieve WKO	0,0	2,7	51	20	30,1	4,8

Gevoeligheidsanalyse toepassing zonneboiler

Een zonneboiler (investering 3.608 excl. BTW) heeft als effect dat de warmtevraag voor warm tapwater met ca. 50% daalt. Dit leidt tot de volgende resultaten.

Tabel 3.14 Resultaten 2010 voor 2-onder-1-kapwoning met zonneboiler

2010	CO ₂ -emissie [ton]		Energie [GJ]		Kosten [x €1000]	
	Niet-ETS	Totaal	Primair	Hernieuwbaar	Investering	Jaarlijks
Ketel + zonneboiler	2,3	3,6	65	5	6,6	2,3
WKK Stirling + zonneboiler	2,6	3,3	59	5	15,3	2,9
WKK brandstofcel + zonneboiler	-	-	-	-	-	-
WP lucht/water + zonneboiler	0,0	3,7	69	2	26,4	4,9
WP water/water + zonneboiler	0,0	2,4	45	24	37,3	5,3
WP hybride + zonneboiler	0,8	3,2	59	11	10,8	3,1

Gevoeligheidsanalyse energieprijzen

In onderstaande tabel zijn de jaarlijkse kosten voor de eindverbruiker weergegeven voor een scenario met hoge en lage energieprijzen.

Tabel 3.15 Resultaten 2020 voor 2-onder-1-kapwoning met variatie energieprijzen

Jaarlijkse kosten [x €1000]	Standaard	Lage energieprijzen	Hoge energieprijzen
Ketel	2,0	1,8	2,2
WKK Stirling	2,1	1,9	2,2
WKK brandstofcel	2,4	2,2	2,5
WP lucht/water	4,2	4,0	4,5
WP water/water	4,7	4,5	4,8
WP hybride	2,6	2,4	2,9

3.9 Discussie resultaten cases

2-onder-1-kapwoning 2010, 2020 en 2030

Technieken die geen gebruik maken van aardgas (lucht/water en water/water warmtepomp) hebben geen directe CO₂-emissies in de gebouwde omgeving tot gevolg. Als gekeken wordt naar de totale CO₂-emissies (dus inclusief de emissies op centraal niveau bij de elektriciteitscentrales) dan blijkt van de nieuwe technieken de lucht/water warmtepomp in 2010 meer emissies te hebben dan een micro-WKK, hybride en water/water warmtepomp. Op het gebied van CO₂-emissie en gebruik van primaire energie presteert de water/water warmtepomp het beste van alle technieken. Echter de jaarlijkse kosten (kapitaal-, energie- en onderhoudskosten) zijn dan ook het hoogst.

Bij de jaarlijkse overheidsopbrengsten uit heffingen valt op dat technieken die meer gebruik maken van elektriciteit een hogere opbrengst voor de overheid tot gevolg hebben. Dit wordt veroorzaakt door de tariefstructuur van elektriciteit en aardgas. Diezelfde tariefstructuur zorgt voor gunstige jaarlijkse eindverbruikerskosten voor de micro-WKK Stirling in 2010, 2020 en 2030. In 2030 is de elektriciteitsproductie van de Stirling micro-WKK ongeveer gelijk aan het elektriciteitsvraag in de woning.

In 2020 blijkt de micro-WKK op basis van een brandstofcel de prestaties m.b.t. totale CO₂-uitstoot en gebruik van primaire energie van een water/water warmtepomp te benaderen. Voor 2030 blijkt de water/water warmtepomp wederom de best presterende techniek. Dit wordt veroorzaakt door een centrale elektriciteitsvoorziening met een lagere CO₂-emissiefactor. Met een CCS-centrale als referentie in 2030 blijken warmtepomptechnologieën (water/water, lucht/water

en hybride) op het gebied van CO₂-emissies beter te presteren dan technieken die gebruik maken van aardgas (WKK en HR ketel). Echter de WKK- technologieën gebruiken wel minder primaire energie dan de warmtepompen. Dit wordt veroorzaakt doordat kolencentrales met CCS relatief lage CO₂-emissies hebben, maar wel meer primaire energie gebruiken. Voor 2020 en 2030 benaderen de technieken die alleen gebruik maken van elektriciteit (lucht/water en water/water warmtepomp) nooit de jaarlijkse eindverbruikerskosten van de referentie. De WKK-technieken die wel gebruik maken van aardgas doen dit wel. Dit wordt veroorzaakt door de relatief hoge investeringskosten van de lucht/water en water/water warmtepomp en de tariefstructuur van elektriciteit en aardgas.

Effect van grootschalige toepassing

Grootschalige toepassing van warmtepompen leidt tot een aanzienlijke afname van de directe CO₂-emissie van de huishoudens. Grootschalige toepassing van WKK leidt juist tot hogere directe emissies van de huishoudens. Een indicatie van het effect bij invulling van 10% van de warmtevraag is dat Stirling micro-WKK de emissies buiten het ETS met ca. 0,3 Mton verhoogt. De drie typen warmtepompen verlagen de emissies met ca. 1,2 tot 1,5 Mton. Alle technologieën besparen energie en verlagen de totale CO₂-emissies. Hierbij is wel op te merken dat micro-WKK elektriciteitsproductie verschuift van binnen het ETS naar daarbuiten. Omdat het uitstootplafond van alle ETS-bedrijven op Europees niveau is vastgelegd gaan de totale Europese emissies hierdoor omhoog.

Gevoeligheidsanalyse voor de prijzen van warmtepompsystemen

De prijzen van warmtepompen zijn behoorlijk in beweging door de concurrentie in de markt en de nieuwste technische ontwikkelingen. In de praktijk kunnen de kosten voor warmtepompsystemen aanzienlijk lager zijn dan de kosten die in dit rapport zijn gebruikt voor het definiëren van de standaard cases. In een marktverkenning vindt Q+P Communicatie aanzienlijk lagere kosten voor concrete nieuwbouwprojecten. Bij doorrekening op basis van deze lagere kosten voor een energiezuinige woning blijken de jaarlijkse kosten voor warmtepompsystemen wel nog duidelijk hoger dan die voor een ketel, maar vergelijkbaar met die van micro-WKK.

Gevoeligheidsanalyse voor de warmtevraag van de woning

Het beeld van de prestaties van de verschillende technieken voor de vrijstaande en meergezinswoning komt goed overeen met het beeld van de 2-onder-1-kap woning. Uit de resultaten blijkt dat een hogere warmtevraag (vrijstaande woning) de jaarlijkse meerkosten van de WKK-technologieën t.o.v. de HR-ketel verlaagt. Bij warmtepompen zorgt een lagere warmtevraag juist voor een vermindering van de jaarlijkse meerkosten t.o.v. de HR-ketel. Mogelijke verschillen in de hoogte van de investering zijn hierbij buiten beschouwing gelaten omdat aangenomen wordt dat deze beperkt zijn.

Gevoeligheid voor toepassing koeling van de woning

Door rekening te houden met koeling in een woning worden de prestaties van een water/water warmtepomp nog gunstiger t.o.v. de referentie, dan de andere WKK- en warmtepomptechnologieën. Voor warmtepomptechnologieën neemt het verschil in jaarlijkse eindverbruikerskosten t.o.v. de referentie af met ca. €600. Dit wordt veroorzaakt doordat een warmtepomp ook kan koelen en dus geen aparte investering in een airco-installatie moet plaatsvinden.

Gevoeligheid voor individueel warmtepompsysteem vs. collectief warmtepompsysteem

Een collectief bronsysteem voor de warmtepompen heeft een reductie in de jaarlijkse eindverbruikerskosten tot gevolg. Een collectief systeem met bodemwarmtewisselaars heeft de grootste kostenreductie tot gevolg. Deze kostenreductie is gebaseerd op een collectief systeem voor 5 woningen. Voor veel grotere aantallen woningen wordt i.v.m. de technische inpasbaarheid een WKO-systeem weer gunstiger.

Gevoeligheidsanalyse toepassing zonneboiler

Toepassing van een zonneboiler heeft tot gevolg dat de jaarlijkse CO₂-emissie (0,2-0,3 ton) en het gebruik van primaire energie (4-6 GJ) afnemen. De jaarlijkse eindverbruikerskosten nemen wel toe met ca. €300.

Gevoeligheidsanalyse energieprijzen

Omdat de jaarlijkse kosten voor een belangrijk deel bepaald worden door de kapitaallasten en heffingen zorgt variatie van de commodityprijzen voor aardgas en elektriciteit niet voor sterke verschuivingen in het algemene beeld. Bij gebruik van warmtepompen wordt de gevoeligheid voor de elektriciteitsprijs sterker.

Conclusie

Een water/water warmtepompsysteem presteert op het gebied van primaire energie en CO₂ het beste in de woningbouw. Echter, de hoge investeringskosten maken dat dit systeem naar verwachting niet grootschalig zal worden toegepast in de bestaande bouw. Nieuwbouw biedt veel meer kansen door het grotere aantal vrijheidsgraden die de investeringen kunnen drukken. Tevens is de aanscherping van de EPC-eis (zie ook paragraaf 3.2) een belangrijke drijfveer voor de toepassing van water/water warmtepompen in de nieuwbouw. Dat de energiebelasting op elektriciteit hoger is dan de energiebelasting op aardgas is ongunstig voor warmtepomptoepassingen.

Hybride warmtepompen en micro-WKK hebben een goede kans om grootschalig te worden toegepast in zowel bestaande bouw als nieuwbouw. De prestaties van warmtepomptoepassingen op het gebied van CO₂ t.o.v. WKK toepassingen worden significant beter met CCS-centrales als referentie. Er is dan wel meer primaire energie voor nodig. Grootschalige toepassing van warmtepompen leidt tot een aanzienlijke afname van de niet-ETS CO₂-emissie van de huishoudens. Grootschalige toepassing van WKK leidt juist tot hogere niet-ETS emissies van de huishoudens.

4. Dienstensector/utiliteitsbouw

4.1 Sectorbeschrijving

Onder de dienstensector vallen de utiliteitsgebouwen die samen met de woningen de gebouwde omgeving vormen. Het primair energiegebruik van deze sector bedroeg in 2008 15% van het totaal energiegebruik in Nederland.

Ongeveer 64% van het energiegebruik binnen de dienstensector komt voor rekening van de commerciële sectoren (handel en horeca, bank en verzekeringswezen, zakelijke dienstverlening), de overige 36% is afkomstig uit de non-profit sector (openbaar bestuur, verpleeghuizen, ziekenhuizen, onderwijs, sport en recreatie).

Het grootste deel van het energiegebruik is bestemd voor ruimteverwarming en elektrische apparatuur. Koeling zal ook steeds belangrijker worden. De sector neemt voornamelijk aardgas en elektriciteit af, met daarnaast nog een klein deel warmte uit stadsverwarming en olieproducten. Een deel van de elektriciteitsbehoefte wordt ingevuld door decentrale WKK die binnen de sector staat opgesteld. Het klimaatgecorrigeerde gasverbruik is tussen 1990 en 2008 gestegen van 153 naar 193 PJ. De elektriciteitsvraag in de dienstensector is veel harder gestegen door meer koeling en ICT en nam toe van 69 PJ_e in 1990 tot 117 PJ_e in 2008.

4.2 Technologiebeschrijvingen

HR cv-ketel en compressie koelmachine

De HR cv-ketel is de huidige referentietechniek voor de opwekking van warmte in de utiliteitsbouw. Een HR cv-ketel wekt warmte op door de verbranding van aardgas. Deze warmte wordt gebruikt voor ruimteverwarming, zowel hoge als lage temperatuur, en warm tapwater. De compressie koelmachine is de huidige referentietechniek voor de opwekking van koude in de utiliteitsbouw. Een koelmachine onttrekt warmte door verdamping van een koudemiddel.

Water/water warmtepomp en warmte-koude opslag (WKO)

Een water/water warmtepomp is een elektrisch aangedreven warmtepomp die grondwater (WKO) als bron gebruikt. Een water/water warmtepomp kan in gebouwen worden toegepast voor ruimteverwarming. Voor de toepassing van een water/water warmtepomp is het noodzakelijk een lage temperatuur verwarmingssysteem (LTV) in het gebouw te hebben. Als in dit hoofdstuk wordt gesproken over water/water warmtepompen dan worden daarmee warmtepompen bedoeld die grondwater als bron gebruiken en in combinatie met een HR cv-ketel warmte leveren aan gebouwen.

Het werkingsprincipe van energieopslag in de bodem (WKO) is eenvoudig (NVOE, 2010). Koude en/of warmte wordt opgeslagen in een watervoerende zandlaag (aquifer) in de bodem. Met behulp van bronnen kan het grondwater uit de aquifer worden opgepompt en weer in de aquifer worden geïnfiltreerd. 's Winters wordt winterkoude opgeslagen in de koude bron met een temperatuur van circa 8°C. 's Zomers wordt het koude grondwater uit de koude bron opgepompt en gebruikt voor koeling van een gebouw of een proces. Het grondwater neemt de warmte uit het koelcircuit in het gebouw op en wordt met een temperatuur van 15 à 20°C in de warme bron geïnfiltreerd.

Mini-WKK en compressie koelmachine

Een warmtekrachtkoppelingsinstallatie is in staat om gelijktijdig warmte en elektriciteit op te wekken. De warmte die binnen het apparaat vrijkomt bij de opwekking van elektriciteit wordt nuttig gebruikt. Mini WKK's wekken elektriciteit op met een minimaal vermogen van 5 kW_e.

De meest gangbare techniek is tot op heden de WKK gebaseerd op een gasmotor (MiniWKK, 2010). Een gasmotor is vergelijkbaar met een automotor. Door grootschalige toepassing is de techniek van de gasmotor al ver ontwikkeld. In het werkgebied van WKK in de utiliteitsbouw zijn de elektrische rendementen van de gasmotor lager dan bij de grotere gasmotoren in de glastuinbouw doordat er geen turbocompressor wordt toegepast. Dit wordt deels weer gecompenseerd door een hoger thermisch rendement. Een aantal systemen wordt tevens uitgerust met een rookgascondensor. We spreken dan van een HR-warmtebenutting. Hier ligt voor sommige WKK's ook een belangrijk aanknopingspunt voor verdere verbetering van de energetische prestaties.

Technologieën in berekening Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC)

In onderstaande tabel zijn de resultaten gegeven van de prestaties van de verschillende technologieën in de EPC-berekening. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen forfaitaire waarden en gelijkwaardigheidsverklaringen. Het verschil in EPC verschilt per gebouw en de getallen in de tabel zijn dus slechts indicatief voor een kantoor. WKK is geen standaard technologie in de berekening.

Tabel 4.1 *Prestaties van de technologieën in de EPC-berekening (dienstensector)*

Technologie	Nsys,opw, forfaitair ¹	Nsys,opw, gelijkwaardigheid ²	Verskil in EPC t.o.v. cv-ketel ³
HR 107 cv-ketel	0,975	-	-
Warmtepomp	1,625	-	0,22
WKK	-	-	-
Koelmachine	1,56	-	-
WKO	4,68	-	0,14

¹ Dit is het forfaitaire opwekkingsrendement van de technologie in de EPC-berekening op bovenwaarde.

² Dit is het opwekkingsrendement van de technologie in de EPC-berekening op basis van een gelijkwaardigheidsverklaring

³ Berekening is gebaseerd op een klein kantoor.

Toepasbaarheid technologieën

Een HR cv-ketel is in vrijwel elk gebouw toepasbaar dat is aangesloten op de gasinfrastructuur. Koelmachines zijn ook vrijwel overal toepasbaar. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met een voldoende grote elektrische aansluiting en de geluidsproductie van ventilatoren in het buitendeel. In het kader van de milieuwetgeving moet de hinder als gevolg van de geluidsproductie beperkt blijven en dit maakt een condensor op het dak niet overal mogelijk.

