



Energy research Centre of the Netherlands

Hernieuwbare warmte in de SDE+-regeling

M. Mozaffarian (ECN)

J.A. Wassenaar (KEMA)

S.M. Lensink (ECN)

ECN-E--11-035

Mei 2011



Verantwoording

Dit rapport is geschreven door ECN in samenwerking met KEMA en in opdracht van het Ministerie van EL&I. Het onderzoek staat geregistreerd onder projectnummer 5.1123.04.01. Contactpersoon voor het project is Sander Lensink (lensink@ecn.nl).

Aan het onderzoek is tevens meegewerkt door Edward Pfeiffer (KEMA), Luuk Beurskens, Bert Daniëls, Paul Lako, Koen Smekens en Wouter Wetzels (ECN). De auteurs danken hen voor hun inbreng.

Abstract

This report gives advice on the inclusion of renewable heat in the existing SDE feed-in premium scheme. The premium structure, in which the actual payment is corrected for the market price of the renewable product (such as electricity or biomethane), is also applicable to renewable heat. The market price for renewable heat can be a derivative of the gas price on the assumption that natural gas use is avoided by the renewable heat installation. With a distinction into a few categories (max. 10), the SDE can offer an effective and efficient support for new installation for renewable heat.

Inhoud

Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	5
Samenvatting	7
1. Inleiding	9
2. Aanpak	10
2.1 Opdracht	10
2.2 Randvoorwaarden	10
2.3 Proces	11
3. Hernieuwbare warmte en de SDE+ regeling	12
3.1 Inleiding	12
3.2 Interactie tussen en gevolgen voor hernieuwbare warmte in relatie tot hernieuwbare elektriciteit en groen gas	12
3.2.1 Interactie hernieuwbare warmte en hernieuwbare elektriciteit	12
3.2.2 Interactie hernieuwbare warmte en groen gas	13
3.3 Mogelijkheden om in een later stadium werkbare categorieën te identificeren voor hernieuwbare warmte	13
3.4 De invloed van vollaasturen warmte op het basisbedrag	15
3.5 Inschatting van de mogelijkheid om correctiebedragen te kunnen vaststellen voor hernieuwbare warmteprojecten	16
3.6 Eigen gebruik van hernieuwbare warmte	16
3.7 Locatie van meten van hernieuwbare-warmteproductie en eigen verbruik	16
3.8 Directe subsidiëring van het gebruik van restwarmte bij hernieuwbare elektriciteitsproductie	17
4. Berekeningswijze voor jaarlijks uit te keren vergoeding voor hernieuwbare warmte	19
4.1 Stoomturbine-WKK	20
4.2 Gasmotor-WKK	25
4.3 Kwalitatieve beoordeling van de opties voor het bepalen van basis- en correctiebedragen	29
5. Hernieuwbare warmteopties	31
5.1 Inleiding	31
5.2 Bruto eindverbruik methode voor het berekenen van hernieuwbare energie	31
5.2.1 Vergisten van biomassa	32
5.2.2 Overige biomassaverbranding in stationaire installaties	32
5.2.3 Afvalverbrandingsinstallaties	32
5.2.4 Geothermie (diepe bodemenergie)	32
5.2.5 Bodem energie:open bronnen	33
5.3 Stoomturbine bio-WKK	33
5.4 Gasmotor bio-WKK	34
5.5 Ketel met ruw biogas als brandstof	35
5.6 Ketel met bio-olie (dierlijk) als brandstof	36
5.7 Ketel met vaste biomassa als brandstof	37
5.8 Stoomketel op biomassa voor industrie	37
5.9 Warmtebenutting bij AVI's	38
5.10 Diepe geothermie	39
5.10.1 Glastuinbouw	39
5.10.2 Groeneweideafstandsverwarming	40
5.10.3 Bestaande afstandverwarming	42

5.11	Warmte-koudeopslag in de glastuinbouw	44
5.12	Potentieel van hernieuwbare warmte in Nederland	45
5.12.1	Inleiding	45
5.12.2	Warmtevraag per sector	45
5.12.3	Conclusies	46
6.	Conclusies en aanbevelingen	47
	Afkortingen	49
	Referenties	50

Lijst van tabellen

Tabel S.1	<i>Het vastgestelde basisbedrag per technologie voor elektriciteit en groen gas (SDE+ 2011) versus het indicatieve basisbedrag per technologie voor warmte</i>	8
Tabel 3.1	<i>Conversierendementen van ruw biogas (indicatief)</i>	13
Tabel 4.1	<i>Technisch-economische parameters thermische conversie van vaste biomassa</i>	21
Tabel 4.2	<i>Technisch-economische parameters mestcovergisting</i>	25
Tabel 4.3	<i>Kwalitatieve beoordeling van de opties voor het bepalen van basis- en correctiebedragen bij bio-WKK-installaties</i>	30
Tabel 5.1	<i>Technisch-economische data stoomturbine bio-WKK met vaste biomassa als brandstof</i>	34
Tabel 5.2	<i>Technisch-economische data gasmotor bio-WKK op basis van mestcovergisting</i>	35
Tabel 5.3	<i>Technisch-economische data hulpwarmteketel met ruw biogas als brandstof</i>	36
Tabel 5.4	<i>Technisch-economische data ketel met dierlijke bio-olie als brandstof</i>	36
Tabel 5.5	<i>Technisch-economische data ketel met vaste biomassa als brandstof</i>	37
Tabel 5.6	<i>Technisch-economische data stoomketel voor industrie</i>	38
Tabel 5.7	<i>Kengetallen parameters voor geothermische warmte in de glastuinbouw</i>	40
Tabel 5.8	<i>Totale projectkosten geothermische warmte in de glastuinbouw</i>	40
Tabel 5.9	<i>Technisch-economische data voor geothermische warmte in de glastuinbouw</i>	40
Tabel 5.10	<i>Kengetallen parameters voor geothermische warmte bij groeneweide-afstandsverwarming</i>	41
Tabel 5.11	<i>Totale projectkosten geothermische warmte bij groeneweide-afstandsverwarming</i>	41
Tabel 5.12	<i>Technisch-economische data geothermische warmte - groene weide afstandsverwarming</i>	42
Tabel 5.13	<i>Kengetallen parameters voor geothermische warmte bij bestaande afstandsverwarming</i>	43
Tabel 5.14	<i>Totale projectkosten geothermische warmte bij bestaande afstandsverwarming</i>	43
Tabel 5.15	<i>Technisch-economische data geothermische warmte bij bestaande afstandsverwarming</i>	43
Tabel 5.16	<i>Potentieel van hernieuwbare warmteopties in 2020</i>	45
Tabel 5.17	<i>Hernieuwbare warmtepotentieel versus huidige warmtevraag in relevante sectoren</i>	46
Tabel 6.1	<i>Het vastgestelde basisbedrag per technologie voor hernieuwbare elektriciteit en groen gas (SDE+ 2011) versus het indicatieve basisbedrag per technologie voor hernieuwbare warmte (SDE+ 2012)</i>	47