Een warmtepomp wekt warmte op van een laag temperatuur niveau. Het is dus noodzakelijk dat een gebouw ook is voorzien van een laag temperatuur afgiftesysteem. Dit is eenvoudig te realiseren bij nieuwe gebouwen. Bestaande gebouwen zullen echter eerst nageïsoleerd moeten worden en eventueel voorzien worden van een nieuw afgiftesysteem. Voor het toepassen van een WKO-systeem dient de watervoerende laag in de bodem (aquifer) aanwezig te zijn en te voldoen aan een aantal bodemtechnische eisen. Voor grotere systemen (>100 kW koelvermogen) is tevens een vergunning van de provincie vereist.

Toepassing van mini WKK vereist dat het gebouw is aangesloten op de gas- en elektrainfrastructuur en dat er voldoende ruimte is voor de installatie. Geluid en trillingen kunnen een probleem zijn.

4.3 Huidige toepassing

HR cv-ketel en compressie koelmachine

In 2008 is het aantal toegepaste HR-ketels in:

- Kantoren: ca. 65.000 (82% van 79.000).
- Scholen: ca. 10.500 (73% van 14.500).
- Verpleeghuizen: ca. 4.200 (84% van 5.000).
- Winkels: ca. 109.000 (77% van 141.000) [(SenterNovem, 2010b),(moBius, 2009)].

In 2008 is het aantal toegepaste koelmachines in:

- Kantoren: ca. 50.000 (63% van 79.000).
- Scholen: ca. 3.000 (21% van 14.500).
- Verpleeghuizen: ca. 1.800 (36% van 5.000).
- Winkels: ca. 53.500 (38% van 141.000) [(SenterNovem, 2010b),(moBius, 2009)].

De dimensionering van een cv-ketel en koelmachine in een utiliteitsgebouw is maatwerk en hierdoor kan het vermogen liggen in de range van enkele kW tot duizenden kW (voor cascade-systemen).

Water/water warmtepomp en warmte koude opslag (WKO)

In Nederland zijn in 2009 750 nieuwe water/water warmtepompen geplaatst. Het totale geplaatste aantal komt daarmee op 5.596 eind 2009. Een water/water warmtepomp is in 94% van de gevallen gekoppeld aan een systeem met bodemenergie. In Nederland zijn in 2009 383 nieuwe WKO-systemen geplaatst (CBS, 2010a), (CBS, 2009).

De dimensionering van een warmtepomp en WKO-systeem in een utiliteitsgebouw is maatwerk en hierdoor kan het vermogen liggen in de range van enkele kW tot duizenden kW.

Mini-WKK en compressie koelmachine

In 2008 is de toepassing van mini-WKK's in:

- Kantoren: ca. 2%.
- Scholen: ca. 1%.
- Verpleeghuizen: ca. 13%.
- Winkels: ca. 2% [(moBius, 2009)].

In 2008 stond in de dienstensector ca. 473 MW_e aan WKK-vermogen opgesteld met een brandstofinzet van 18,7 PJ en een elektriciteitsproductie van 6,9 PJ. Tabel 4.2 geeft een overzicht van WKK-gasmotoren op basis van een inventarisatie van het Nederlandse gasmotorenpark in 2006 door het CBS (Kroon et al., 2008).

Tabel 4.2 *Kenmerken van het gasmotorenpark in 2006 (Kroon et al., 2008)*

		Diensten & Energie	Gezondheid & Welzijn	Milieudienst- verlening	Cultuur & Recreatie
Aantal installaties		494	455	149	259
Elektrisch vermogen	[MW _e]	191	162	61	78
Elektriciteitsproductie	[GWh]	610	666	245	236
Thermisch vermogen	[MW]	290	239	74	128
Stoomproductie	[PJ]	3,2	3,9	1,5	1,3

4.4 Huidig overheidsbeleid

Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC)

Voor nieuwe gebouwen is de EPC het belangrijkste instrument. Naar verwachting zullen de eisen voor de EPC in de toekomst verder aangescherpt worden.

Meer met Minder

Om energiebesparing te realiseren in de bestaande bouw is het Meer met Minder convenant afgesloten met energiebedrijven, de installatiebranche en bouwpartijen. Meer met Minder richt zich op ca. 24 PJ besparing in 2020 in de utiliteit. Voor 2011 is het doel circa 4 PJ. De aanpak richt zich qua prioriteit eerst op het onderwijs, de zorgsector, kantoren en bedrijfshallen. In 2009 werden proefprojecten opgezet die opgeschaald zullen worden tot een programmatische aanpak. Een belangrijke rol is weggelegd voor energieregisseurs, dat zijn adviseurs van installatie, energie- of bouwbedrijven die advies geven over energiebesparende maatregelen en de uitvoering kunnen begeleiden.

Energie Investerings Aftrek (EIA)

De EIA is bedoeld om investeringen in energiebesparende bedrijfsmiddelen of duurzame energie te stimuleren. Voor alle profitsectoren kan EIA de investeringskosten effectief met 11% verlagen als de bedrijfsmiddelen op de energielijst van de EIA staan. Voor de non-profit sectoren geldt dit niet.

Onderwijs subsidie

In het kader van het crisispakket is in totaal 165 miljoen subsidie beschikbaar, voor energiebesparing en verbetering van ventilatiesystemen in het onderwijs.

Ecodesign

Vanuit de EU worden in het kader van de Ecodesign richtlijn eisen gesteld aan het energiegebruik van apparaten en producten die worden verkocht. Daardoor worden vanaf 2011 bij ketelvervanging alleen HR-ketels geplaatst en zijn vanaf 2013 energiezuinige pompen in koel- en verwarmingsinstallaties verplicht. Verder wordt vanaf 2015 alleen nog maar energiezuinige ventilatoren en vanaf 2017 energiezuinige verlichting geplaatst. Voor kantoorapparatuur heeft Ecodesign weinig effect, omdat de Energystar eisen worden gevolgd waar 95% van de markt al aan voldoet.

Duurzaam inkopen

Duurzaam inkopen kan gaan over de inkoop van groene stroom, de huur of aankoop van kantoorpanden en de aankoop van apparaten.

Meerjarenafspraken

De overheid heeft Meerjarenafspraken met HBO's en universiteiten, met universitaire medische centra, supermarkten en met banken en verzekeraars.

Naast de landelijke regelingen zijn er nog tal van provinciale en gemeentelijke regelingen (Ag-NL, 2010b).

4.5 Verwachte ontwikkelingen

De stijgende warmtevraag in de dienstensector wordt omgebogen naar een bijna vlakke trend (Daniëls, 2010a). De stijging van de warmtevraag door groei van de sector wordt gecompenseerd door een daling van de graaddagen en besparing als het gevolg van sloop en vervanging van gebouwen.

Het gasverbruik daalt tot 2020. Dit wordt veroorzaakt door besparende maatregelen, een daling van het aantal graaddagen en een relatief minder grote groei van het aantal werknemers dan in het verleden. Daarnaast is er een verschuiving van gas- naar elektrische toepassingen (bijvoorbeeld een elektrische warmtepomp in plaats van een HR-ketel in de nieuwbouw).

De elektriciteitsvraag blijft wel stijgen tot 2020. Oorzaken zijn een groei van het aantal werknemers in de utiliteit, stijging van het aantal koelgraaddagen, toename van ICT en de eerder genoemde verschuiving van gas- naar elektrische toepassingen. Koeling is comfortverhogend en wordt voor de dienstensector steeds belangrijker. Nieuwbouw is vaak voorzien van gebouwkoeling en draagt ook sterk bij aan de stijging van de elektriciteitsvraag.

4.6 Case-aannames

Gebouwen

De sector utiliteit is zeer divers maar is gekarakteriseerd aan de hand van drie typische gebouwen: kantoor, school en verpleeghuis. De gebouwen zijn gekarakteriseerd op basis van een typische grootte en de gemiddelde warmte-, koude- en elektriciteitsvraag.

Tabel 4.3 *Jaarlijkse vraag naar ruimteverwarming, warm tapwater en elektriciteit (dienstensector)*¹³

		Kantoor	School	Verpleeghuis
Bruto vloeroppervlak [m ²]		6.000	9.600	4.800
Ruimteverwarming [TJ]	2010	2,0	2,5	2,8
	2020	1,8	2,4	2,7
	2030	1,7	2,3	2,5
Tapwater [GJ]	2010	10,2	18	92
	2020	9,9	16	85
	2030	9,9	16	67
Elektriciteit [GWh]	2010	0,46	0,40	0,31
	2020	0,45	0,36	0,26
	2030	0,46	0,37	0,22
Koeling [TJ] ¹	2010	1,5	1,2	0,48
	2020	1,5	1,3	0,48
	2030	1,6	1,3	0,44

¹Exclusief productkoeling.

HR cv-ketel en compressie koelmachine

Het rendement voor de opwekking van ruimteverwarming bedraagt 95% op onderwaarde¹⁴ (Save-services, 2010). Doordat deze techniek in hoge mate uitontwikkeld is, zal hier in de toekomst geen toename in te verwachten zijn. De kosten voor een cv-ketel inclusief installatie bedragen € 100/kW_{th} (Remeha en PRC 2010). De HR-ketel is de referentietechniek in de gebouwde omgeving m.b.t. verwarming en heeft het einde van de leercurve bereikt. Substantiële kostprijddalingen zijn dan ook niet meer te verwachten. De jaarlijkse onderhoudskosten bedragen €14,3/kW_{th} (SenterNovem) en de technische levensduur is 15 jaar.

In de dienstensector is elektrische opwekking van warm tapwater het meest gebruikelijk. Daar wordt bij de berekeningen in alle gevallen vanuit gegaan.

De SPF (Seasonal Performance Factor) voor de opwekking van koeling met een compressie koelmachine bedraagt 3 (Deerns, 2007). Doordat deze techniek in hoge mate uitontwikkeld is, zal hier in de toekomst geen toename in te verwachten zijn. De kosten voor een koelmachine

¹⁴ Gebaseerd op een HR-107 ketel, gebouwgruotte >500 m², verwarmingstemperatuur >55 °C, met een totale F-regelfactor van 95%.

inclusief installatie bedragen €350/kW_{th} (Deerns, 2007). De koelmachine is de referentietechniek in de gebouwde omgeving m.b.t. koeling en heeft het einde van de leercurve bereikt. Substantiële kostprijzdalingen zijn dan ook niet meer te verwachten. De jaarlijkse onderhoudskosten per gebouw bedragen ca. €1.600/jaar (Deerns, 2007) en de technische levensduur is 15 jaar.

Water/water warmtepomp en warmte koude opslag (WKO)

De SPF voor de opwekking van ruimteverwarming bedraagt 4,3 (AgNL, 2010). Doordat deze techniek nog niet uitontwikkeld is, zal hier in de toekomst een toename in te verwachten zijn naar 4,6 in 2020 en 4,8 in 2030 (deze ontwikkeling is conform de verbetering van de prestaties van lucht/water warmtepompen in Harmsen et al., 2009). De SPF voor de opwekking van warm tapwater bedraagt 2,3 en zal door techniekontwikkeling groeien naar 2,5 in 2020 en 2,6 in 2030 (Harmsen et al., 2009),(AgNL, 2010). De kosten voor een water/water warmtepomp inclusief installatie bedragen €220/kW_{th} (Deerns, 2007)¹⁵. De jaarlijkse onderhoudskosten per gebouw bedragen ca. €1.600/jaar (Deerns, 2007) en de technische levensduur is 15 jaar.

De SPF (Seasonal Performance Factor) voor de opwekking van koeling bedraagt 12 (Deerns, 2007). Doordat deze techniek in hoge mate uitontwikkeld is, zal hier in de toekomst geen toename in te verwachten zijn. De kosten voor een WKO-systeem inclusief installatie bedragen €400/kW_{th} (Deerns, 2007). Substantiële kostprijzdalingen zijn niet meer te verwachten. De jaarlijkse onderhoudskosten bedragen ca. 1% van de investering per jaar (Deerns, 2007) en de technische levensduur is 15 jaar.

Mini-WKK en compressie koelmachine

Op basis van de EIA database van Agentschap NL, informatie van Cogen en de investeringen gebruikt voor de onrendabele top berekeningen voor WKK is een schatting gemaakt van de eigenschappen van WKK.

Het rendement voor de opwekking van ruimteverwarming bedraagt 55% op onderwaarde en het rendement voor elektriciteitsopwekking 35% op onderwaarde. Doordat deze techniek in hoge mate uitontwikkeld is, zal hier in de toekomst geen toename in te verwachten zijn. De bijdrage van de WKK in de jaarlijkse warmtevraag is bepaald aan de hand van jaarbelastingduurkrommen (ECN, 1999). Uitgangspunt hierbij is dat het thermisch vermogen van de WKK voor ca. 90% in de warmtebehoefte kan voorzien. Substantiële kostprijzdalingen zijn niet meer te verwachten. De jaarlijkse onderhoudskosten bedragen €0,012/kWh_e en de technische levensduur is 15 jaar.

Tabel 4.4 *Aanname investeringskosten mini-WKK in 2010*

	WKK-vermogen [kW _e]	Investering [€kW _e]
Kantoor	174	1.250
School	341	850
Verpleeghuis	216	1.100

4.7 Resultaten cases

De diversiteit van gebouwen in de dienstensector is zeer groot. In de onderstaande figuren zijn de resultaten gegeven van het typische kantoor en verpleeghuis in 2010. Er is vanuit gegaan dat de gebouwen worden gekoeld. In de tabellen en figuren worden de volgende resultaten weergegeven:

- CO₂-emissie niet-ETS: de CO₂-uitstoot uit de schoorsteen.

¹⁵ Dat de kosten lineair afhankelijk zijn van het thermisch vermogen is een benadering die slechts beperkt geldig is.

- CO₂-emissie totaal: de CO₂-uitstoot uit de schoorsteen en de CO₂-uitstoot van de centrale elektriciteitsproductie.
- Primaire energie: de primaire energie voor ruimteverwarming, warm tapwater en elektriciteit.
- Hernieuwbare energie: de hoeveelheid geproduceerde hernieuwbare energie berekend met de substitutiemethode.
- Investering: de eenmalige investering voor de voorziening voor ruimteverwarming en warm tapwater. Hierbij is geen rekening gehouden met investeringssubsidies en energie-investeringsaftrek.
- Jaarlijkse eindverbruikerskosten: de jaarlijkse kosten voor de eindverbruiker. Dit is inclusief kapitaalkosten voor de investering, onderhouds- en energiekosten.

Discussie van de resultaten volgt in Paragraaf 4.9.

Tabel 4.5 *Resultaten 2010 voor kantoor en verpleeghuis*

2010	CO ₂ -emissie [ton]		Energie [TJ]		Kosten [x €1000]	
	Niet-ETS	Totaal	Primair	Hernieuwbaar	Investering	Jaarlijks
Kantoor Ketel	122	354	6,4	-	230	135
Kantoor WKK	202	308	5,5	-	420	140
Kantoor WKO	12	249	4,6	1,8	290	110
Verpleeghuis Ketel	167	304	5,5	-	106	106
Verpleeghuis WKK	276	242	4,2	-	310	107
Verpleeghuis WKO	17	204	3,8	1,7	155	81

Tabel 4.6 *Resultaten 2020 voor kantoor en verpleeghuis*

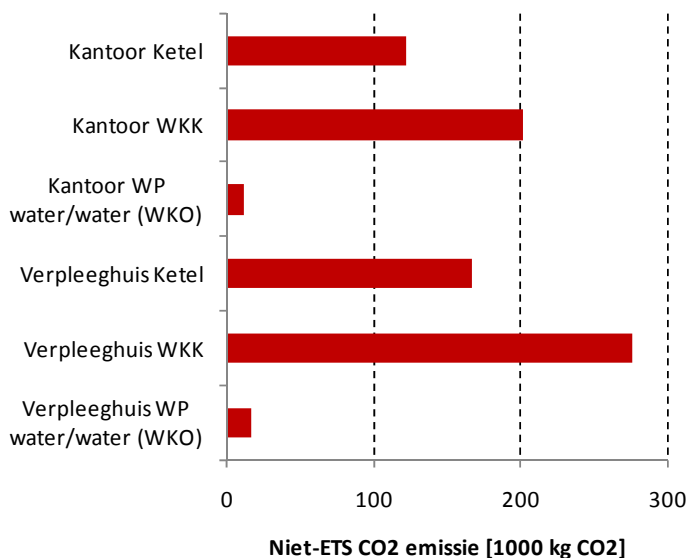
2020	CO ₂ -emissie [ton]		Energie [TJ]		Kosten [x €1000]	
	Niet-ETS	Totaal	Primair	Hernieuwbaar	Investering	Jaarlijks
Kantoor Ketel	106	332	6,1	-	225	138
Kantoor WKK	176	293	5,3	-	390	141
Kantoor WKO	11	233	4,3	1,8	280	112
Verpleeghuis Ketel	161	279	5,0	-	104	108
Verpleeghuis WKK	266	220	3,8	-	301	106
Verpleeghuis WKO	16	178	3,3	1,7	152	79

Tabel 4.7 *Resultaten 2030 voor kantoor en verpleeghuis (Referentie nieuwbouw STEG)*

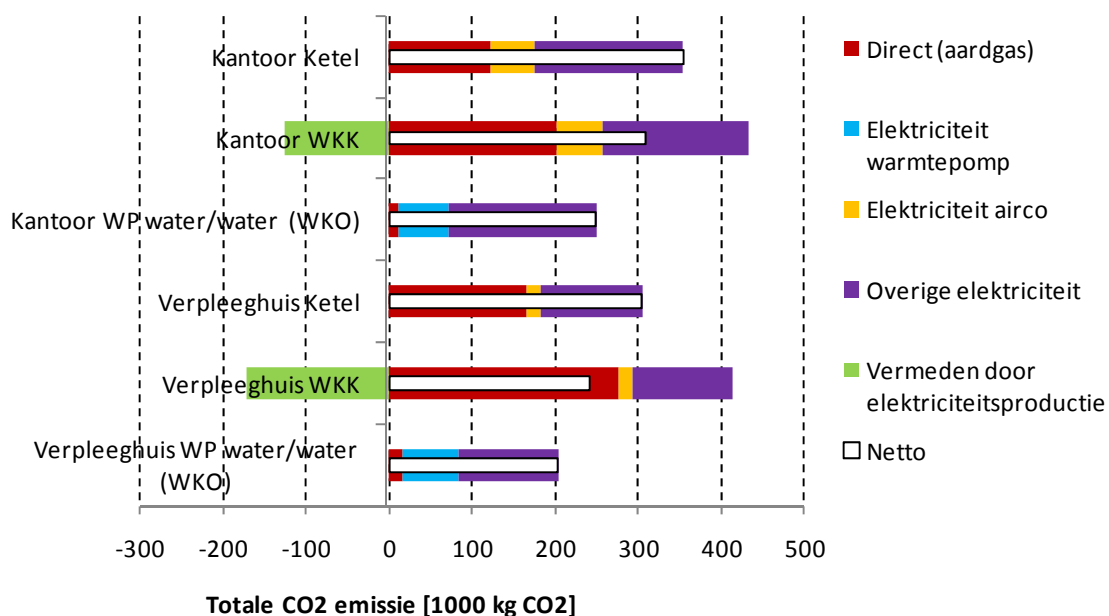
2030	CO ₂ -emissie [ton]		Energie [TJ]		Kosten [x €1000]	
	Niet-ETS	Totaal	Primair	Hernieuwbaar	Investering	Jaarlijks
Kantoor Ketel	99	295	5,4	-	228	144
Kantoor WKK	164	274	4,9	-	383	145
Kantoor WKO	10	198	3,7	1,7	282	119
Verpleeghuis Ketel	151	236	4,2	-	97	102
Verpleeghuis WKK	249	204	3,5	-	281	97
Verpleeghuis WKO	15	133	2,5	1,8	142	74

Tabel 4.8 Resultaten 2030 voor kantoor en verpleeghuis (Referentie nieuwbouw kolen-CCS)

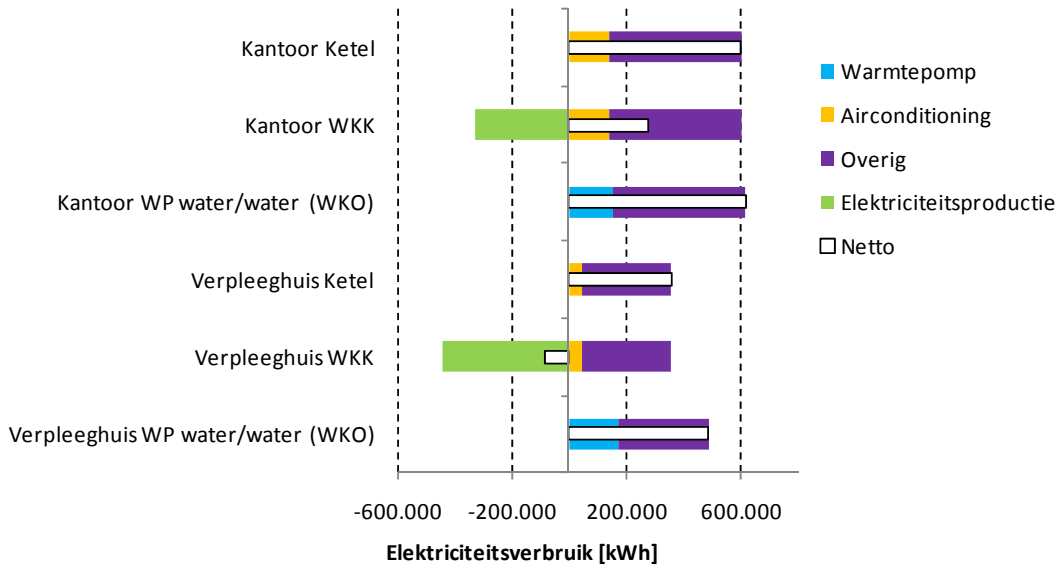
2030	CO ₂ -emissie [ton]		Energie [TJ]		Kosten [x €1000]	
	Niet-ETS	Totaal	Primair	Hernieuwbaar	Investing	Jaarlijks
Kantoor Ketel	99	172	7,0	-	228	144
Kantoor WKK	164	205	5,8	-	383	145
Kantoor WKO	10	80	5,2	1,8	282	119
Verpleeghuis Ketel	151	182	4,9	-	97	102
Verpleeghuis WKK	249	232	3,2	-	281	97
Verpleeghuis WKO	15	59	3,4	1,5	142	74



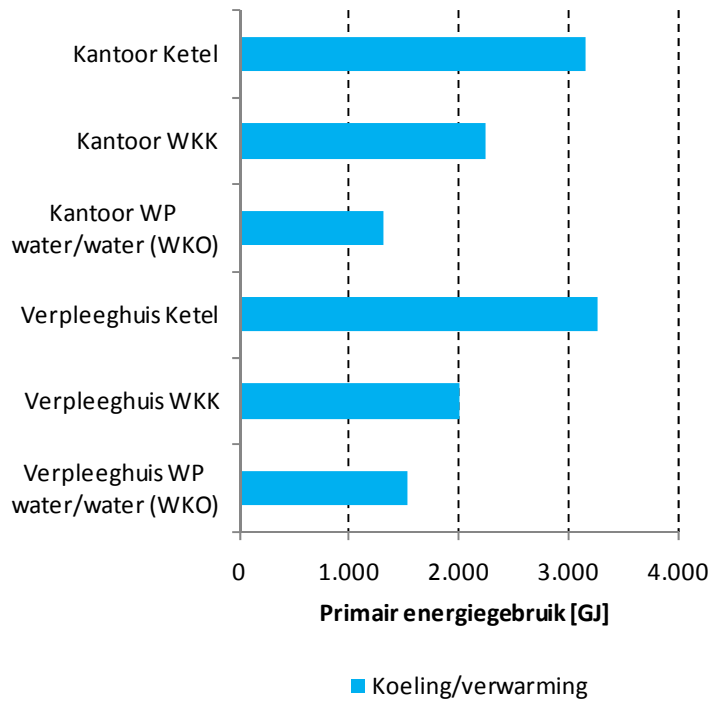
Figuur 4.1 Niet-ETS CO₂-emissie kantoor en verpleeghuis in 2010



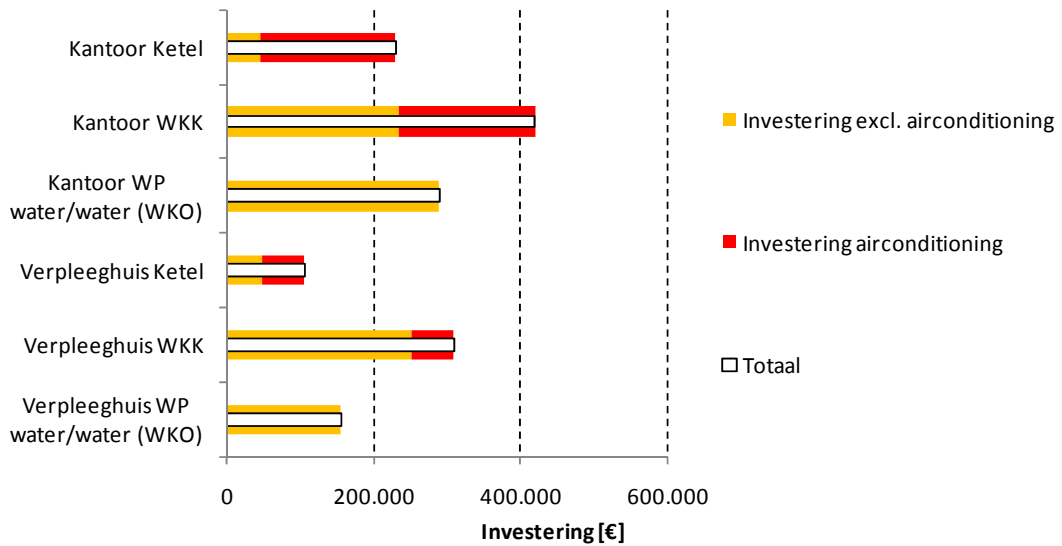
Figuur 4.2 Totale CO₂-emissie kantoor en verpleeghuis in 2010



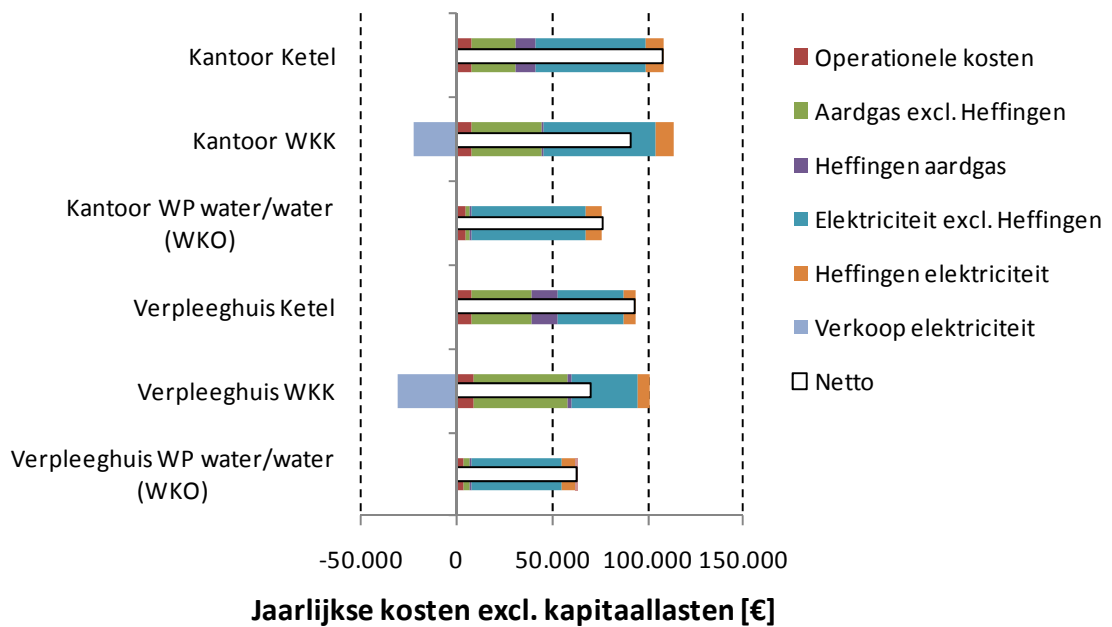
Figuur 4.3 Elektriciteitsverbruik kantoor en verpleeghuis in 2010



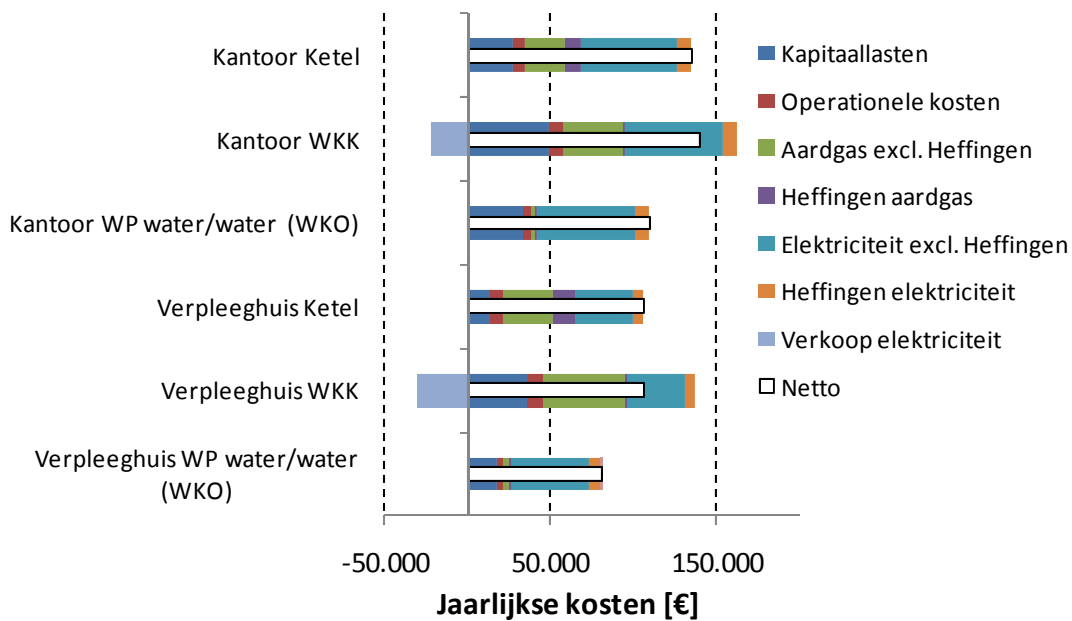
Figuur 4.4 Energiegebruik kantoor en verpleeghuis in 2010



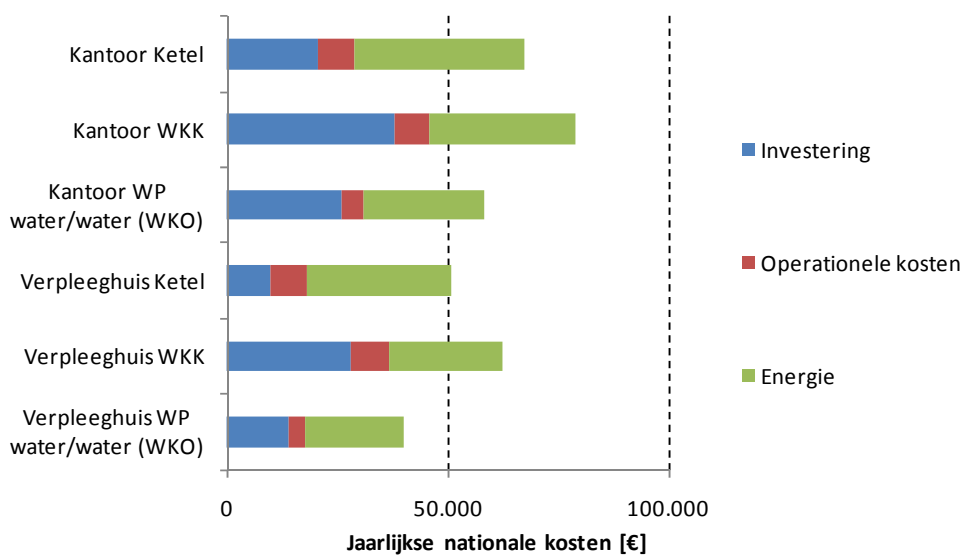
Figuur 4.5 Investering kantoor en verpleeghuis in 2010