Lijst van figuren

Figuur 3.1	<i>Relatie tussen hernieuwbare elektriciteit en hernieuwbare warmte bij een gasmotor</i>	12
Figuur 3.2	<i>Relatie tussen hernieuwbare elektriciteit en hernieuwbare warmte bij een stoomturbine (SV: stadsverwarming; PS: processtoom)</i>	12
Figuur 3.3	<i>Schematische weergave van de rendementsverliezen bij verschillende toepassingen van biogas (indicatief)</i>	13
Figuur 4.1	<i>Jaarlijkse productie van elektriciteit en warmte bij thermische conversie van vaste biomassa als functie van vollasturen warmte</i>	22
Figuur 4.2	<i>Basisbedrag, correctiebedrag en de onrendabele top bij thermische conversie van vaste biomassa als functie van vollasturen warmte (links: 1 correctiebedrag, rechts: 2 correctiebedragen)</i>	23

Figuur 4.3	<i>Jaarlijkse SDE-vergoeding bij thermische conversie van vaste biomassa als functie van vollasturen warmte (links: 1 correctiebedrag, rechts: 2 correctiebedragen)</i>	24
Figuur 4.4	<i>Jaarlijkse productie van elektriciteit en warmte bij mestcovergisting als functie van vollasturen warmte</i>	26
Figuur 4.5	<i>Basisbedrag, correctiebedrag en de onrendabele top bij mestcovergisting als functie van vollasturen warmte (links: 1 correctiebedrag, rechts: 2 correctiebedragen)</i>	27
Figuur 4.6	<i>Jaarlijkse SDE-vergoeding bij mestcovergisting als functie van vollasturen warmte (links: 1 correctiebedrag, rechts: 2 correctiebedragen)</i>	28

Samenvatting

Het Ministerie van EL&I heeft bij de aankondiging van de SDE+ regeling gemeld dat deze regeling zo wordt ingericht, dat het doel voor hernieuwbare energie van 14% in 2020 op een zo kosteneffectieve wijze wordt bereikt. Daartoe streeft het Ministerie naar het ondersteunen van hernieuwbare warmte via de SDE+ regeling, waarbij een zo eenduidig mogelijke systematiek wordt toegepast, analoog aan de ondersteuning van hernieuwbare elektriciteit en groen gas. Ter ondersteuning van de vormgeving van de SDE+ regeling heeft het Ministerie advies gevraagd aan ECN/KEMA rondom de vraag of een generieke exploitatiesubsidie als de SDE+ geëigend is om een groot potentieel aan hernieuwbare-warmteprojecten te realiseren.

Het onderzoek is uitgevoerd in de maanden februari tot en met mei 2011. Verslaglegging van het onderzoek door ECN/KEMA en het schrijven van het voorstel tot aanpassing van het Besluit SDE door het Ministerie zijn deels parallel uitgevoerd. Feitenonderzoek is, binnen deze tijdsplanning, hoofdzakelijk beperkt gebleven tot het benutten van intern beschikbare kennis bij ECN/KEMA. Daarenboven zijn de conceptuele conclusies met enkele marktpartijen besproken. Mogelijk zou een diepgravend marktonderzoek tot enige bijschaving kunnen leiden van de conclusies die in het rapport getrokken worden.

In het rapport worden indicatieve kostprijzen of basisbedragen genoemd. Deze indicaties zijn berekend op basis van algemene kentallen, zonder verificatie in de praktijk. In de adviezen voor de basisbedragen SDE+ 2012 zijn nadere berekeningen uitgevoerd, inclusief marktconsultatie. Waar cijfers verschillen tussen dit rapport en de adviezen voor de basisbedragen, zijn de adviezen voor de basisbedragen leidend.

Veel initiatieven om hernieuwbare warmte af te zetten, kunnen effectief ondersteund worden via een generieke regeling met een exploitatievergoeding zoals de SDE+. Zo komen ECN/KEMA in dit rapport tot de conclusie dat veel initiatieven te clusteren zijn in generieke categorieën die bij de SDE-regeling gebruikelijk zijn. Bij een indeling in een beperkt aantal categorieën (<10) kan voor elke categorie een basisbedrag bepaald worden op een niveau dat effectieve ondersteuning geboden wordt, zonder veel overstimulering te bieden. In gesprekken met marktpartijen is gebleken dat het toepassen van de premiestructuur als vanzelfsprekende constructie gezien wordt. In dit rapport worden ook keuzes voorgelegd om een correctiebedrag te bepalen. Door gebrek aan een marktindex voor de prijs van warmte, dient het correctiebedrag op basis van een afgeleide index berekend te worden. Voorgesteld wordt om het correctiebedrag voor warmte, met enige afslagen, te baseren op de gasprijs. Dit is in analogie met het niet-meer-dan-anders-principe dat ook in de praktijk bij warmteprojecten wel wordt toegepast. De exacte vertaalslag van gasprijs naar correctiebedrag is in dit rapport echter niet onderzocht.

Tabel S.1 presenteert het overzicht van openstelling in fasen van SDE+ 2011 met vastgesteld basisbedrag per technologie voor hernieuwbare elektriciteit en groen gas (Openstelling SDE+ 2011, 2011)¹, versus het indicatieve basisbedrag per technologie voor hernieuwbare warmte (SDE+ 2012). Voor alle 100% hernieuwbare warmteopties, met uitzondering van ketel met (dierlijke) bio-olie als brandstof, liggen de indicatieve basisbedragen lager dan 9 ct/kWh_{th}. In 2011 is de SDE+ gestart met een gefaseerde openstelling, waarbij alle opties die een lager basisbedrag hebben dan 9 ct/kWh_{th}, in de eerste fase kunnen indienen. Als in volgende jaren dezelfde fasering gehanteerd wordt, zullen veel hernieuwbare warmteopties in de eerste fase van openstelling al een SDE+ vergoeding kunnen aanvragen.

¹ In 2011 worden vier fasen opengesteld. In de eerste fase kunnen projecten met een basisbedrag dat lager of gelijk is aan 9 ct/kWh subsidie aanvragen. In elke opeenvolgende fase gaat deze bovengrens - bij voldoende resterend budget - een stap omhoog, tot het maximum basisbedrag van 15 ct/kWh in de vierde fase.

Tabel S.1 *Het vastgestelde basisbedrag per technologie voor elektriciteit en groen gas (SDE+ 2011) versus het indicatieve basisbedrag per technologie voor warmte*