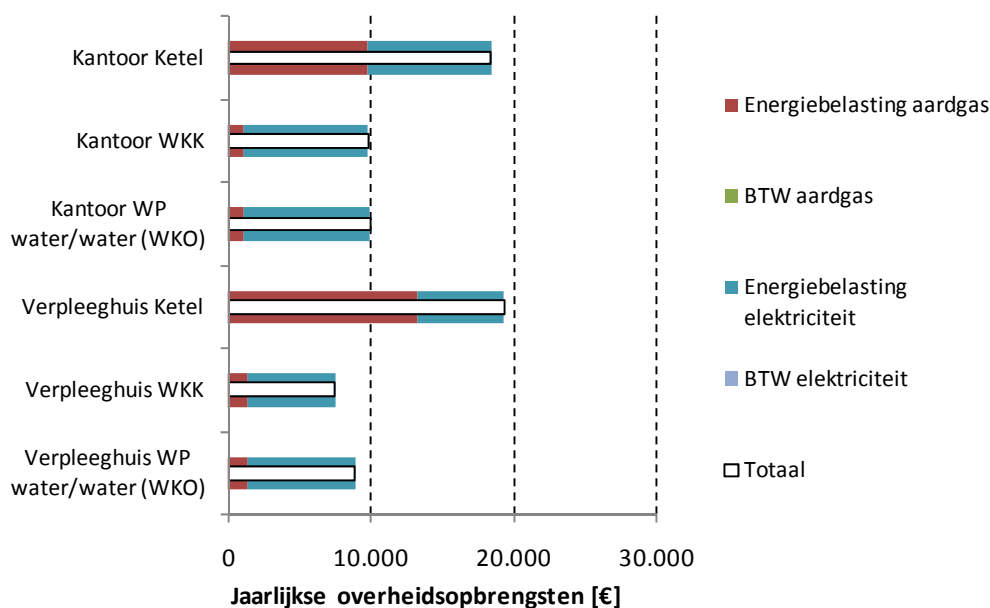
Figuur 4.6 Jaarlijkse kosten excl. kapitaallasten kantoor en verpleeghuis in 2010



Figuur 4.7 Jaarlijkse kosten kantoor en verpleeghuis in 2010



Figuur 4.8 Nationale kosten uit heffingen kantoor en verpleeghuis 2010



Figuur 4.9 Overheidsopbrengsten uit heffingen kantoor en verpleeghuis 2010

Voor deze studie zijn geen realistische scenario's voor de marktpenetratie van technologieën uitgewerkt. Om een beeld te geven van het effect op emissies en energiegebruik is in Tabel 4.9 een indicatie gegeven van wat het effect is als de technologie 10% van de warmtevraag in de dienstensector invult in 2020. Hierbij is het effect gegeven ten opzichte van referentie HR ketel met compressie koelmachine.

De finale warmtevraag die wordt ingevuld is 16 PJ en er is de volgende weging van de cases voor 2020 gebruikt:

- Kantoor: 80%.
- Verpleeghuis: 10%.
- School: 10%.

Tabel 4.9 *Indicatie effecten ten opzichte van referentie bij invulling 10% warmtevraag in 2020*

	WKO	WKK
CO ₂ -emissie niet-ETS [Mton]	-0,9	0,6
CO ₂ -emissie totaal [Mton]	-0,9	-0,4
Primaire energie [PJ]	-15,2	-7,2
Hernieuwbare energie [PJ]	15	-

4.8 Gevoeligheidsanalyse

Het kantoor en verpleeghuis zijn redelijk representatief voor een aanzienlijk deel van de gebouwen in de dienstensector. Omdat er in werkelijk een grote diversiteit bestaat in toepassingsmogelijkheden wordt een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor:

- Gebouwtype.
- Energieprijzen.

Gevoeligheidsanalyse voor gebouwtype

In onderstaande tabel staan de resultaten voor een school.

Tabel 4.10 Resultaten 2010 voor school

2010	CO ₂ -emissie [ton]		Energie [TJ]		Kosten [x €1000]	
	Niet-ETS	Totaal	Primair	Hernieuwbaar	Investing	Jaarlijks
School Ketel	151	347	6,3	-	212	133
School WKK	250	291	5,2	-	448	138
School WKO	15	236	4,4	1,9	297	108

Gevoeligheidsanalyse energieprijzen

In onderstaande tabel zijn de jaarlijkse kosten voor de eindverbruiker weergegeven voor een scenario met hoge en lage energieprijzen in 2020.

Tabel 4.11 Resultaten 2020 voor kantoor en verpleeghuis met variatie energieprijzen

Jaarlijkse kosten [x €1000]	Standaard	Lage energieprijzen	Hoge energieprijzen
Kantoor Ketel	138	119	158
Kantoor WKK	141	123	158
Kantoor WKO	112	98	127
Verpleeghuis Ketel	108	93	124
Verpleeghuis WKK	106	94	118
Verpleeghuis WKO	79	68	89

4.9 Discussie resultaten cases

Kantoor en verpleeghuis in 2010, 2020 en 2030

Een warmtepompsysteem in de utiliteitsbouw wordt in de meeste gevallen uitgevoerd als een bivalent systeem (warmtepomp voor de basislast en een HR-ketel voor de pieklast van de warmtevraag) en dus heeft een warmtepompsysteem ook directe CO₂-emissies in de gebouwde omgeving tot gevolg. Op het gebied van CO₂-emissie, gebruik van primaire energie en de jaarlijkse eindverbruikerskosten presteert een warmtepompsysteem voor het kantoor en het verpleeghuis beter dan een WKK-systeem. Hiervoor is wel van belang dat de gebouwen een voldoende hoge koelvraag hebben. Dit is in lijn met het gegeven dat warmtepompsystemen nagenoeg de standaard zijn bij de nieuwbouw van kantoren. De verschillen in prestaties van een warmtepompsysteem t.o.v. een WKK-systeem zijn voor een verpleeghuis kleiner dan voor een kantoor. Dit omdat een verpleeghuis een constantere hogere warmtevraag heeft.

Indien een CCS-centrale als referentie wordt gekozen in 2030, dan blijkt een warmtepompsysteem op het gebied van CO₂-emissies veel beter te presteren dan technieken die gebruik maken van aardgas. Een WKK-systeem heeft zelfs een hogere CO₂-emissie dan de referentie. Echter het WKK -systeem gebruikt bij een verpleeghuis minder primaire energie dan het warmtepompsysteem. Dit wordt veroorzaakt doordat:

- Kolencentrales met CCS relatief lage CO₂-emissies hebben, maar wel meer primaire energie gebruiken.
- Een verpleeghuis een constantere hogere warmtevraag heeft.

Effect van grootschalige toepassing

Grootschalige toepassing van WKO leidt tot een aanzienlijke afname van de niet-ETS CO₂-emissie van de dienstensector. Grootschalige toepassing van WKK leidt juist tot hogere niet-ETS emissies. Een indicatie van het effect bij invulling van 10% van de warmtevraag is dat WKO de niet-ETS emissies met ca. 0,9 Mton verlaagt. WKK verhoogt de niet-ETS emissies met ca. 0,6 Mton. Zowel WKK als WKO besparen energie en verlagen de totale CO₂-emissie. WKK verschuift echter wel elektriciteitsproductie van binnen het ETS naar daarbuiten. Omdat het uitstootplafond van alle ETS-bedrijven op Europees niveau is vastgelegd gaan de totale Europese emissies hierdoor omhoog.

Gevoeligheidsanalyse voor bouwtype

De vraag naar tapwater en ruimteverwarming is in de school hoger dan in het kantoor. Het verpleeghuis kenmerkt zich door een relatief hoge tapwatervraag en een beperkte koelvraag. Het beeld van de prestaties van de verschillende technieken voor een school komt goed overeen met het beeld van een kantoor en verpleeghuis.

Gevoeligheidsanalyse voor energieprijzen

Hoge energieprijzen zijn voor zowel het warmtepomp- als het WKK-systeem gunstig voor de jaarlijkse eindverbruikerskosten t.o.v. de referentie. Omdat de jaarlijkse kosten voor een belangrijk deel bepaald worden door de kapitaallasten en heffingen zorgt variatie van de commodity-prijzen voor aardgas en elektriciteit niet voor sterke verschuivingen in het algemene beeld.

Conclusie

Een warmtepompsysteem met WKO presteert op het gebied van energie, CO₂ en kosten het beste in de utiliteit voor gebouwen met naast een verwarmingsvraag ook voldoende koelvraag. De jaarlijkse kosten (kapitaal-, energie- en onderhoudskosten) van een warmtepompsysteem zijn nu al lager dan de referentie, mits het gebouw voldoende koelvraag heeft. Overige randvoorwaarden zoals de mogelijkheid van lage temperatuurverwarming, bodemkwaliteit en vergunningen zorgen er voor dat dit systeem niet overal kan worden toegepast. WKK is met name aantrekkelijk in gebouwen met een constante hoge warmtevraag gedurende het gehele jaar. Deze constante hoge warmtevraag kan bijvoorbeeld veroorzaakt worden door een constante grote behoefte aan warm tapwater gedurende het gehele jaar.

5. Glastuinbouw

5.1 Sectorbeschrijving

De Nederlandse teelt van snijbloemen, groenten en (pot)planten is zeer energie-intensief en gebruikt veel warmte. Glastuinbouwbedrijven gebruiken energie voor kasverwarming, koeling en CO₂-bemesting. Elektriciteit wordt gebruikt voor groeibelichting, maar ook voor koeling, pompen, ventilatoren en automatisering. Het totale aardgasverbruik van de glastuinbouw was in 2008 132 PJ. Het finale elektriciteitsverbruik in datzelfde jaar was 27 PJ (7,5 TWh).

De glastuinbouw is een grote elektriciteitsproducent doordat veel bedrijven WKK-gasmotoren gebruiken voor de gecombineerde opwekking van elektriciteit en warmte. Sinds 2004 is het gebruik van gasmotoren zeer snel gegroeid. Tussen 2004 en 2008 steeg de WKK-aardgasinzet in gasmotoren van 32 PJ tot 110 PJ. De elektriciteitsproductie van WKK in de glastuinbouw was 39 PJ (10,9 TWh) in 2008.

De productie van de glastuinbouw intensificeert voortdurend, en er vindt een sterke schaalvergroting plaats. Ondanks een dalend aantal glastuinbouwbedrijven, is het totale kasoppervlak al lange tijd tamelijk constant.

5.2 Technologiebeschrijvingen

Ketel

In nagenoeg elke verwarmde kas worden aardgasgestookte ketels gebruikt. In de ketel wordt de warmte van een aardgasbrander overgebracht op water voor het verwarmingssysteem. De rookgassen van ketels kunnen daarnaast in de vraag naar CO₂ voorzien. Ook glastuinbouwbedrijven met een WKK gebruiken ketels als alternatieve warmtevoorziening en back-up.

WKK-gasmotor

Tegenwoordig is de WKK-gasmotor de meest gebruikte technologie voor warmteopwekking in de glastuinbouw. Deze verbrandingsmotoren op aardgas drijven een generator aan, waarmee elektriciteit wordt opgewekt. De warmte uit de rookgassen en koelsystemen gebruiken telers om het verwarmingswater op te warmen. De hoogwaardige warmte (80-90 °C) wordt via warmte-wisselaars afgedragen aan het verwarmingssysteem. De meeste bedrijven gebruiken de laagwaardige warmte (35-50 °C) in speciale laagtemperatuur verwarmingsnetten (Smit et al., 2008).

Warmtepomp en warmte-koude opslag

In een jaar is er voldoende zonlicht om een goed geïsoleerde kas het hele jaar door te verwarmen. Gebruik van deze zonnewarmte is een alternatief voor warmte-opwekking met aardgas (Janssen et al., 2006, Ruijs et al., 2007). Semi-gesloten kassen maken hiervoor gebruik van warmteopslag en warmtepompen. Aquifers zijn watervoerende lagen (bijvoorbeeld op 100 m diepte) waarin overtollige warmte langdurig kan worden opgeslagen. Bovengrondse tanks kunnen worden gebruikt voor dagopslag. Warmtepompen brengen het water op de juiste temperatuur voor verwarming van de kas.

De semi-gesloten kas is te beschouwen als een intensiveringsmogelijkheid die meerproductie op kan leveren, omdat de aquifers het mogelijk maken de kas te koelen. Dit is voordelig als koeling meerwaarde oplevert. Dat de kas meer gesloten wordt gehouden maakt het mogelijk de CO₂-concentratie, luchtvochtigheid en lichtinval te verhogen en ziektes te beperken. Vanwege gebruik van warmtepompen, pompen en ventilatoren hebben semi-gesloten kassen een verhoogd elektriciteitsgebruik.

5.3 Huidige toepassing

In korte tijd zijn veel glastuinbouwbedrijven overgegaan van ketelstook op WKK. In 2004 stond er nog 1.042 MW_e WKK opgesteld. In 2008 was dit al toegenomen tot 2.920 MW_e (van der Velden et al., 2009). De sterke groei van het WKK-vermogen is afgevlakt vanwege de economische recessie en verzadiging van de markt voor WKK. Voor te kleine of extensieve bedrijven is WKK geen aantrekkelijke optie.

De rol van semi-gesloten kassen in de glastuinbouw is nog beperkt. In 2008 was het areaal semi-gesloten kas 169 hectare. De 40 bedrijven met semi-gesloten kassen vertegenwoordigden 1,7% van het totale kasoppervlak (van der Velden et al., 2009). De ontwikkeling van de technologie is achtergebleven bij de verwachtingen en is bemoeilijkt door de concurrentie van warmteopwekking met WKK.

5.4 Huidig overheidsbeleid

Energiebelasting

Voor de glastuinbouw geldt een verlaagd energiebelastingtarief op aardgas (Tabel 5.1). De tarieven voor de eerste drie schrijven zijn substantieel lager dan voor andere aardgasverbruikers.

Over het merendeel van het aardgasverbruik in de glastuinbouw wordt geen energiebelasting betaald, omdat de aardgasinzet van WKK vrijgesteld is van energiebelasting. Voorwaarde voor de vrijstelling is dat de WKK-installatie een elektrisch rendement heeft van minimaal 30% en een elektrisch vermogen van tenminste 60 kW.

Tabel 5.1 *Energiebelastingtarieven aardgas per 1 januari 2010*

Energiebelasting gas	Tarief tuinbouw [ct/m ³]	Tarief niet-tuinbouw [ct/m ³]
0-5.000 m ³	1,485	16,29
5.000-170.000 m ³	2,362	14,11
170.000-1 mln. m ³	1,977	3,91
1 mln.-10 mln. m ³	1,24	1,24
> 10 mln. m ³ (niet-zakelijk verbruik)	-	1,16
>10 mln. m ³ (zakelijk verbruik)	0,82	0,82

WKK-eigenaars kunnen de geproduceerde elektriciteit zelf verbruiken of leveren aan derden. Het eigen verbruik van WKK-elektriciteit is vrijgesteld van de energiebelasting op elektriciteit, zodat in dit geval noch over de brandstofinzet, noch over de geproduceerde warmte en elektriciteit belasting betaald wordt. Aan het net geleverde elektriciteit wordt belast bij de eindverbruiker.

Energie-investeringsaftrek

Investerings in WKK kunnen in aanmerking komen voor energie-investeringsaftrek (EIA), maar daarbij gelden wel hoge eisen aan het rendement. Het maximaal aftrekbare investeringsbedrag is voor gasmotoren vanaf 1 MW_e 350 €kW elektrisch vermogen.

Emissiehandel

Het Europese emissiehandelssysteem ETS bestaat sinds 2005. Aan de eerste handelsperiode, van 2005 tot 2007, nam maar een klein aantal glastuinbouwbedrijven deel. In de huidige handelsperiode hebben de deelnemende bedrijven een gezamenlijke emissie van 1,5 Mton CO₂-eq in 2008. Verwacht wordt dat een groot deel van de glastuinbouwbedrijven die momenteel onder het ETS vallen gebruik zal maken van een opt-out regeling om weer uit het ETS te kunnen treden.