Fase	I	II	III	IV
Maximum basisbedrag per fase: elektriciteit	9 ct/kWh	11 ct/kWh	13 ct/kWh	15 ct/kWh
Maximum basisbedrag per fase: groen gas	62 ct/Nm ³	76 ct/Nm ³	90 ct/Nm ³	104 ct/Nm ³
Openstelling	1 juli 2011	1 september 2011	1 november 2011	1 december 2011
Basisbedrag per technologie (SDE+ 2011)	RWZI, AWZI en stortgas (electriciteit/ groen gas/ groengashub) (resp. 6,0 ct/kWh / 28,8 ct/Nm ³ / 17,0 ct/Nm ³)			
	AVI's (6,2 ct/kWh)			
	Waterkracht ≥ 5m (7,1 ct/kWh)			
	Allesvergisting groen gas hub (57,9 ct/Nm ³)			
	Vrije categorie (9 ct/kWh) (62 ct/Nm ³)	Wind op land (9,6 ct/kWh)		
		Allesvergisting (electriciteit met benutting warmte / groen gas) (resp. 9,6 ct/kWh / 63,7 ct/Nm ³)		
		Mestvergisting groen gas hub (71,3 ct/Nm ³)		
		Vrije categorie (11 ct/kWh) (76 ct/Nm ³)	Biomassa thermische conversie >10 MW (12,2 ct/kWh)	
			Waterkracht < 5m (12,2 ct/kWh)	
			Mestcovergisting groen gas (76,7 ct/Nm ³)	
			Vrije categorie (13 ct/kWh) (90 ct/Nm ³)	Mestcovergisting elektriciteit met benutting warmte (13,2 ct/kWh)
				Vrije categorie (15 ct/kWh) (104 ct/Nm ³)
	Basisbedrag per technologie hernieuwbare warmte (SDE+ 2012)	Diepe geothermie: glastuinbouw, groeneweideafstandsverwarming, bestaande afstandsverwarming (resp. 3,6 ct/kWh _{th} / 4,1 ct/kWh _{th} / 3,3 ct/kWh _{th})		
Ketel met biogas als brandstof (3,7 ct/kWh _{th})				
Ketel met vaste biomassa als brandstof met 8000 vollasturen (5,8 ct/kWh _{th})				
Stoomketel voor industrie (6,1 ct/kWh _{th})				
Ketel met vaste biomassa als brandstof met 2750 vollasturen (7,5 ct/kWh _{th})				
		Bio-WKK (stoomturbine): (11,0 ct/kWh _{th})		
			Ketel met bio-olie (dierlijk) als brandstof (12,2 ct/kWh _{th})	
				Bio-WKK (gasmotor) mestcovergisting (16,1 ct/kWh _{th})

De vraag naar warmte (175 PJ) is beduidend groter dan het potentieel voor hernieuwbare warmte tot 2020 (62 PJ) in de voor deze rapportage relevante sectoren. Tot 2015 zal ook nog rekening gehouden dienen te worden met een geleidelijke ingroei van initiatieven in de projectenpijplijn. De verwachting is dat veel projecten voor hernieuwbare warmte in de eerste fase (<9 ct/kWh) de SDE-beschikking zullen kunnen aanvragen. Andere opties (hernieuwbare elektriciteit en groen gas) kunnen daardoor aanmerkelijke concurrentie krijgen van hernieuwbare warmte.

1. Inleiding

Warmte draagt bij aan de Nederlandse hernieuwbare energie doelstelling van 14 procent in 2020. Daarnaast bieden hernieuwbare warmteopties de mogelijkheid om de doelstelling kosteneffectiever te halen. Voor betere benutting van hernieuwbare warmte is het van belang om de mogelijkheden voor kosteneffectieve categorieën in de SDE+ regeling uit te breiden.

De huidige SDE is gericht op het stimuleren van hernieuwbare elektriciteit en groen gas. Alleen de nuttige aanwending van restwarmte die vrijkomt bij elektriciteitsopwekking bij biomassa wordt indirect gestimuleerd via de zogenaamde warmtestaffel. Daarnaast wordt warmtelevering bij AVI's gesubsidieerd door het 'AVI-rendement' dat gedefinieerd is in de Regeling Garanties van Oorsprong (GO) voor hernieuwbare elektriciteit. De warmtestaffel zit niet op alle categorieën (de categorieën overige vergisting en AVI's kennen geen warmtestaffel, maar AVI's wel een rendementsstaffel waarbij het rendement afhankelijk is van de benutte warmte) en niet alle aanwending van hernieuwbare warmte is in de SDE 'nuttig'². Om hernieuwbare warmteopties op eenzelfde manier als hernieuwbare elektriciteit en groen gas te kunnen stimuleren moet het besluit Stimulering Duurzame Energieproductie worden aangepast.

Het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) heeft ECN en KEMA opdracht gegeven om:

- Ten eerste een methode uit te werken om met behulp van basisbedragen, basisenergieprijs en correctiebedragen de jaarlijks uit te keren SDE+ vergoeding voor de kosteneffectieve³ hernieuwbare warmteopties te berekenen.
- Ten tweede een overzicht te geven van mogelijke (toekomstige) hernieuwbare warmte-categorieën in de SDE+, die kosteneffectief en goed af te bakenen zijn in de SDE+ regeling 2012.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat de kaders van het onderzoek van ECN/KEMA, waarin wordt aangeven hoe de onderzoeksopdracht luidde. In Hoofdstuk 3 wordt de algemene integratie van hernieuwbare warmte in de SDE+ behandeld, met de risico's en knelpunten. In Hoofdstuk 4 worden de mogelijkheden onderzocht om via de structuur van basisbedragen en correctiebedragen tot een effectieve en efficiënte uitbetaling te komen. Indicatieve basisbedragen voor geïdentificeerde mogelijke categorieën worden getoond in Hoofdstuk 5. In Hoofdstuk 6 wordt een en ander samengevat in korte conclusies.

² In de GvO-regeling wordt de lijst met nuttige toepassing van warmte aangepast aan de Europese definitie.

³ Onder kosteneffectief worden opties verstaan met een basisbedrag van minder dan 15 ct/kWh.

2. Aanpak

2.1 Opdracht

De opdracht bestaat uit twee delen met twee afzonderlijke interim rapportages. Dit rapport geeft integraal de resultaten weer van deze deelopdrachten.

In het eerste deel van de opdracht is de methode uitgewerkt om met behulp van basisbedragen, basisenergieprijs en correctiebedragen de jaarlijks uit te keren SDE+ vergoeding te berekenen. De vergoeding wordt daarbij bepaald op grond van de hernieuwbare warmte die meetelt voor de doelstelling en de hoogte van de relevante energieprijs. Hierbij worden ook neveneffecten, mogelijke knelpunten en oplossingen op die knelpunten in kaart gebracht. Verder komen in deel 1 van de rapportage aan de orde:

- De interactie tussen en gevolgen voor hernieuwbare warmte in relatie tot hernieuwbare elektriciteit en in relatie tot groen gas (zoals het effect van een subsidie op de ontwikkelingen van bio-WKK's ten opzichte van bioketels).
- Een inschatting van de mogelijkheid om in een later stadium werkbare categorieën te identificeren voor hernieuwbare warmte.
- Een inschatting van de mogelijkheid om correctiebedragen te kunnen vaststellen voor hernieuwbare-warmteprojecten.
- Eigen gebruik van hernieuwbare warmte: de perverse prikkels die het stimuleren van eigen gebruik kan opleveren en onder welke omstandigheden perverse prikkels zich voordoen;
- Locatie van meten van hernieuwbare-warmteproductie en eigen verbruik.
- Beschrijving van hoe het gebruik van restwarmte bij hernieuwbare-elektriciteitsproductie direct kan worden gesubsidieerd. Uitgangspunt daarbij is dat de warmtestaafel kan verdwijnen, mits uitvoerbaar.

In het tweede deel van de opdracht is een beknopte analyse van het subsidiëren van de kosteneffectieve hernieuwbare warmteopties in de (toekomstige) hernieuwbare warmte categorieën in de SDE+ gegeven. Ook wordt een opsomming gegeven van kosteneffectieve en goed afgebakende hernieuwbare-warmtecategorieën, waarbinnen de warmteopties geclusterd kunnen worden, in de SDE+ regeling 2012. Per categorie wordt aangegeven:

- De referentie-installatie.
- Een eerste indicatie van het basisbedrag, waarbij de inschatting van de kosten later aangescherpt kan worden in het kader van de advisering over de basisbedragen.
- Knelpunten, risico's en neveneffecten.
- Een raming van het potentieel op korte termijn (tot 2015) en langere termijn (tot 2020).