CO₂-sectorsysteem

Het is voorgenomen beleid om met een CO₂-sectorsysteem voor de glastuinbouw een prikkel te bieden voor emissiereductie en energiebesparing. De jaren 2011-2012 gelden als proefperiode. Voor de periode na 2012 dient nog een emissieruimte te worden vastgesteld. Als de glastuinbouwsector meer uitstoot dan de emissieruimte toelaat moet een vergoeding aan de overheid worden betaald. De kosten van de overschrijding worden doorberekend aan de individuele tuinders. Hoe dit na 2012 precies zal gebeuren is nog niet vastgelegd. Uitgangspunt is dat de prikkel het toepassen en rendabel worden van duurzame(re) energieopties dient te versnellen.

MEI-regeling

De subsidie Marktintroductie Energie-innovaties (MEI) subsidieert investeringen in semi-gesloten kassen, aardwarmte en andere innovatieve energiesystemen in de glastuinbouw. De regeling vergoedt 40% van het investeringsbedrag.

5.5 Verwachte ontwikkelingen

Omdat energiekosten en –opbrengsten een belangrijke rol spelen in de kostenopbouw van glastuinbouwbedrijven, blijft energie van groot belang voor de bedrijfsvoering.

Er zijn meerdere verklaringen voor de gerealiseerde snelle groei van WKK. Schaalvergroting heeft het mogelijk gemaakt om grotere en meer efficiënte installaties te gebruiken. Energieprijsontwikkelingen, mogelijkheden voor elektriciteitshandel en nieuwe handelsdiensten hebben ook bijgedragen. Door het gebruik van warmtebuffers kan er vaak voor gekozen worden om elektriciteit te leveren op het moment dat dit het meeste opbrengt. Vanwege verzadiging van de markt wordt geen sterke groei van WKK meer verwacht.

Het areaal met semi-gesloten kassen is maar langzaam gegroeid. Veel gasmotoren zijn nog maar kort in gebruik en een grote doorbraak van alternatieve kasconcepten wordt op korte termijn niet verwacht.

Voor de referentieraming heeft het LEI een herziening gemaakt van de LEI-raming voor de areaalontwikkeling van de glastuinbouw (Bunte, 2009). Het totaal glasareaal groeit in het basisscenario van 10.540 hectare in 2005 tot 11.080 hectare in 2020. De groei vindt plaats bij snijbloemen en potplanten.

5.6 Case-aannames

Kostenberekeningen voor glastuinbouwbedrijven zijn complex. Binnen de glastuinbouw bestaat er een grote variatie in teeltmethodes, gewassen en verwarmingstechnologieën. Warmtepompen worden vaak gecombineerd met WKK (Geelen, 2009). De keuze voor een technologie kan invloed hebben op de productkwaliteit en daarmee op de inkomsten. Als bedrijven flexibel reageren op de elektriciteitsmarkt heeft dit invloed op de inkomsten en de gasrekening.

Om deze redenen worden voor de glastuinbouw geen gedetailleerde bedrijfscases uitgewerkt, maar worden de eigenschappen van de warmte-opwekkingstechnologieën op hoofdlijnen vergeleken. De cases zijn:

- Ketel.
- Gasmotor-WKK.
- Warmtepomp en Warmte-Koude-Opslag.

Voor deze cases worden de effecten van de marginale opwekking van 1 GJ warmte met de verschillende opwekkingstechnologieën vergeleken. Hierbij wordt er van uitgegaan dat het aard-

gasverbruik van de locatie binnen de derde schijf van de energiebelasting valt (170.000-1 mln m³). Het elektriciteitsverbruik valt ook binnen de derde schijf (50.000-10 mln kWh).

Voor warmteopwekking met de ketel wordt uitgegaan van een thermisch rendement van 95%.

De eigenschappen van de WKK-gasmotor zijn gebaseerd op de karakteristieken van de grote gasmotor-case uit de onrendabele top berekeningen voor WKK (Hers et al., 2009).

- Elektrisch rendement: 41%.
- Thermisch rendement: 49%.

Er worden twee situaties onderscheiden:

- De WKK-eigenaar gebruikt de geproduceerde elektriciteit zelf.
- De WKK eigenaar levert de geproduceerde elektriciteit aan het net.

Voor het semi-gesloten kassysteem met warmtepomp en warmte-koude opslag wordt uitgegaan van een Seasonal Performance Factor voor verwarming van 3,7.¹⁶ De elektriciteit is afkomstig van het elektriciteitsnet.

De technische eigenschappen van de cases voor 2020 en 2030 worden gelijk gehouden aan die voor 2010.

5.7 Resultaten cases

Effecten op CO₂-emissie

Het effect van de warmteopwekkingstechnologie op energiegebruik en emissies hangt af van de referentie voor centrale elektriciteitsopwekking. Als de CO₂-emissiefactor van de referentie laag is, is de indirecte CO₂-emissie voor elektriciteitsverbruik ook laag. De totale emissie is de som van de lokale emissies (directe emissies) en de emissies voor elektriciteitsproductie door het centrale elektriciteitspark (indirecte emissies).

Tabel 5.2 geeft de hoeveelheid CO₂ die uitgestoten wordt bij het opwekken van 1 GJ warmte met een ketel, warmtepomp of WKK-gasmotor. Bij het gebruik van WKK zijn de directe CO₂-emissies sterk hoger dan bij ketelstook. Als rekening gehouden wordt met de vermeden emissies voor elektriciteitsproductie in het centrale park is de CO₂-emissie van WKK juist lager dan bij ketelstook.

Hierbij moet wel opgemerkt worden dat gasmotoren niet alleen CO₂ uitstoten, maar dat er ook onverbrande koolwaterstoffen uit de uitlaat komen. Het grootste deel van de koolstof, orde grootte 90%, bevindt zich in de vorm van methaan. Methaan is een sterk broeikasgas. In het Besluit emissie-eisen middelgrote stookinstallaties (BEMS) is een emissie-eis gesteld van 1500 mg koolstof/Nm³. Bij een Global Warming Potential (GWP) van 25 verhoogt de methaanslip de CO₂-equivalente emissie van de gasmotor met 20% als de gasmotor precies aan de BEMS-norm voldoet.

Bij verwarming met een warmtepomp zijn er geen lokale CO₂-emissies, maar alleen indirecte emissies voor elektriciteitsproductie door het centrale elektriciteitspark. Bij de gekozen referenties wordt de CO₂-emissiefactor van het centrale elektriciteitspark tot 2030 lager en resulteert gebruik van de warmtepomp op lange termijn in minder CO₂-uitstoot dan de ketel en de WKK.

¹⁶ De Seasonal Performance Factor is het werkelijke rendement. De Coefficient of Performance is het ontwerprendement. In de praktijk bestaat er een grote variatie in systeemeigenschappen. Dit hangt ook af van de temperatuur van de bron en het afgiftesysteem (Geelen *e.a.*, 2009).

Tabel 5.2 *CO₂-emissie per GJ opgewekte warmte (glastuinbouwcases)*

CO ₂ -emissie [kg/GJ warmte]	Niet-ETS (jaaronafhankelijk)	Totaal 2010 Bijregelen STEG	Totaal 2020 Bijregelen STEG	Totaal 2030 Nieuwbouw STEG	Totaal 2030 Nieuwbouw Kolen-CCS
Ketel	60	60	60	60	60
WKK	116	26	26	40	88
WP	0	29	29	24	9

Voor deze studie zijn geen realistische scenario's voor de marktpenetratie van technologieën uitgewerkt. Om een beeld te geven van het effect op emissies en energiegebruik van grootschalige toepassing is aangegeven wat het effect is als de technologieën in 2020 in 10% van de warmtevraag in de glastuinbouw voorzien. Het effect is bepaald ten opzichte van een referentieketel. De finale warmtevraag die wordt ingevuld is 10 PJ.

Tabel 5.3 *Indicatie effecten ten opzichte van de referentie bij invulling 10% van de warmtevraag (glastuinbouw)*

	WP	WKK
CO ₂ -emissie niet-ETS [Mton]	-0,7	0,6
CO ₂ -emissie totaal [Mton]	-0,4	-0,4
Primaire energie [PJ]	-5,9	-7,7
Hernieuwbare energie [PJ]	5	-

Warmtepompen en WKK leiden beide tot emissiereductie en een lager primair energiegebruik. Bij invulling van 10% van de warmtevraag met WKK nemen de niet-ETS emissies met ca. 0,6 Mton toe. Deze emissies vallen niet onder het ETS, maar het is de bedoeling dat deze emissies wel onder het CO₂-sectorsysteem voor de glastuinbouw gaan vallen. Dit systeem biedt flexibiliteit bij het reduceren van de emissies tot een bepaalde emissieruimte. Voor de periode na 2012 zijn de precieze systematiek en emissieruimte nog niet vastgelegd.

Effecten op energiegebruik

Warmtepompen en WKK kunnen het primair energiegebruik allebei verlagen ten opzichte van ketelstook. Door CO₂-afvang en -opslag is het opwekkingsrendement van de kolencentrale in 2030 laag en gebruikt deze referentie relatief veel primaire energie. Door WKK wordt dan meer primair energiegebruik vermeden dan door een warmtepomp. Gebruik van WKK maakt warmte voor glastuinbouwbedrijven goedkoper. De economische prikkel om de warmtevraag te verminderen wordt hierdoor kleiner.

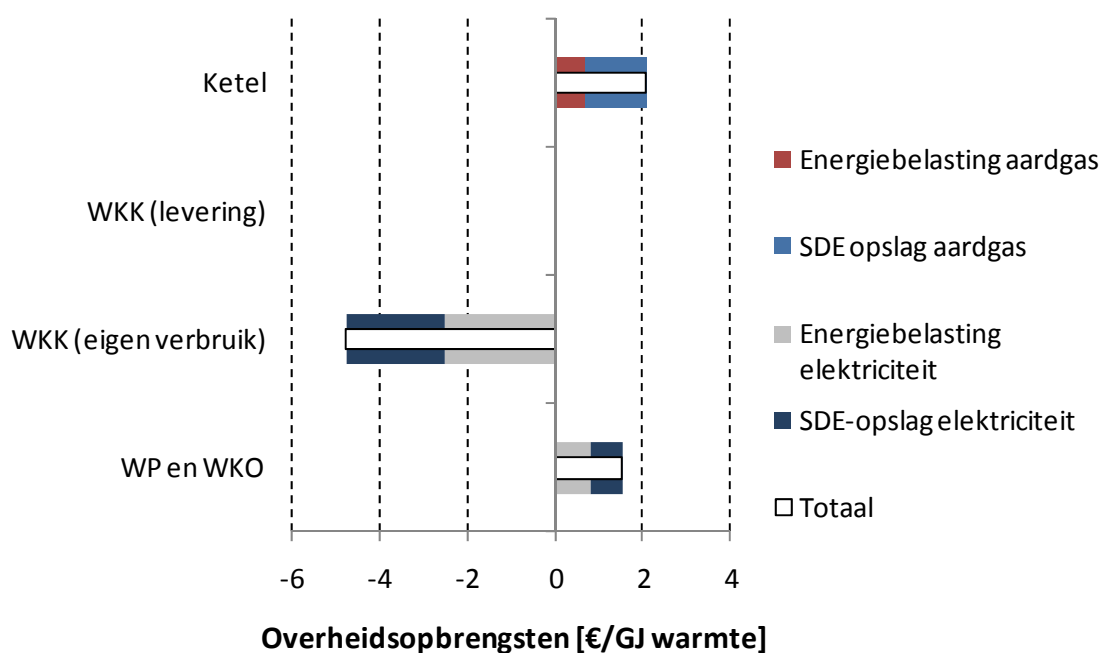
Tabel 5.4 *Primair energiegebruik per GJ opgewekte warmte (glastuinbouwcases)*

Primair energiegebruik [GJ/GJ warmte]	2010 Bijregelen STEG	2020 Bijregelen STEG	2030 Nieuwbouw STEG	2030 Nieuwbouw Kolen-CCS
Ketel	1,05	1,05	1,05	1,05
WKK	0,38	0,38	0,64	0,01
WP	0,54	0,54	0,45	0,65

Effecten op kosten

Tussen de cases zitten duidelijke verschillen als het gaat om de overheidsopbrengsten uit de energiebelasting en SDE-opslag. Over de aardgasinzet van ketels wordt energiebelasting en SDE opslag betaald. Bij gebruik van aardgas voor WKK bestaat hiervoor een vrijstelling. Bij gebruik van een warmtepomp wordt energiebelasting en SDE opslag betaald over het elektriciteitsgebruik als de elektriciteit door het net geleverd wordt.

Bij de opwekking van 1 GJ warmte produceert de WKK 232 kWh elektriciteit. Als deze elektriciteit door de WKK-eigenaar zelf verbruikt wordt, hoeft hierover geen energiebelasting of SDE-opslag te worden betaald en worden de overheidsopbrengsten lager. Dit is één van de oorzaken dat WKK effectief leidt tot een vermindering van de marginale kosten.



Figuur 5.1 Overheidsopbrengsten uit heffingen per GJ opgewekte warmte in 2020 (glastuinbouwcases)

Tabel 5.5 Overheidsopbrengsten uit heffingen per GJ opgewekte warmte voor de glastuinbouwcases

Overheidsopbrengsten [€/GJ warmte]	2010	2020	2030 Referentie nieuwbouw STEG	2030 Referentie nieuwbouw kolen-CCS
Ketel	0,7	2,1	2,1	2,1
WKK (levering)	0,0	0,0	0,0	0,0
WKK (eigen verbruik)	-2,5	-4,8	-4,8	-4,8
WP	0,8	1,5	1,5	1,5

6. Industrie

De industrie gebruikt veel warmte en is verantwoordelijk voor meer dan 40% van het totale Nederlandse primaire energiegebruik.

6.1 Sectorbeschrijving

De industrie had in 2008 een primair energiegebruik van 1.398 PJ. Voor bijna de helft gaat het hierbij om verbruik van energiedragers als feedstock, zoals nafta in kraakprocessen en cokes voor staalproductie. Het finaal elektriciteitsverbruik was 152 PJ (42,2 TWh).

Onder de industrie vallen zeer uiteenlopende bedrijven. De grote energie-intensieve industriebedrijven nemen deel aan het Europese emissiehandelssysteem (ETS). Deze studie richt zich op de invulling van de warmtevraag bij industriebedrijven buiten het ETS.

De emissies van de chemie vallen voor het overgrote deel onder het ETS, met uitzondering van procesemissies. Ook de emissies van de papier-industrie, de bouwmaterialenindustrie en de basismetaleen zijn vrijwel uitsluitend ETS-emissies. De voedings- en genotmiddelenindustrie neemt een middenpositie in en bij de overige metaal en de overige industrie is het aandeel van ETS-bedrijven laag.

6.2 Technologiebeschrijvingen

Ketel

Industriële ketels produceren stoom of warm water voor productieprocessen in de industrie. Er kunnen verschillende brandstoffen worden gebruikt, maar in Nederland is aardgas het meest gebruikelijk. De processen stellen eisen aan de temperatuur en druk.

WKK

In de procesindustrie worden gasturbines het meest gebruikt, vaak in combinatie met een stoomturbine. Een gasturbine bestaat uit een compressor die verbrandingslucht comprimeert, een of meerdere verbrandingskamers, een turbine waarin de verbrandingsgassen expanderen en de elektriciteitsgenerator. Gasturbines zijn geschikt voor het leveren van warmte van hoge temperatuur. In de afgassenketel, waar stoom geproduceerd wordt, kan bijgestookt worden.

Deze studie richt zich op kleine installaties op locaties die te klein zijn om deel te nemen aan het ETS. Gasmotoren zijn verkrijgbaar in een brede vermogensrange en worden vaak gebruikt waar gasturbines niet toepasbaar zijn en er lage-temperatuur warmtevraag is. Uit de rookgassen van gasmotoren kan warmte op hoog niveau worden gehaald (tot 400 graden). Warmte op laag niveau is ook beschikbaar.