2.2 Randvoorwaarden

Voor de gehele opdracht heeft EL&I enkele randvoorwaarden meegegeven. Deze zijn:

- Aangesloten wordt bij de Europese doelstelling en definities conform de Europese Richtlijn Hernieuwbare Energie.
- Aangesloten wordt bij de lijst met nuttige toepassing van warmte die voor de SDE+ regeling 2011 wordt aangepast conform de Europese definitie.
- Aangesloten wordt, voor zover mogelijk, bij de hoofdlijnen en basisveronderstellingen die bij hernieuwbare elektriciteit en groen gas worden gebruikt (zoals toegestane hernieuwbare-biomassastromen).
- Onderzocht worden in ieder geval de volgende hernieuwbare warmteopties:
 - Warmte-koudeopslag in de landbouw.
 - Warmtebenutting bij AVI's.

- Biomassa/ biogas in ketels in landbouw en industrie.
- Biomassa/ biogas in WKK in landbouw en industrie.
- Diepe geothermie.
- Andere kosteneffectieve opties met een (groot) instrumenteerbaar potentieel.
- Rekening wordt gehouden met een minimale schaalgrootte (grote en middelgrote installaties, indicatieve ondergrens 5-10 MW_{th}).
- Technieken binnen de hernieuwbare-warmtecategorieën worden duidelijk afgebakend.
- De kosteneffectiefste hernieuwbare warmteopties in de SDE+ krijgen een eigen basisbedrag van maximaal 15 €/kWh_{th}, de rest komt in aanmerking voor de vrije categorie.
- Strategisch gedrag in keuze voor hernieuwbare elektriciteit, groen gas en hernieuwbare warmte wordt beperkt.
- Dezelfde langetermijnprijzen voor elektriciteit, gas en CO₂ worden gebruikt als bij hernieuwbare elektriciteit⁴.
- De prikkel wordt gegeven om zo energetisch efficiënt mogelijk te produceren (maximaliseren van totaal aan opgewekte elektriciteit en hernieuwbare warmte).
- De hernieuwbare warmteopties voldoen aan de bestaande wet- en regelgeving, bijvoorbeeld ten aanzien van emissies.
- Het risico op overstimulering wordt geminimaliseerd.
- De stimulering wordt net als bij groen gas gericht op het wegnemen van de onrendabele top bij de productie van nuttig bruikbare hernieuwbare warmte, inclusief de kosten die moeten worden gemaakt om aan het distributienet te leveren (ontsluitingskosten), doch exclusief de kosten voor investeringen in het distributienet zelf (zoals het aanleggen van een nieuw warmtenetwerk).
- Rekening wordt gehouden met bestaande stimuleringsregelingen zoals EIA, groenfinanciering en vrijstelling Energiebelasting.
- De administratieve lasten worden zoveel mogelijk beperkt.
- De voorgestelde aanpak is juridisch houdbaar.
- De systematiek moet uitvoerbaar zijn (waarbij ook de personeelslasten voor Agentschap NL en CertiQ beschouwd worden).

2.3 Proces

Bij de uitvoering van deze opdracht hebben KEMA en ECN samengewerkt. Met Agentschap NL is frequent overleg gevoerd, met een nadruk op uitvoeringstechnische vragen, administratieve lasten en juridische houdbaarheid. De beleidsvragen zijn in een wekelijks overleg met EL&I besproken. ECN is verantwoordelijk voor de organisatie van interactie.

Nadat de opdracht voltooid is, zullen ECN/KEMA gaan werken aan de berekeningen van de onrendabele top van de diverse hernieuwbare-warmtecategorieën. De opdracht voor de advisering over de basisbedragen in de SDE+ regeling 2012 zal aangepast worden aan de uitkomsten van deze rapportage.

Het onderzoeksresultaat wordt in het kader van de review op het advies over de basisbedragen door EL&I voor review aan Fraunhofer voorgelegd.

⁴ D.w.z. 6,2 €/kWh_e en 22 €/Nm³ (Lensink *et al.*, 2010), resp. 25 €/ton (Daniëls *et al.*, 2010b).

3. Hernieuwbare warmte en de SDE+ regeling

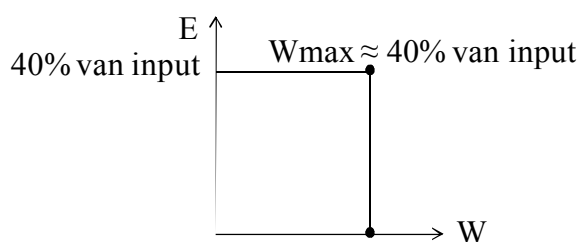
3.1 Inleiding

In Hoofdstukken 3 en 4 wordt een methode uitgewerkt om met behulp van basisbedragen, basisenergieprijs en correctiebedragen de jaarlijks uit te keren subsidie voor hernieuwbare warmteopties te berekenen. De subsidie wordt daarbij bepaald op grond van de hernieuwbare warmte die meetelt voor de doelstelling en de hoogte van de relevante energieprijs. Hierbij worden ook neveneffecten, mogelijke knelpunten en oplossingen voor die knelpunten in kaart gebracht.

3.2 Interactie tussen en gevolgen voor hernieuwbare warmte in relatie tot hernieuwbare elektriciteit en groen gas

3.2.1 Interactie hernieuwbare warmte en hernieuwbare elektriciteit

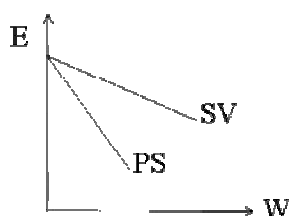
Voor een evaluatie van de interactie tussen hernieuwbare warmte en elektriciteit wordt in deze paragraaf de relatie tussen warmteafzet en elektriciteitsproductie uiteengezet. Daarbij dient primair onderscheid gemaakt te worden tussen een gasmotor en een stoomturbine. Een gasmotor heeft een vast elektrisch rendement ongeacht de mate van warmtelevering. Daarnaast is het mogelijk om de vrij gekomen warmte, tot een maximum waarde, nuttig in te zetten, zie Figuur 3.1



Gasmotor

Figuur 3.1 Relatie tussen hernieuwbare elektriciteit en hernieuwbare warmte bij een gasmotor

Voor een stoomturbine is het elektrische rendement afhankelijk van zowel de hoeveelheid als de kwaliteit (toepassing van stoom voor stadsverwarming of als processtoom) van de afgetapte stoom. Met andere woorden, er is sprake van derving van elektriciteit ten gevolge van warmteafzet, zie Figuur 3.2.

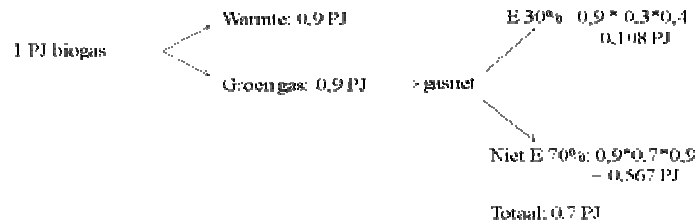


Stoomturbine

Figuur 3.2 Relatie tussen hernieuwbare elektriciteit en hernieuwbare warmte bij een stoomturbine (SV: stadsverwarming; PS: processtoom)

3.2.2 Interactie hernieuwbare warmte en groen gas

Ruw biogas kan gebruikt worden om groen gas te maken, maar het kan ook ingezet worden voor het (eventueel in combinatie) genereren van warmte en elektriciteit. De omzetting van ruw biogas is het efficiëntst bij directe omzetting naar warmte, met een typisch rendement van 90%. Bij warmtebenutting na de conversie naar groen gas is de efficiëntie lager, aangezien groen gas nog een tussenproduct is waarbij extra rendementsverlies optreedt in eindtoepassing (E of Niet E).



Figuur 3.3 Schematische weergave van de rendementsverliezen bij verschillende toepassingen van biogas (indicatief)

Hoe groengasinjectie in het aardgasnetwerk statistisch geboekt gaat worden ten behoeve van de Europese richtlijn is nog niet vastgelegd. Bij een verdeling conform de inzet van aardgas zal de generieke conversie van biogas naar finaal-energiegebruik ca. 67,5% bedragen, zie Figuur 3.3 en Tabel 3.1. Bij direct gebruik van biogas in vervoer bedraagt het rendement 80%, al is het niet duidelijk hoe dat statistisch afgehandeld zal worden.

Tabel 3.1 Conversierendementen van ruw biogas (indicatief)

	Conversierendement (indicatief) [%]	Aandeel aardgas naar sector (indicatief) [%]
Ruw biogas naar warmte	90	-
Ruw biogas naar groen gas	90	-
Ruw biogas naar elektriciteit	35	-
Parkrendement elektriciteit	40	-
Aandeel aardgas naar elektriciteit	-	30
Aandeel aardgas naar niet-elektriciteit	-	70

3.3 Mogelijkheden om in een later stadium werkbare categorieën te identificeren voor hernieuwbare warmte

Warmte wordt in tegenstelling tot elektriciteit en gas niet op een centraal net ingevoerd en op een groothandelsmarkt verhandeld. De warmtelevering van een warmteproductie installatie is geheel afhankelijk van de vraag van de aangesloten afnemers. De warmteprijs wordt overeengekomen in één-op-één-contracten tussen warmteproducent en warmteafnemer, waarbij over het algemeen het niet-meer-dan-anders-principe wordt gehanteerd. Van een indirecte koppeling met de aardgasprijs is dus wel sprake.

De hoeveelheid warmtelevering wordt gekenmerkt door de volgende vier factoren:

- Maximale warmtevraag in kW_{th} of MW_{th} .
- Aantal vollasturen warmtelevering per jaar.
- Temperatuur waarop de warmtelevering plaats dient te vinden.
- Afstand tussen warmtevraag en warmteproducent/warmteverliezen.

De maximale warmtevraag is project specifiek en is afhankelijk van de vraag van de aangesloten afnemers. De maximale thermische warmtevraag beïnvloedt direct de schaalgrootte van de productie-installatie en daarmee de in te zetten duurzame-warmtetechniek.

Kenmerkend voor de aard van warmtelevering is het aantal vollasturen per jaar. Zo is het aantal vollasturen warmtelevering relatief klein bij ruimteverwarming waar sprake is van grote warmtevraag in de winter en een geringe warmtevraag in de zomer.

Warmtelevering voor ruimteverwarming fluctueert bovendien van jaar tot jaar. De vraag naar warmte in bijvoorbeeld een stadsverwarmingnet is afhankelijk van jaargemiddelde temperatuur (vaak uitgedrukt in graaddagen per jaar). Een jaar met een strenge winter kan gevolgd worden door een zachte winter waardoor de warmtelevering in het betreffende kalenderjaar een stuk lager kan liggen. Deze variaties kunnen invloed hebben op de jaarlijkse hoeveelheid vollasturen warmtelevering van de warmteproductie-installatie. Een groot aantal vollasturen treedt op bij warmtelevering in de industrie die veelal in basislast plaatsvindt en minder afhankelijk is van seizoensvariaties. Als de warmteproductie-installatie onderdeel uitmaakt van een groot warmteproductiepark, kunnen echter de vollasturen warmtelevering worden verhoogd door de productie-installatie in te zetten voor de levering van (een deel van) de basislast. Seizoensfluctuaties zullen in dit geval een stuk kleiner uitvallen. De mate van afhankelijkheid van de warmteproductie-installatie van seizoensvariaties zal een effect hebben op de voorspelbaarheid van de jaarlijks uit te keren SDE+ vergoedingen.

De temperatuur van de warmtelevering is project specifiek. Grofweg kunnen drie categorieën onderscheiden worden:

- 1) Levering van stoom aan de industrie. De druk van stoomnetten in de industrie ligt tussen 6 bar en de 40 bar, overeenkomend met een temperatuurniveau tussen de 150 en 250 °C.
- 2) Levering van warmte ten behoeve van ruimteverwarming: stadsverwarmingsnetten opereren op een temperatuur tussen de 90 en 120 °C.
- 3) Levering van laagwaardige warmte aan lage temperatuurnetten van ca. 40 °C.

De afstand tussen warmtevraag en de warmteproductie is ook projectspecifiek. Wel zijn duidelijke referentiecategorieën te definiëren. Bijvoorbeeld bij warmteopwekking in de industrie naast een bestaand ketelhuis blijven de investeringen in transport en distributiesystemen zeer beperkt. Wanneer langere afstanden overbrugd dienen te worden kunnen de investeringen in uitkoppeling en eventuele transportleidingen voor referentiesituaties worden berekend. Deze methodiek sluit aan bij de methodiek die toegepast is in de huidige SDE regeling voor de groen gas hub waarbij een kostenpost is opgenomen voor ruw biogasleidingen.

Warmteleveringsprojecten kunnen gekarakteriseerd worden aan de hand van projectspecifieke kenmerken. Op basis van kenmerken die overeenkomen zijn referentie-installaties te definiëren. Typische kenmerken worden dan gebundeld tot één referentie-installatie: bijvoorbeeld stoomlevering op hoge temperatuur in de industrie met een hoog aantal vollasturen. Op het gebied van biomassa inzet kan aansluiting worden gezocht bij de huidige indeling van categorieën van hernieuwbare elektriciteitsopwekking en groen gas productie. De levering van enkel warmte is nieuw en er is nog beperkt zicht op welke projecten kunnen worden gerealiseerd. Daarom wordt aanbevolen om tijdens het opstellen van de conceptrapportage voor basisbedragen al marktpartijen te consulteren.

3.4 De invloed van vollasturen warmte op het basisbedrag

Het verwachte aantal vollasturen warmte van de warmte-installatie heeft een zeer grote invloed op het basisbedrag, dit blijkt uit de kasstroomberekeningen die ECN/KEMA hebben uitgevoerd. Dit kan leiden tot:

- Overstimulering als het basisbedrag wordt bepaald op een laag aantal vollasturen warmte, terwijl in de praktijk meer vollasturen warmte worden gerealiseerd.
- Niet maximaal benutten van de investering in het geval er een te laag aantal vollasturen warmte wordt vastgesteld en de variabele brandstofkosten hoger zijn dan de baten uit de warmtelevering.