Warmtepompen

Er wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om warmtepompen te gebruiken om aan de warmtevraag in de industrie te voldoen. Door de beperkte temperatuurlift wordt dit niet breed toegepast. Restwarmte kan met warmtepompen worden opgewaardeerd. Anders dan in de woningbouw en in de glastuinbouw kan dit niet als een algemeen toepasbaar alternatief voor de warmtevoorziening worden gezien (Spoelstra et al., 2009).

6.3 Huidige toepassing

Na een sterke toename van het vermogen van industriële WKK in de jaren '90 is deze groei gestagneerd. WKK wordt zeer veel toegepast, maar vooral bij ETS bedrijven. Het CBS geeft informatie over de toepassing van WKK in de industrie. In 2008 waren er 215 WKK-installaties met een gezamenlijk elektrisch vermogen van 2.945 MW_e. De totale brandstofinzet was 214 PJ.

Tabel 6.1 *Aantal WKK-installaties in de industrie in 2008*

Aantal installaties	Gasmotor	Gasturbine	Steg-eenheid	Stoomturbine	Totaal
Chemie	13	11	13	9	46
Papier	6	13	6	1	26
Voeding en genotsmiddelen	39	28	11	5	83
Overige industrie	51	6	0	3	60
Industrie totaal	109	58	30	18	215

Bron: CBS, 2010b.

Bij de meerderheid van de installaties die in de industrie staat opgesteld gaat het om kleinere gasmotoren of gasturbines. Maar vanwege het lage elektrisch vermogen per installatie vertegenwoordigen de kleinere installaties maar een beperkt deel van de totale brandstofinzet. Kleinere installaties kunnen bij niet-ETS bedrijven worden gebruikt, maar het is ook mogelijk dat deze installaties op locaties staan die groot genoeg zijn om deel te moeten nemen aan het ETS.

Tabel 6.2 *Elektrisch vermogen van WKK in de industrie in 2008*

Elektrisch vermogen [MW _e]	Gasmotor	Gasturbine	Steg-eenheid	Stoomturbine	Totaal
Chemie	6	283	1.627	128	2.044
Overige industrie	31	35	0	31	97
Papier	4	70	234	3	311
Voeding en genotsmiddelen	21	170	258	44	493
Industrie totaal	62	558	2.119	206	2.945

Bron: CBS, 2010b.

Tabel 6.3 *Brandstofinzet voor WKK in de industrie in 2008*

Brandstofinzet [PJ]	Gasmotor	Gasturbine	Steg-eenheid	Stoomturbine	Totaal
Chemie	0,2	39,5	96,2	22,0	157,8
Overige industrie	0,5	1,8	0,0	3,3	5,6
Papier	0,1	5,2	15,0	0,6	21,0
Voeding en genotsmiddelen	0,7	13,7	11,5	3,4	29,3
Industrie totaal	1,4	60,2	122,7	29,3	213,6

Bron: CBS, 2010b.

Agentschap NL registreert WKK-installaties van bedrijven die deelnemen aan de Meerjarenafspraken energie-efficiency 2001-2020 (MJA3). In 2009 waren er 87 WKK installaties geregistreerd, waarvan 43 buiten het ETS. Aan de MJA3 nemen ook instellingen uit de zorgsector en het wetenschappelijk onderwijs deel. Ca. 40 WKK-installaties stonden opgesteld in de industrie, waarvan 25 buiten het ETS. De meeste ETS-bedrijven nemen niet deel aan de MJA3, maar aan het Meerjarenafspraken energie-efficiency ETS-ondernemingen (MEE).

Het totale verbruik van de niet-ETS WKK in de industrie deelnemend aan de MJA3 was ca. 14 PJ. Het gaat daarbij vrijwel uitsluitend om aardgas. De totale emissie van deze installaties is ca. 0,8 Mton.

In 2009 waren er 16 MJA3-bedrijven die opgegeven hebben gebruik te maken van omgevingswarmte (incl. warmte-koude opslag), wat een totale besparing van 275 TJ heeft opgeleverd.

6.4 Huidig overheidsbeleid

Het Nederlandse energiebeleid voor de niet-ETS industrie is al lange tijd sterk gebaseerd op vrijwillige convenanten. Industriële partijen sluiten meerjarenafspraken af met de overheid over energiebesparing, emissiereductie en hernieuwbare energie. WKK kan bijdragen aan deze doelstellingen.

WKK-installaties horen tot de bedrijfsmiddelen die in aanmerking kunnen komen voor energie-investeringsaftrek (EIA). Het maximum investeringsbedrag dat voor aftrek in aanmerking komt hangt af van het elektrisch vermogen en het type van de installatie. Om in aanmerking te komen voor EIA moet de WKK-installatie aan hoge rendementseisen voldoen.

6.5 Case-aannames

Net als voor de glastuinbouw worden voor de industrie geen gedetailleerde bedrijfscases gekarakteriseerd, maar worden de eigenschappen van de technologieën voor warmteopwekking op hoofdlijnen met elkaar vergeleken.

De cases zijn:

- Ketel.
- Gasmotor-WKK.

Voor deze cases worden de effecten van de marginale opwekking van 1 GJ warmte met de verschillende opwekkingstechnologieën vergeleken. Hierbij wordt er van uitgegaan dat het aardgasverbruik van de locatie binnen de derde schijf van de energiebelasting valt (170.000-1 mln m³). Het elektriciteitsverbruik valt ook binnen de derde schijf (50.000-10 mln kWh).

De aardgasgestookte ketel heeft een thermisch rendement van 90%.

De eigenschappen van de WKK-gasmotor zijn:

- Elektrisch rendement: 34%.
- Thermisch rendement: 49%.

Dit zijn de gemiddelde rendementen van gasmotoren in de industrie in de periode 2005-2008 (CBS, 2010b).

Er worden twee situaties onderscheiden:

- De WKK-eigenaar gebruikt de geproduceerde elektriciteit zelf.
- De WKK eigenaar levert de geproduceerde elektriciteit aan het net.

Er worden voor 2020 en 2030 geen veranderingen in de technische eigenschappen aangenomen.

6.6 Resultaten cases

Effecten op CO₂-emissie

Tabel 6.4 vergelijkt de resultaten voor de CO₂-emissies van de ketel en de WKK bij opwekking van 1 GJ warmte. Omdat er extra aardgas nodig is om met WKK elektriciteit te produceren heeft de WKK een hogere niet-ETS CO₂-emissie. WKK verlaagt de indirecte emissies doordat emissies voor centrale elektriciteitsproductie worden vermeden. Als een kolencentrale met CCS als referentie wordt gekozen, reduceert de WKK de totale uitstoot niet.

Tabel 6.4 *CO₂-emissie per GJ opgewekte warmte (industriële cases)*

CO ₂ -emissie [kg/GJ warmte]	Niet-ETS (jaaronafhankelijk)	Totaal 2010 Bijregelen STEG	Totaal 2020 Bijregelen STEG	Totaal 2030 Nieuwbouw STEG	Totaal 2030 Nieuwbouw Kolen-CCS
Ketel	63	63	63	63	63
WKK	116	42	42	53	93

Van belang is dat de extra directe emissies van WKK plaatsvinden buiten het ETS. De Nederlandse sectoren die niet onder het emissiehandelssysteem vallen moeten van de Europese Commissie hun broeikasgas uitstoot in 2020 met 16% reduceren ten opzichte van 2005. Dit wordt met extra decentrale WKK moeilijker.

WKK die niet onder het ETS valt profiteert van de verhoging van de elektriciteitsprijs die het gevolg is van het doorberekenen van de kosten voor emissierechten door ETS-elektriciteitsproducenten. Dit stimuleert extra elektriciteitsproductie buiten het ETS. Dit effect wordt sterker bij hogere CO₂-prijzen. Als elektriciteitsproductie verschuift van binnen naar buiten het ETS hoeven de ETS-bedrijven minder elektriciteit op te wekken. Omdat het aantal beschikbare emissierechten op Europees niveau is vastgelegd hoeft de ETS sector in dit geval minder emissiereducerende maatregelen te nemen en neemt de totale Europese emissie toe.

Voor deze studie zijn geen realistische scenario's voor de marktpenetratie van technologieën uitgewerkt. Om een beeld te geven van het effect op emissies en energiegebruik geeft Tabel 6.5 een indicatie van het effect als WKK-gasmotoren in 2020 in 10% van de warmtevraag in de niet-ETS industrie voorzien. Het effect is bepaald ten opzichte van de referentieketel. De finale warmtevraag die wordt ingevuld is 8 PJ. Als WKK 10% van de warmtevraag invult leidt dit tot een verhoging van de niet-ETS emissie met ca. 0,4 Mton.

Tabel 6.5 *Indicatie effecten ten opzichte van de referentie bij invulling 10% van de warmtevraag (niet-ETS industrie)*

	WKK
CO ₂ -emissie niet-ETS [Mton]	0,4
CO ₂ -emissie totaal [Mton]	-0,2
Primaire energie [PJ]	-3,4

Effecten op energiegebruik

De WKK verlaagt het primair energiegebruik ten opzichte van ketelstook. De toename van het lokale aardgasverbruik wordt gecompenseerd door vermeden brandstofverbruik voor centrale elektriciteitsopwekking. Het effect is het grootst wanneer de kolencentrale met CCS als referentie wordt gekozen, omdat CO₂-afvang en -opslag ten koste gaat van het opwekkingsrendement van de centrale.

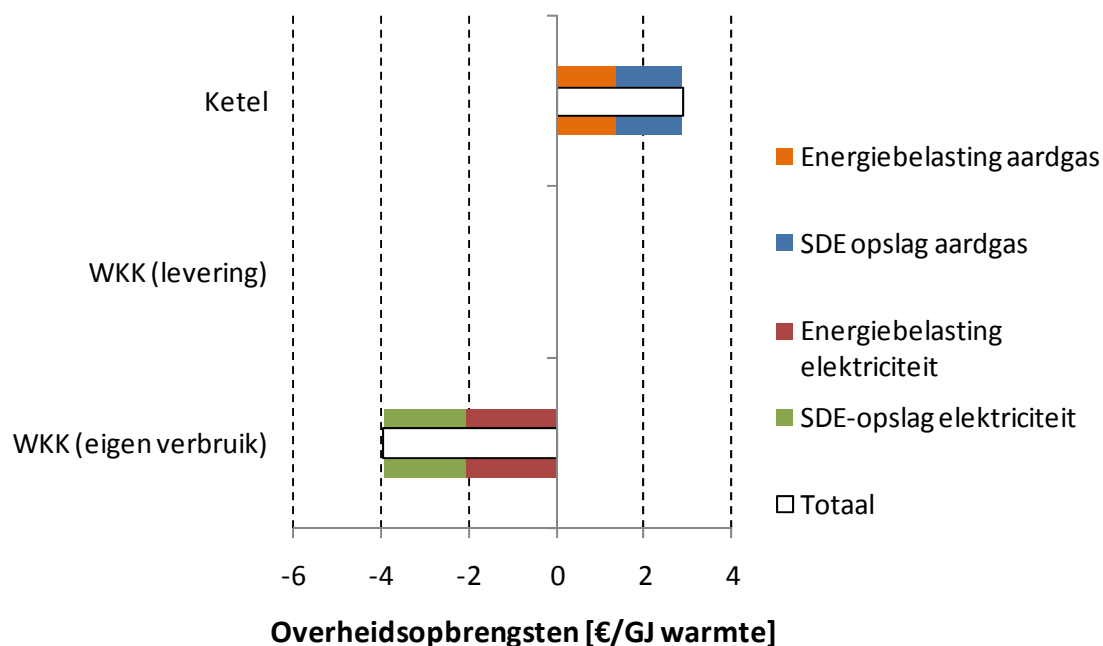
Omdat WKK de marginale kosten van warmte verlaagt, wordt de prikkel voor vermindering van de warmtevraag kleiner. Op locaties waar al een WKK staat kan dit er voor zorgen dat er minder energiebesparende maatregelen worden toegepast.

Tabel 6.6 *Primair energiegebruik per GJ opgewekte warmte (industriële cases)*

Primair energiegebruik [GJ/GJ warmte]	2010 Bijregelen STEG	2020 Bijregelen STEG	2030 Nieuwbouw STEG	2030 Nieuwbouw Kolen-CCS
Ketel	1,11	1,11	1,11	1,11
WKK	0,67	0,67	0,88	0,36

Effecten op kosten

Bij gebruik van WKK worden de overheidsinkomsten uit de energiebelasting en SDE-opslag lager omdat de aardgas-inzet van WKK hiervan is vrijgesteld, en de elektriciteit geproduceerd voor eigen verbruik ook. Bij de resultaten in Figuur 6.1 is aangenomen dat het bedrijf in de derde schijf van de energiebelasting voor aardgas en elektriciteit valt. Als de elektriciteit aan het net wordt geleverd wordt daarover energiebelasting en SDE-opslag geheven bij de eindverbruiker, en zijn er voor de overheid dus geen gedeerde inkomsten uit de energiebelasting op elektriciteit.



Figuur 6.1 Overheidsopbrengsten uit heffingen per GJ geproduceerde warmte in 2020 (industriële cases)

Tabel 6.7 Overheidsopbrengsten uit heffingen per GJ opgewekte warmte voor de industriële cases

Overheidsopbrengsten [€/GJ warmte]	2010	2020	2030
Ketel	1,4	2,9	2,9
WKK (levering)	0,0	0,0	0,0
WKK (eigen verbruik)	-2,1	-4,0	-4,0

7. Discussie en conclusies

Warmte kan op veel verschillende manieren opgewekt worden. Elke warmte-opwekkingstechnologie heeft specifieke effecten op de broeikasgasemissies, het energiegebruik en de kosten van de energievoorziening.

Zowel warmtekrachtkoppelingen (WKK)-installaties als warmtepompen kunnen bijdragen aan CO₂-emissiereductie en energiebesparing. Warmtepompen zetten omgevingswarmte op een efficiënte manier om in bruikbare warmte en verhogen daarmee ook het aandeel duurzame energie. Warmtekrachtkoppeling kan energie besparen doordat de warmte die vrijkomt bij de elektriciteitsproductie niet geloosd of weggekoeld wordt, maar nuttig wordt ingezet.

Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft ECN en Agentschap NL gevraagd om een helder overzicht te bieden van voor- en nadelen van enkele WKK- en warmtepomptechnologieën in vier sectoren, namelijk de woningbouw, de dienstensector, de glastuinbouw en de industrie. Het onderzoek beperkt zich daarbij tot warmteopwekking op locaties die niet groot genoeg zijn om deel te nemen aan het Europese emissiehandelssysteem. Concreet wordt een vergelijking gemaakt van energiegebruik, uitstoot en kosten. Aspecten als functionaliteit en economische kansen voor Nederlandse bedrijven zijn niet nader onderzocht.

Een belangrijk verschil tussen WKK-systemen en elektrische warmtepompsystemen is dat warmtepompen het decentrale elektriciteits*verbruik* vergroten, terwijl WKK de decentrale elektriciteits*productie* vergroot. Door toepassing van warmtepompen neemt het lokale verbruik van aardgas af. Door toepassing van WKK neemt het lokale aardgasverbruik juist toe.

Dit verschil is van belang vanwege het bestaan van het systeem van emissiehandel (Emission Trading Scheme, ETS). De Nederlandse sectoren die niet onder het emissiehandelssysteem vallen moeten van de Europese Commissie hun broeikasgasuitstoot in 2020 met 16% reduceren ten opzichte van 2005. Kleinschalige warmtekracht-opwekking vindt plaats buiten het ETS en de bijbehorende verhoging van het aardgasverbruik leidt dus tot een hogere CO₂-uitstoot voor de niet-ETS sectoren. Een overstap van aardgasstook naar elektrische warmtepompen verlaagt de emissie in de niet-ETS sectoren juist.