Een mogelijkheid om de perverse prikkels (waarbij bijvoorbeeld de SDE+ regeling direct zorgt voor het niet energetisch optimaal benutten van de installatie, of voor het verkeerd dimensioneren van de installatie) te verminderen is de introductie per opwekkingscategorie van een staffel naar aantal vollasturen warmtebenutting. Binnen een gefaseerde openstelling kan de referentie-installatie, zoals gebruikt zal worden in adviezen over de basisbedragen, leidend zijn voor de plaatsing van de desbetreffende categorie in de gefaseerde openstelling. Omdat de gerealiseerde staffeltrede ieder jaar ex-post bepaald zal worden, zal er enige vermindering van budgetbeheersbaarheid kunnen optreden of enige overreservering van middelen. Uitgangspunt van EL&I is echter om de SDE+ regeling zo gelijkvormig mogelijk te houden, analoog aan de bestaande regelingen voor hernieuwbare elektriciteit en groen gas. Hier lijkt een staffel gebaseerd op vollasturen warmtebenutting op gespannen voet mee te staan. Indien gekozen wordt om per categorie het aantal vollasturen warmtebenutting vast te leggen, betekent dit dat referentie-installaties voor categorieën zeer specifiek gekozen dienen te zijn. Daarbij hebben in eerste instantie met name projecten met een laag basisbedrag (en dus een hoog aantal vollasturen) de voorkeur om de doelstelling van hernieuwbare warmte effectief en efficiënt te stimuleren. De SDE+ regeling dient zo vormgegeven te worden dat juist die projecten ook geïmplementeerd kunnen worden.

Om initiatieven te stimuleren die zoveel mogelijk warmte leveren, kan ook gedacht worden aan een extra financiële prikkel voor meer warmtelevering door het basisbedrag vast te stellen voor een lager aantal vollasturen dan waarop de beschikking gemaximeerd gaat worden. Ter illustratie is bij windenergie in de SDE-regeling (tot 2011) de beschikking ook gemaximeerd op een aantal vollasturen. Een windturbine zal boven dit maximum echter blijven produceren omdat zijn variabele kosten ver onder de marktwaarde van elektriciteit liggen. Bij biomassa-installaties kunnen de variabele brandstofkosten vaak hoger liggen dan de vergoeding voor de warmtelevering. Dit houdt in dat na het bereiken van de maximale vollasturen, de installatie niet meer rendabel produceert en dan stilgezet wordt. Afhankelijk van de verhouding biomassa-kosten en de warmteopbrengsten kunnen sommige hernieuwbare-warmteinstallaties niet meer warmte leveren dan waar de beschikking op gemaximeerd is, ook al zijn er praktische mogelijkheden daartoe.

Door variatie in de warmtebehoefte van de afnemer tussen verschillende jaren en de gevoeligheid van de rentabiliteit van de productie-installatie voor het aantal vollasturen (zowel naar boven als naar beneden) zijn de risico's voor de ondernemer hoger dan bij levering van gas/elektriciteit aan het openbaar net. Zowel bij teveel als bij te weinig vollasturen warmte kan de businesscase onderuit gaan. Hoewel het optreden van te weinig vollasturen warmte nog grotendeels gezien kan worden als ondernemersrisico, is een beperking van de ondersteuning door een maximering van het aantal vollasturen ontmoedigend voor de initiatiefnemer om het uiterste uit zijn installatie te halen.

Voor een goed werkend systeem met relevante categorieën en relevante referentie-installaties is het raadzaam om in een zo vroeg mogelijk stadium een marktconsultatie te houden om voldoende informatie voor mogelijk te realiseren projecten te verzamelen. Op basis van deze informatie kan dan een categorie gedefinieerd worden, met daarin ook het aantal vollasturen dat representatief is voor deze categorie.

3.5 Inschatting van de mogelijkheid om correctiebedragen te kunnen vaststellen voor hernieuwbare warmteprojecten

Bij projecten bedoeld voor de productie van elektriciteit of groen gas worden de correctiebedragen op basis van de verwachte marktprijzen voor elektriciteit of gas vastgesteld. Het is mogelijk om ook voor de hernieuwbare warmteprojecten correctiebedragen vast te stellen, ondanks het ontbreken van een marktplatform voor warmtelevering. Voor 100% warmteprojecten kunnen deze bepaald worden op basis van de waarde van de vermeden inzet van aardgas voor vergelijkbare toepassingen⁵. Voor bio-WKK-projecten zijn in deze studie twee opties onderzocht. Men kan of één gezamenlijk correctiebedrag voor de geleverde elektriciteit en warmte vaststellen, of uit gaan van twee afzonderlijke correctiebedragen voor elektriciteit enerzijds en warmte anderzijds. Deze opties zullen in hoofdstuk 4 meer gedetailleerd besproken worden.

3.6 Eigen gebruik van hernieuwbare warmte

Bij de verduurzaming van een installatie die warmte nodig heeft, kan men kiezen voor het gebruik van hernieuwbare warmte, maar men kan ook kiezen voor het verminderen van de warmtevraag. De SDE+-regeling kent een premiestructuur, waarbij de afnemer van warmte nog altijd een marktconforme prijs voor de hernieuwbare warmte aan de producent moet betalen, om het hernieuwbare-warmteproject rendabel te maken. Oneigenlijk gebruik van warmte, anekdotisch te zien als het verwarmen van een ruimte waar de ramen wijd openstaan, wordt hiermee inherent voorkomen.

Als in de SDE+-regeling het eigen gebruik van hernieuwbare warmte ook vergoed wordt, zijn de producent van warmte en de afnemer van warmte een en dezelfde. Hierdoor ontstaat wel een prikkel om minder aan energiebesparing te doen, zolang de hernieuwbare warmte toch geproduceerd en gestimuleerd wordt. Door duidelijke eisen te stellen aan de toepassing van warmte, ofwel een heldere definitie van nuttig gebruik van warmte, kan deze perverse prikkel grotendeels weggenomen worden. Het ‘weggooien van gesubsidieerde warmte’ is hiermee te vermijden, maar een mindere inzet op energiebesparing lijkt niet geheel te voorkomen binnen de kader van de SDE+-regeling. Monitoring van hernieuwbare warmteprojecten biedt de mogelijkheid om soortgelijke perverse prikkels te onderzoeken en waar nodig bijstellend beleid in te zetten.

3.7 Locatie van meten van hernieuwbare-warmteproductie en eigen verbruik

In markt zijn nu talloze voorbeelden bekend waarbij een stadsverwarmingnet, de opwekking van warmte en de distributie daarvan door verschillende partijen worden geëxploiteerd. Op de grens tussen distributie en levering, meestal het zogeheten warmteoverdrachtstation, wordt met een comptabele meter de geleverde warmte gemeten, waardoor de kosten tussen de twee exploitanten verrekend kunnen worden. Het meten van warmte wordt op commerciële schaal toegepast, maar wel met de aantekening dat deze metingen niet door een gereguleerde beheerder worden gecontroleerd zoals bij gas en elektriciteit het geval is. Dit stelt extra eisen aan de certificerende instantie die de juiste meting ten behoeve van de SDE-uitbetaling dient te waarborgen.