Elektriciteitsproductie door niet-ETS sectoren verschuift elektriciteitsproductie van binnen het ETS naar daarbuiten. Omdat het uitstootplafond van alle ETS-bedrijven is vastgelegd, betekent dit dat de CO₂-uitstoot van de gezamenlijke ETS-bedrijven gelijk zal blijven. De totale emissies gaan door deze verschuiving dus omhoog.

De totale CO₂-emissie van een huishouden of bedrijf is de som van de lokale CO₂-emissie (directe emissie) en de CO₂-emissie als gevolg van elektriciteitsproductie door het centrale elektriciteitspark (indirecte emissie). Deze studie vergelijkt de technologieën tegen de achtergrond van een energievoorziening die op lange termijn duurzamer wordt. Het is de verwachting dat de marginale opties voor elektriciteitsproductie in de toekomst minder CO₂ zullen gaan emitteren. Voor warmtepompen en WKK werkt dit verschillend uit. De indirecte CO₂-uitstoot van warmtepompen neemt hierdoor af. Bij (micro-)WKK worden de vermeden emissies daarentegen kleiner.

Mogelijk worden er in de toekomst moderne kolen- of gascentrales met CO₂-afvang en opslag (CCS) gebouwd. Deze centrales hebben een sterk verlaagde CO₂-emissie, maar omdat CO₂-afvang gepaard gaat met een vermindering van het opwekkingsrendement leidt CCS er wel toe dat er meer fossiele brandstof wordt ingezet. Ten opzichte van CCS-centrales reduceren micro-

WKK en WKK geen CO₂-emissie meer. Daarentegen besparen micro-WKK en WKK wel primaire energie ten opzichte van CCS-centrales.

Het nadelige effect op de CO₂-emissie van aardgasverbruik kan worden weggelaten als groen gas uit vergisting of vergassing van biomassa wordt gebruikt. Binnen de SDE is er subsidie voor de productie van biogas door co-vergisting van mest. Vergassing is nog in de demonstratiefase. De mogelijkheden voor toepassing van groen gas hangen af van de mate van stimulering en de beschikbaarheid van biomassa. In de Referentieraming 2010-2020 bedraagt bij voorgenomen beleid de hoeveelheid groen gas circa 24 PJ.¹⁷ Het totale aardgasverbruikssaldo in 2020 is in de raming met 1220 PJ nog veel groter.

Woningbouw

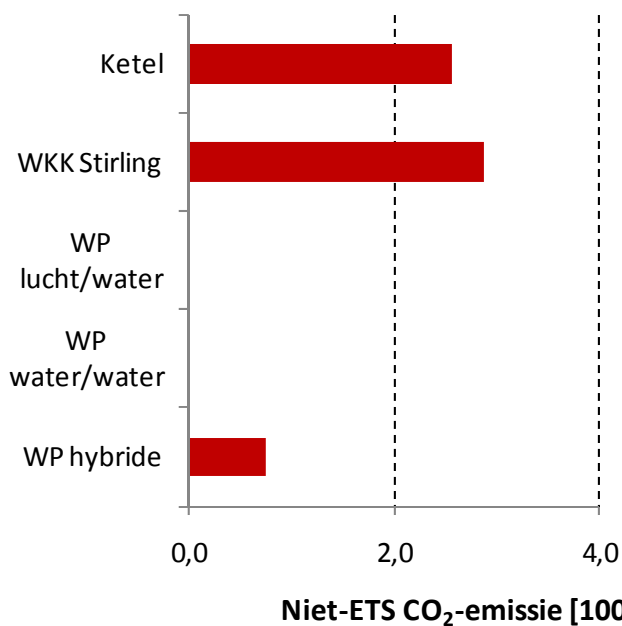
In 2010 is ca. 80% van de Nederlandse woningen voorzien van een eigen HR-ketel. Micro-WKK's met Stirlingmotor en warmtepompen (lucht/water, water/water en hybride) zijn op dit moment alternatieven voor de HR-ketel. Verwacht wordt dat WKK brandstofcellen pas vanaf 2015 beschikbaar zullen zijn. Voor vier typen woningen (vrijstaand, 2-onder-1-kap, rijtjes- en meergezinswoning) zijn de effecten van de alternatieve technologieën op emissies, energiegebruik en kosten bepaald. De onderstaande figuren laten de resultaten zien voor een 2-onder-1-kapwoning in 2010.

Technologieën die geen gebruik maken van aardgas (lucht/water en WKO water/water warmtepomp) hebben geen niet-ETS CO₂-emissies in de gebouwde omgeving tot gevolg. Als het gaat om CO₂-emissie en gebruik van primaire energie presteert de WKO water/water warmtepomp in 2010 het beste van alle technieken. De jaarlijkse eindverbruikerskosten (kapitaal-, energie- en onderhoudskosten) zijn echter ook het hoogst. De hoge investeringskosten maken dat dit systeem naar verwachting niet grootschalig zal worden toegepast in de bestaande bouw. De warmtepompen worden goedkoper als er grotere collectieve systemen worden gebruikt, omdat de investeringskosten per woning dan lager zijn. De investeringen die nodig zijn voor hybride warmtepompen zijn een stuk lager, waardoor ook de jaarlijkse kosten veel lager uitvallen. Voordeel van een warmtepompsysteem is dat daar ook mee kan worden gekoeld.

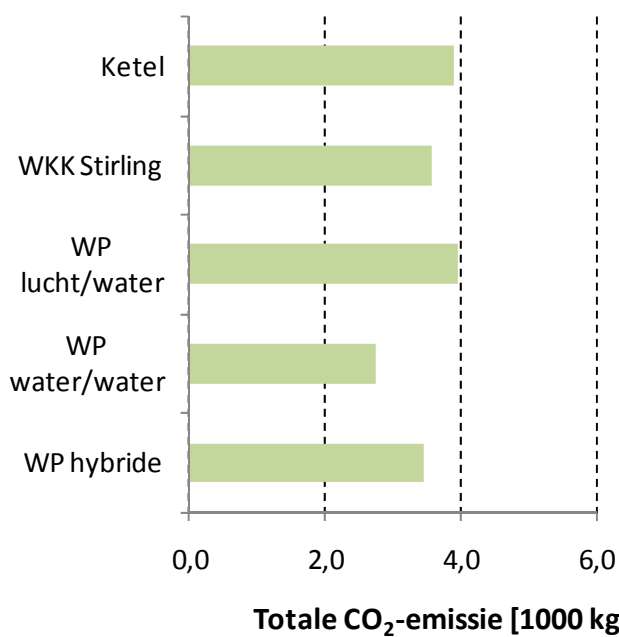
Voor de onderzochte cases hebben de de micro-WKK technologieën lagere eindverbruikerskosten dan de warmtepomptechnologieën. Dit komt onder andere door de relatief hoge energielastingtarieven op elektriciteit, waardoor de jaarlijkse overheidsopbrengsten uit heffingen voor warmtepompen aanzienlijk hoger zijn dan voor micro-WKK.

De prijzen van warmtepompen zijn behoorlijk in beweging door de concurrentie in de markt en de nieuwste technische ontwikkelingen. In de praktijk kunnen de kosten voor warmtepompsystemen aanzienlijk lager zijn dan de kosten die in dit rapport zijn gebruikt voor het definiëren van de standaard cases. In een marktverkenning vindt Q+P Communicatie aanzienlijk lagere kosten voor concrete nieuwbouwprojecten. Bij doorrekening op basis van deze lagere kosten voor een energiezuinige woning blijken de jaarlijkse kosten voor warmtepompsystemen wel nog duidelijk hoger dan die voor een ketel, maar vergelijkbaar met die van micro-WKK.

¹⁷ Dit is exclusief de inzet van lokaal geproduceerd groen gas in elektriciteitsproductie.

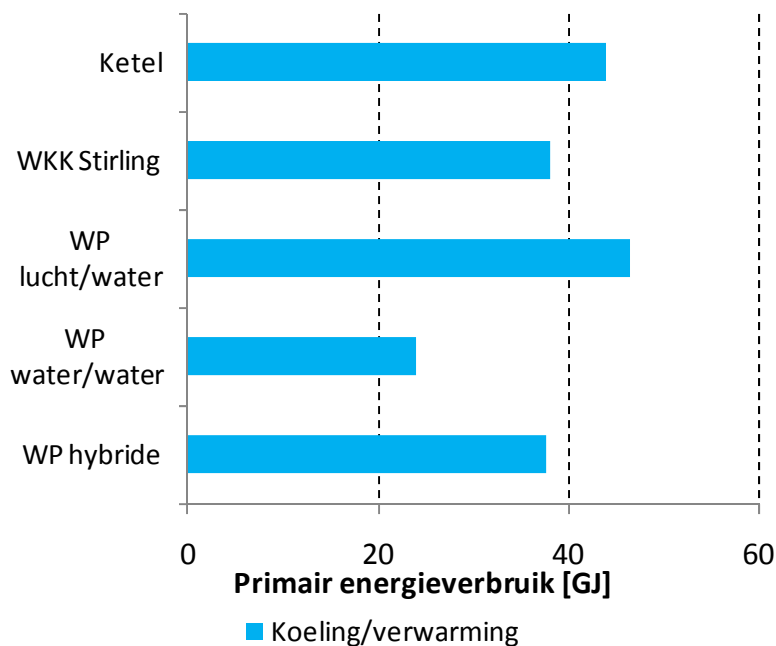


Figuur 7.1 Niet-ETS CO₂-emissie 2-onder-1-kapwoning in 2010¹⁸

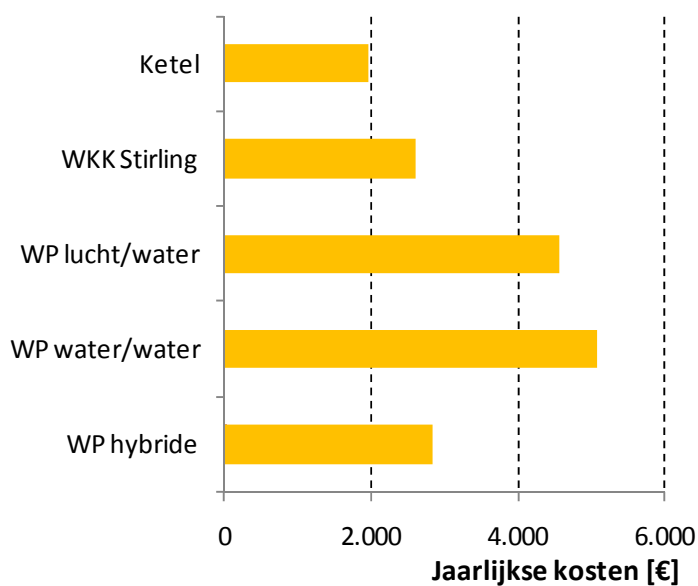


Figuur 7.2 Totale CO₂-emissie 2-onder-1-kapwoning in 2010

¹⁸ Ketel: HR cv-ketel. WKK Stirling: micro-WKK met Stirling motor. WP lucht/water: elektrisch aangedreven warmtepomp die buiten- en/of ventilatielucht als bron gebruikt. WP water/water: elektrisch aangedreven warmtepomp die de bodem of het grondwater als bron gebruikt. Hiervoor worden individuele of collectieve bodemwarmtewisselaars of Warmte-Koude Opslag (WKO) systemen gebruikt. WP Hybride: elektrisch aangedreven warmtepomp in combinatie met een cv-ketel die buiten- en/of ventilatielucht als bron gebruikt. WKK met brandstofceltechnologie is in 2010 nog niet beschikbaar.



Figuur 7.3 Primair energiegebruik 2-onder-1-kapwoning 2010



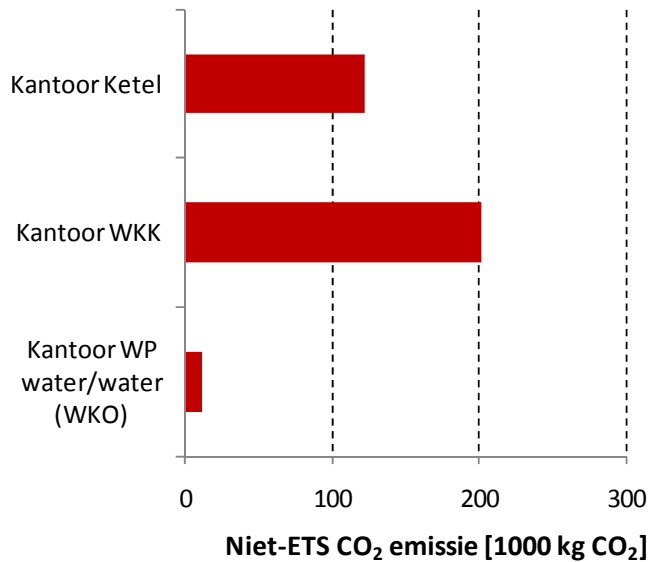
Figuur 7.4 Jaarlijkse kosten 2-onder-1-kapwoning in 2010

Dienstensector/utiliteitsbouw

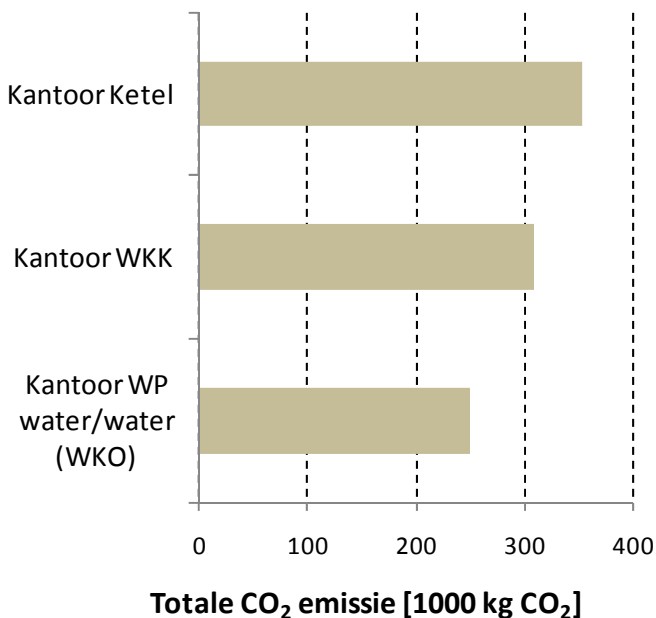
Met een penetratiegraad van ca. 80% is de HR-ketel de referentietechnologie voor warmte-opwekking in de dienstensector. De referentietechnologie voor koudeopwekking is de compressie koelmachine. Water/water warmtepompen met warmte koude opslag (WKO) en WKK-gasmotoren zijn alternatieven. Voor drie typen gebouwen (kantoor, verpleeghuis en school) zijn de effecten van de technologieën op emissies, energiegebruik en kosten bepaald. De onderstaande figuren laten de resultaten zien een kantoor in 2010.

Een warmtepompsysteem in de utiliteitsbouw wordt in de meeste gevallen uitgevoerd als een bivalent systeem (warmtepomp voor de basislast en een HR-ketel voor de pieklast van de warmtevraag) en dus heeft een warmtepompsysteem ook niet-ETS CO₂-emissies in de gebouwde omgeving tot gevolg.

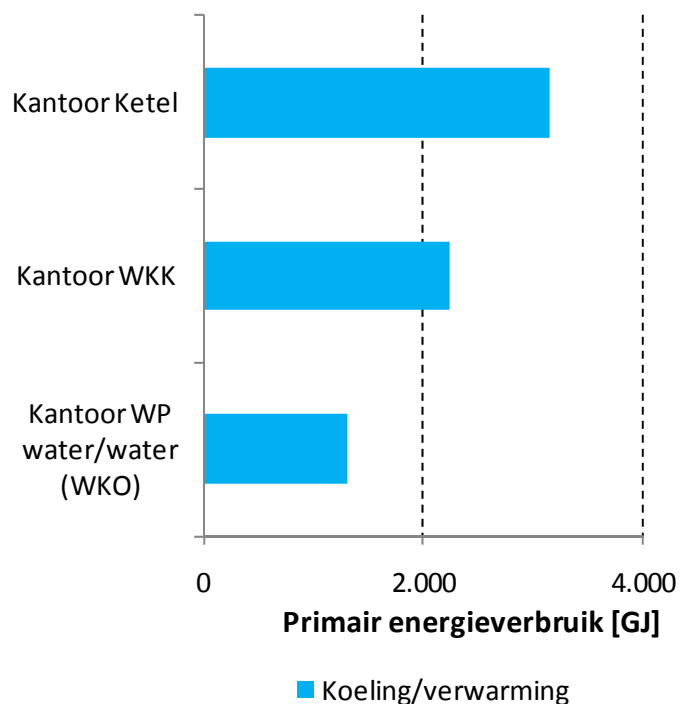
Bij de onderzochte cases presteert een warmtepompsysteem met WKO op het gebied van energie, CO₂ en kosten het beste in de utiliteit voor gebouwen met zowel een verwarmings- als een koelvraag. De jaarlijkse kosten (kapitaal-, energie- en onderhoudskosten) van een warmtepompsysteem zijn in 2010 al lager dan de referentie, mits het utiliteitsgebouw voldoende koelvraag heeft. Overige randvoorwaarden zoals de mogelijkheid van lage temperatuurverwarming, bodemkwaliteit en vergunningen zorgen er voor dat dit systeem niet overal kan worden toegepast. WKK is met name aantrekkelijk in gebouwen met een constante hoge warmtevraag gedurende het gehele jaar. De onderzochte cases zijn relatief klein voor toepassing van WKK.



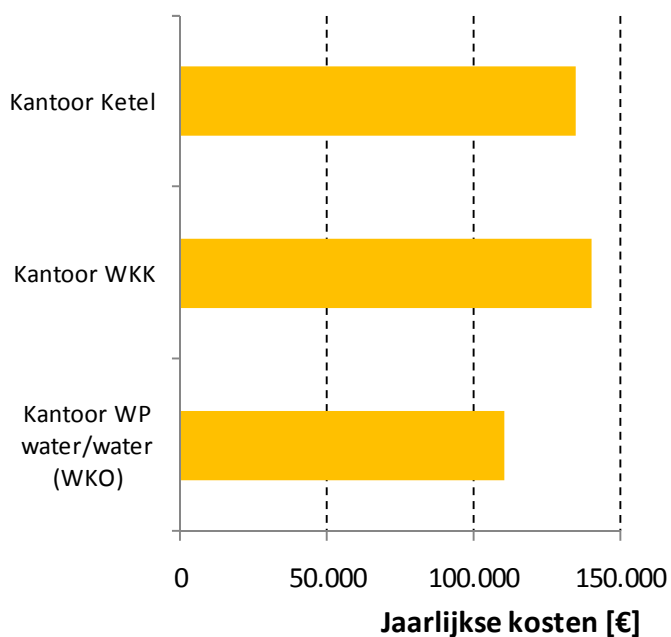
Figuur 7.5 Niet-ETS CO₂-emissie kantoor in 2010



Figuur 7.6 Totale CO₂-emissie kantoor in 2010



Figuur 7.7 Primair energiegebruik kantoor in 2010



Figuur 7.8 Jaarlijkse kosten kantoor in 2010

Glastuinbouw

In nagenoeg elke verwarmde kas worden aardgasgestookte ketels gebruikt, maar tegenwoordig is de WKK-gasmotor de meest gebruikte technologie voor warmteopwekking in de glastuinbouw. De rol van semi-gesloten kassen, die gebruik maken van warmteopslag en warmtepompen, is nog beperkt. Voor de glastuinbouw zijn in deze studie geen gedetailleerde bedrijfscases uitgewerkt, maar worden de eigenschappen van de technologieën op hoofdlijnen vergeleken.

De glastuinbouw is een grote elektriciteitsproducent en de verkoop van elektriciteit is een belangrijke inkomstenbron voor de sector. Vanaf 2004 is de aardgasinzet in WKK-gasmotoren sterk toegenomen. Deze ontwikkeling heeft de energiebesparing sterk verhoogd, maar ook tot

hogere CO₂-emissies buiten het ETS geleid. Deze emissies gaan waarschijnlijk onder een CO₂-sectorsysteem voor de glastuinbouw vallen. De emissieruimte voor dit systeem voor de periode na 2012 is nog niet vastgesteld. Gebruik van warmtepompen is een manier om de glastuinbouw minder afhankelijk te maken van aardgas en de productie te verduurzamen. De ontwikkeling van semi-gesloten kassen is tot nu toe achtergebleven bij de verwachtingen en is bemoeilijkt door de concurrentie van warmte-opwekking met WKK.

Industrie

De grote energie-intensieve industriebedrijven nemen deel aan het Europese emissiehandelssysteem (ETS). Deze studie richt zich alleen op de invulling van de warmtevraag bij industriebedrijven die te klein zijn om deel te nemen aan het ETS. Voor de industrie worden geen gedetailleerde bedrijfscases gekarakteriseerd, maar worden de eigenschappen van de technologieën voor warmteopwekking op hoofdlijnen met elkaar vergeleken.

Anders dan in de gebouwde omgeving en in de glastuinbouw zijn warmtepompen geen algemeen toepasbaar alternatief voor de warmtevoorziening vanwege beperkingen aan de mogelijke temperatuurlift. Er zijn wel toepassingsmogelijkheden voor het opwaarderen van restwarmte om energie te besparen. De kleinere WKK-installaties bij niet-ETS bedrijven zijn maar verantwoordelijk voor een beperkt deel van de totale industriële emissies. Voor de bedrijven die deelnemen aan de Meerjarenaafspraken energie-efficiency 2001-2020 (MJA3) gaat het om ongeveer 0,8 Mton. Deze WKK draagt bij aan de industriële energiebesparing, maar verhoogt ook de niet-ETS emissies van de industrie.

Kosten

Rendabele energiebesparing leidt tot lagere eindverbruikerskosten voor energie en verlaagt ook de nationale kosten. De jaarlijkse kosten van warmtepompsystemen in de dienstensector zijn vaak al lager dan de referentie, mits het utiliteitsgebouw voldoende koelvraag heeft. Semi-gesloten kassen zijn nog in de fase van marktintroductie en worden ondersteund met subsidie. Voor micro-WKK en warmtepompen in de woningbouw geldt dat kostendalingen nodig zijn om ze zonder subsidie interessant te maken voor eindgebruikers. Ook moeten de technische prestaties nog verbeterd worden.

De overheidsinkomsten uit de energiebelasting en de SDE opslag verschillen sterk per technologie. Een toename van (micro-)WKK brengt een afname van de belastinginkomsten met zich mee. Gebruik van warmtepompen leidt juist tot een toename van de belastinginkomsten. Elektriciteit wordt relatief zwaarder belast dan aardgas. Daarnaast is de aardgasinzet van WKK meestal vrijgesteld van energiebelasting.¹⁹ Ook het eigen verbruik van WKK-elektriciteit is dan vrijgesteld.

WKK die niet onder het ETS valt profiteert van hogere elektriciteitsprijzen als gevolg van het doorberekenen van de kosten van emissierechten door ETS-elektriciteitsproducenten. Dit stimuleert extra elektriciteitsproductie buiten het ETS. Dit effect wordt sterker bij hogere CO₂-prijzen.

Aanvullende overwegingen

Bij de afweging om een warmte-opwekkingstechnologie toe te passen of te stimuleren spelen naast emissies, energiegebruik en kosten nog aanvullende overwegingen een rol, zoals:

- Innovatieve nieuwe technologieën kunnen kansen opleveren voor de Nederlandse industrie.
- WKK kan voorzien in de behoefte aan flexibel productievermogen op de elektriciteitsmarkt en zal ook nodig zijn indien het aandeel duurzame electriciteitsopwekking (voornamelijk wind) substantieel toeneemt.

¹⁹ Voorwaarde voor de vrijstelling is dat de WKK-installatie een elektrisch rendement heeft van minimaal 30% en een elektrisch vermogen van tenminste 60 kW. Het is voorgenomen beleid dat de vrijstellingen ook gaan gelden voor de SDE-opslag.

- Toepassing van warmtepompen kan bijdragen aan het aandeel duurzame energie en aan de voorzieningszekerheid. Een grotere afhankelijkheid van aardgas heeft een negatief effect op de voorzieningszekerheid.
- Veranderingen in de gas- en elektriciteitsinfrastructuur kunnen nodig zijn. Warmtepompen passen volgens verschillende toekomstverkenningen beter in een beeld waarin de gebouwde omgeving in de toekomst elektrificeert. WKO kan een rol spelen bij het opvangen van fluctuaties in de elektriciteitsopwekking en het elektriciteitsverbruik. Om een all-electric gebouwde omgeving mogelijk te maken, moeten grote investeringen plaatsvinden in de huidige elektrische infrastructuur. Het overgrote deel van de Nederlandse gebouwen maakt gebruik van zowel gas als elektriciteit. Een gasnetwerk is in staat om tegen geringe kosten een relatief groot vermogen te transporteren.
- De technologieën hebben verschillende effecten op de uitstoot van methaan en NEC-stoffen. WKK-gasmotoren in de glastuinbouw stoten bijvoorbeeld methaan uit en decentrale elektriciteitsopwekking kan de NO_x-uitstoot verhogen.

Referenties

- AgNL (2010): *Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie Update 2010*. AgentschapNL, mei 2010.
- AgNL (2010b): www.energiesubsidiewijzer.nl.
- Bunte, F. (2009): *Ontwikkeling glasareaal 2020*. LEI, den Haag, 2009.
- CBS (2009): *Duurzame Energie in Nederland 2008*. CBS, 2009.
- CBS (2010a): *Hernieuwbare energie in Nederland 2009*. CBS, 2010.
- CBS (2010b): *Statistiek Elektriciteit; productie en productiemiddelen*. CBS, 2010.
- Daniëls, B.W., Farla, J.C.M. (coord.) (2006): *Optiedocument energie en emissies 2010/2020*. ECN en MNP, ECN-C--05-105, Petten, 2006.
- Daniëls, B.W., H.E. Elzenga (coord.) (2010b): *Aanvullende beleidsopties Schoon en Zuinig*. ECN en PBL, ECN-E-10-015, 2010.
- Daniëls, B.W., S. Kruitwagen (coord.) (2010a): *Referentieraming energie en emissies 2010-2020*. ECN en PBL, ECN-E--10-004, 2010.
- Deerns (2007): *Keuzewijzer voor koelinstallaties in de utiliteitsbouw*. Deerns en TNO, maart 2007.
- DSA-Koeling (2010): <http://www.dsa-koeling.nl/>
- ECN (1999): *Warmte- en koudevraagpatronen in de utiliteitsbouw*. ECN, september 1999.
- EVA (2010): *EVA model ECN, input verkregen uit VHK studie voor AgentschapNL (2008) en periodiek bijgewerkt met Home onderzoek en CBS statistiek*.
- GasTerra (2010): <http://www.gasterra.nl/nieuws/Pages/veldtest.aspx>.
- Geelen, C. P. J. M., (2009): *Second Opinion semi gesloten-kassen met warmtekracht en warmtepompsystemen, Optimaal Installatie Ontwerp*. Eindrapport, 80265/CG/090741, BuildDesk Benelux B.V., Arnhem, 2009.
- Goudswaard, P., J. Grift, A. de Jong, E. Koolwijk, S. Schlatmann, P. Steenbergen, M. van Gastel en I. de Visser, G. Hoek (2008): *Warmte en kracht, Warmtekrachtkoppeling: een overzicht en leidraad*. Cogen Projects, Gasterra/ Castel International Publishers, Groningen, 2010.
- Harmsen, R., P. van Breevoort, W. Planje, E.-J. Bakker, P. Wagener (2009): *Energiebesparing- en CO₂-reductiepotentieel hybride lucht/water warmtepomp in de bestaande woningbouw*. Ecofys, TNO, ECN en BDH, 2009.
- Hers, J.S., W. Wetzels (2009): *Onrendabele top berekeningen voor nieuw WKK-vermogen 2009*, ECN-E-08-082, ECN, Petten 2009.
- Hoogwijk, M., K. Klomp, K. Blok, M. van Elburg (2009), *Mogelijkheden voor additioneel beleid apparaten*, Ecofys, 2009.
- Janssen, E.G.O.N., N.R. Bootsvelde, B. Knoll, H.F. de Zwart (2006): *Verbeterde (semi) gesloten kas*. 2005-BCS-R0245, TNO Bouw en Ondergrond, 2006.
- Jong, A. de, M. van Gastel, E.-J. Bakker, H. Jeeninga, J. Dam, H. van Wolferen (2008): *Energie- en CO₂-besparingspotentieel van micro-wkk in Nederland (2010-2030)*. Update 2008, COGEN Projects, ECN, Ecofys en TNO, 2008.

- KEMA (2009): *Bepaling van de bijdrage aan de beleidsdoelstellingen 'Schoon & Zuinig': microWKK in 2020*. KEMA, 2009.
- Koster, S.J., *De rol van ESCO's bij het realiseren van warmtepompsystemen in woningbouwprojecten, Conclusies uit een marktverkenning in opdracht van Agentschap NL*, Q+P Communicatie, Renkum, maart 2011.
- Kroon, P., W. Wetzels (2008): *Onderbouwing actualisatie BEES B, Kosten en effecten van de voorgenomen wijziging van het besluit emissie-eisen stookinstallaties B*. ECN--08-020, 2008.
- MicroWKK (2010): <http://www.microwkk.nl/index.php?id=4084>.
- Ministerie van Financiën (2009): *Beleidsinformatie 2010*. www.minfin.nl/ejb2010.
- MiniWKK (2010): <http://www.miniwkk.info>.
- moBius (2009): *Bepaling aantal utiliteitsgebouwen in Nederland*. moBius Consult, juni 2009.
- moBius (2009): *Bepaling aantal utiliteitsgebouwen in Nederland*. moBius Consult, juni 2009.
- NVOE (2010): <http://www.nvoe.nl/Page/sp5793/ml1/Index.html>.
- PRC (2010): *Actualisatie investeringskosten maatregelen EPA-maatwerkadvies bestaande woningbouw 2010*. PRC Kostenmanagement, mei 2010.
- Ruijs, M.N.A., J.K. Nienhuis, R.W. van der Meer (2007): *Financiële stimulering van (semi-)gesloten kassystemen gewenst?* LEI, Den Haag, 2007.
- Save services (2010), SAVE-S ECN.
- SenterNovem (2008): *Marktstudie warmtepompen in de bestaande bouw*. SenterNovem, oktober 2008.
- SenterNovem (2010): http://senternovem.databank.nl/Default.aspx?cat_open=utiliteitsbouw.
- SenterNovem (2010b): <http://www.senternovem.nl/kompas/energiecijfers/woningbouw.asp>.
- SenterNovem(2010c): http://www.senternovem.nl/duurzamewarmte/subsidie-informatie/stand_van_zaken.asp.
- Smit, P.X., N.J.A. van der Velden (2008): *Energiebenutting warmtekrachtkoppeling in de Nederlandse glastuinbouw*. LEI, den Haag.
- Spoelstra, S. (2009): *Hoe kansrijk zijn warmtepompen in de Nederlandse procesindustrie?* ECN-V--09-023, ECN, Petten, 2009.
- Te Buck, S., B. van Keulen, L. Bosselaar, T. Gerlagh (2010): *Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie*. Update 2010, Agentschap NL, 2010.
- TNO (2003): *Passief Koelen met lage temperatuur-verwarmingssystemen*. TNO Bouw, 2003.
- Velden, N.J.A. van der (2008): *Effecten stijgende energieprijzen voor de Nederlandse glastuinbouw*. LEI, den Haag.
- Velden, N.J.A. van der, P.X. Smit (2007): *Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2000-2006*. LEI, den Haag.
- Velden, N.J.A. van der, P.X. Smit (2009): *Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2008, 2009-092*. LEI, den Haag, 2009.
- Wetzels, W., B.W. Daniëls, A.J. Seebregts (2009): *WKK-potentieel in de chemische industrie*. ECN-E--09-064, ECN, Petten, 2009.
- Weiss, M. (2009), *Learning in Carbon Accounting and Energy Efficiency*, Proefschrift Universiteit Utrecht, 2009.