Warmte wordt bij voorkeur gemeten aan het ‘hek’, op de plek waar de warmte wordt overgedragen van de productie-eenheid naar het distributiesysteem. Vanuit het distributiesysteem wordt de nuttig toe te passen warmte geleverd. Mocht ‘eigen verbruik’ zoals bijvoorbeeld verwarming van tanks en het drogen van digestaat aangemerkt worden als nuttige warmtetoepas-

⁵ De keuze van aardgas als referentie zou een negatieve effect kunnen hebben op de opties waarbij nu steen- of bruinkool worden ingezet voor warmte, aangezien kolen goedkoper is dan aardgas. Aardgas als referentie leidt tot een hoge correctiebedrag t.o.v. kolen en relatief lage subsidies voor kolenopties. Met andere woorden, deze generieke aanpak is minder gunstig voor de inzet van kolen.

sing dienen deze installatiedelen beleverd te worden vanuit het distributiesysteem dat voorzien is van een comptabele meting. De warmteverliezen in de leiding naar of binnen het warmtedistributienetwerk tellen mee voor de Europese doelstelling van hernieuwbare energie. Bij meting aan het 'hek' komen deze verliezen niet expliciet in beeld. Vanuit de werking van de SDE+ regeling worden deze verliezen niet opgeteld bij de subsidiabele afzet van warmte, maar wordt de waarde van de warmte (het correctiebedrag) aan het hek lager.

3.8 Directe subsidiëring van het gebruik van restwarmte bij hernieuwbare elektriciteitsproductie

In de SDE-regeling wordt hernieuwbare-elektriciteitsproductie gestimuleerd bij installaties die ook mogelijkheden hebben om hernieuwbare warmte af te zetten. Om deze mogelijkheden te benutten, kan directe subsidiëring van restwarmte een aanknopingspunt bieden. Een belangrijk voordeel van directe subsidiëring van restwarmte vergeleken met de huidige warmtestaffel is, dat er bij warmtestaffel niet gecorrigeerd wordt in de ontwikkeling van de warmteprijs (direct verbonden met de aardgasprijs). Er wordt een aanname gemaakt voor de prijs van warmte gedurende de beleidsperiode. Bij directe subsidiëring komt hernieuwbare warmte naar voren als een apart product en ieder jaar gecorrigeerd op de marktprijs van warmte (aardgasprijs).

De Europese richtlijn gaat uit van bruto eindverbruik van energie. Er wordt niet gesproken over nuttig. In de onderstaande tekstbox is de huidige lijst nuttige warmte uit de regeling Garanties van oorsprong voor hernieuwbare elektriciteit weergegeven. Punten ii, iv en vii onder 3° die nu zijn uitgesloten, kunnen op basis van de Europese richtlijn mogelijk toch meetellen. De lijst lijkt goed bruikbaar voor de SDE+ regeling voor hernieuwbare warmte. De certificerende instantie moet naast het verifiëren van de gemeten omvang van de warmtelevering ook een uitspraak doen over de toepassing daarvan. Zoals ook vermeld in de vorige paragraaf, mocht 'eigen verbruik' zoals bijvoorbeeld verwarming van tanks en het drogen van digestaat aangemerkt worden als nuttige warmtetoepassing, dienen deze installatiedelen beleverd en bemeten te worden vanuit het distributiesysteem.

Box 3.1 *Definitie van nuttig gebruik van warmte volgens de GvO-regeling*

Nuttig aangewende warmte is de restwarmte, uitgedrukt in GJ, die vrijkomt bij de productie van hernieuwbare elektriciteit uit biomassa en die wordt aangewend voor:

- 1°. Gebouwklimatisering van de binnenruimten van gebouwen.
- 2°. Tapwaterverwarming en verwarming van water dat wordt ingezet in bedrijfsprocessen, met uitzondering van het gebruik als voedingswater voor een productie-installatie waarmee elektriciteit wordt opgewekt.
- 3°. Verwarming in industriële processen en van tuinbouwkassen, met uitzondering van:
 - i. De inzet in een turbine of organische rankine cyclus waarmee elektriciteit wordt opgewekt.
 - ii. De inzet bij aardgasexpansie.
 - iii. Het drogen en verwarmen van inputstromen van een productie-installatie voor het opwekken van elektriciteit, inclusief het voorverwarmen van verbrandingslucht;
 - iv. Het drogen van eindproducten van energieproductie.
 - v. De inzet voor rookgasreiniging en waterzuivering van een productie-installatie voor het opwekken van elektriciteit.
 - vi. De verwarming van een installatie of een onderdeel daarvan, waarmee energie of een energiedrager wordt geproduceerd.
 - vii. De verwarming van opslagtanks van grondstoffen en producten die gebruikt worden om energie mee op te wekken.
- 4°. Klimaatregeling van koelcellen en industriële koelingstoepassingen.
- 5°. Levering aan een warmtenet, mits de producent aannemelijk kan maken dat de warmte gebruikt wordt voor een van de toepassingen bedoeld onder ten eerste tot en met ten vierde.

Binnen de Europese richtlijn kan hernieuwbare warmte ook worden ingezet voor het drogen van het digestaat uit de vergistingsprocessen. Of deze toepassing in aanmerking gaat komen voor SDE+ subsidie is geen onderdeel van deze studie.

4. Berekeningswijze voor jaarlijks uit te keren vergoeding voor hernieuwbare warmte

Bij de installaties bedoeld voor de productie van elektriciteit of groen gas, is de jaarlijks uit te keren vergoeding gelijk aan de onrendabele top per productie-eenheid (€ct/kWh_e of €ct/Nm³_{groen gas}) vermenigvuldigd met de jaarlijkse productie. In beginsel is de onrendabele top gelijk aan het verschil tussen het basisbedrag en het correctiebedrag - de SDE-regeling refereert hieraan als het gecorrigeerde basisbedrag.

Een vergelijkbare berekeningswijze kan worden toegepast om de jaarlijks uit te keren vergoeding voor 100%-warmteopties te bepalen. De baten voor zo'n project zullen gelijk zijn aan de hoeveelheid warmte, gemeten in kWh en geleverd aan het hek van de installatie⁶, vermenigvuldigd met de waarde van deze warmte per kWh. Deze waarde zal gerelateerd zijn aan de waarde van de vermeden inzet van aardgas voor dezelfde toepassing. Hiervoor zou men uit kunnen gaan van een vaste waarde per toepassing. Een alternatieve optie is om uit te gaan van de onderstaande formule:

$$Y = a \cdot X - b$$

waarin:

- Y correctiebedrag warmte aan het hek van de installatie (€/kWh);
- a factor voor rendementsverlies en transportverliezen;
- X gasprijs bij de afnemer van warmte voor dezelfde toepassing (€/kWh);
- b factor gerelateerd aan de investering die nodig is om de geleverde warmte bij de afnemer te brengen⁷ (€/kWh).

In het geval van de bio-WKK-projecten zijn twee berekeningswijzen in meer detail onderzocht:

- Het bepalen van één gezamenlijke onrendabele top voor elektriciteit en warmte op basis van één gezamenlijk, samengesteld basisbedrag en één gezamenlijk, samengesteld correctiebedrag voor elektriciteit en warmte.
- Het bepalen van twee afzonderlijke onrendabele toppen voor elektriciteit en warmte op basis van één gezamenlijk basisbedrag voor elektriciteit en warmte en twee afzonderlijke correctiebedragen voor elektriciteit en warmte.

Het gezamenlijke basisbedrag (€ct/kWh_{e+w}) is een maat voor de kosten van het project en kan berekend worden op basis van de totale brandstof-/grondstofkosten, de totale investering en O&M-kosten én van de totale productie van zowel elektriciteit als nuttige warmte.

Het correctiebedrag is een maat voor de baten van het project. De baten bij een bio-WKK-project kunnen als volgt berekend worden:

$$\begin{aligned} \text{Baten}_e \text{ [€]} &= q_e \text{ [kWh}_e\text{]} \cdot p_e \text{ [€/kWh}_e\text{]} \\ \text{Baten}_w \text{ [€]} &= q_w \text{ [kWh}_w\text{]} \cdot p_w \text{ [€/kWh}_w\text{]} \end{aligned}$$

hierin is q de geleverde elektriciteit of nuttige warmte aan het hek van de installatie en p is inkomsten exclusief subsidie.

⁶ Hierbij dient dan nog wel bepaald te worden of het gebruik na het hek 'nuttig' is.

⁷ Deze kan ook op nul gezet worden.

De gezamenlijke onrendabele top kan dan als volgt berekend worden:

$$OT_{e+w} = (\text{kosten}_{e+w} - (\text{baten}_e + \text{baten}_w)) / \text{kWh}_{e+w}$$

De afzonderlijke onrendabele top voor E en W kunnen als volgt berekend worden:

$$OT_e = (\text{kosten}_{e+w} / \text{kWh}_{e+w}) - (\text{baten}_e / \text{kWh}_e)$$
$$OT_w = (\text{kosten}_{e+w} / \text{kWh}_{e+w}) - (\text{baten}_w / \text{kWh}_w)$$

De bovenbeschreven berekeningswijzen worden in 4.1 en 4.2 toegepast voor het bepalen van de jaarlijks uit te keren subsidie voor een stoomturbine-WKK, respectievelijk een gasmotor-WKK.

4.1 Stoomturbine-WKK

Een toepassing van een aftapcondensatieturbine is eigenlijk alleen mogelijk voor relatief grote installaties. Daarom is in deze studie gekozen voor de houtgestookte installatie van 25 MW_e, zoals deze ook in het advies voor de basisbedragen 2011 is opgenomen.

Een biomassagestookte ketel heeft gezien de aard van de brandstof gelimiteerde stoomparameters (ca. 65 bar en 450°C). Om de investering in een oververhitter in de ketel en een stoomturbine generator set te laten renderen dient het expansietraject van de hoge druk stoom in de turbine voldoende lang te zijn om een substantiële hoeveelheid elektriciteit te maken. Voor stoomturbine-WKK toepassingen wordt daarom de levering van lage druk stoom (ca. 2 bar) als referentie voor warmtelevering gekozen. Bij levering van lage druk stoom is het expansie traject langer dan bij hoge druk stoom, waarbij door de expansie in de turbine relatief veel elektriciteit wordt geproduceerd. Warmtelevering vindt plaats op een temperatuur van 100 °C tot 120 °C.

De stoom die wordt afgetapt leidt tot een elektriciteitsderving in een verhouding van elektriciteitsderving : warmteuitkoppeling van 1:4. De warmte wordt uitgekoppeld om te kunnen worden ingezet voor ruimteverwarming en de levering van warm tapwater. De warmtelevering is seizoensafhankelijk. Het aantal vollasturen voor warmtelevering bedraagt 1000 uur⁸. Door de schaalgrootte staat dit type installatie vaak op enige afstand van de warmtevraag. De warmtedistributiekosten en transportverliezen zijn daardoor aanzienlijk⁹. Het maximale thermische vermogen dat beschikbaar is voor warmtelevering, is gelijk aan 48% van de warmte-input. De waarde van de vermeden inzet van aardgas is gerelateerd aan het gangbare warmtetarief bij levering van warmte op een behoorlijke afstand via een groot net.

De technisch-economische parameters van thermische conversie van vaste biomassa bij deze referentie-installatie zijn weergegeven in Tabel 4.1. Aan de hand van de thermische leveringscapaciteit en de vollasturen kan de jaarlijkse thermische levering worden uitgerekend. Op basis van het aantal draaiuren van de productieinstallatie, het nominale vermogen van de turbine, de hoeveelheid thermische levering en de elektriciteits- dervingsverhouding kan de hoeveelheid geproduceerde elektriciteit worden uitgerekend.

Het effect van het aantal vollasturen warmte op de jaarlijkse productie van elektriciteit en warmte is gepresenteerd in Figuur 4.1 Het berekende basisbedrag, correctiebedrag en de onrendabele top als functie van het aantal vollasturen warmte, voor zowel één als twee correctiebedragen, zijn weergegeven in Figuur 4.2 Tot slot geeft Figuur 4.3 de jaarlijkse SDE+ vergoeding als functie van het aantal vollasturen warmte weer.

⁸ Vollasturen elektra wordt constant verondersteld op 8000 uur/jaar.

⁹ Transportverliezen van circa 20%.

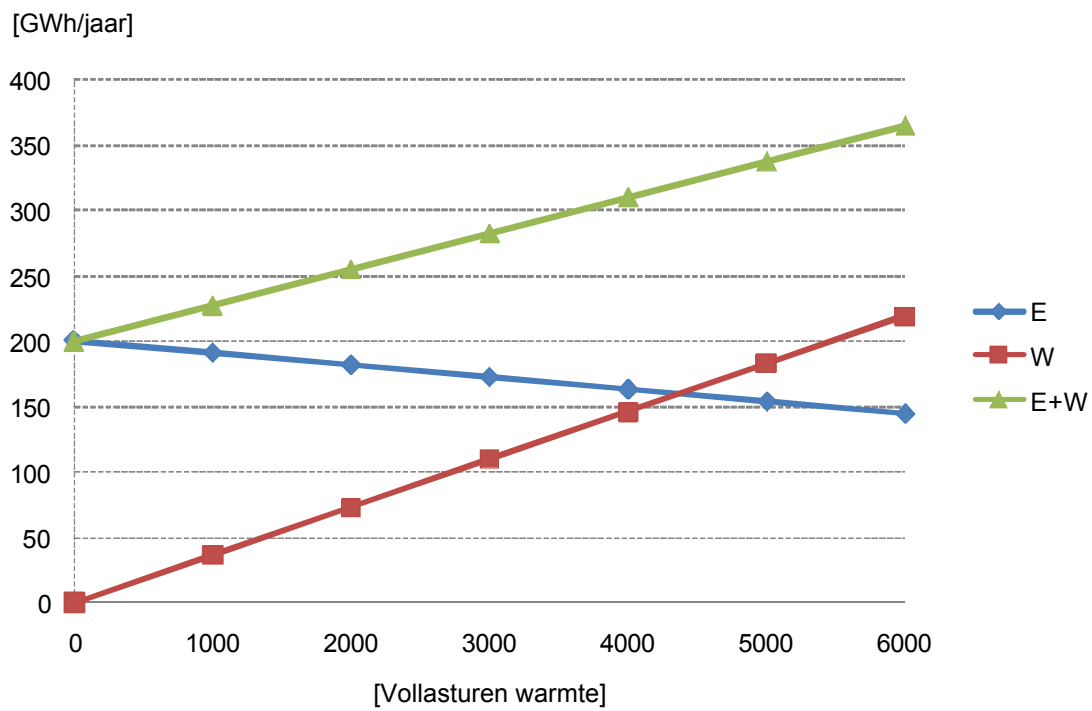
Tabel 4.1 *Technisch-economische parameters thermische conversie van vaste biomassa*

		Verbranding 10-50 MW _e
Installatiegrootte	[MW _e]	25
Vollasturen installatie	[uur/jaar]	8000
Vollasturen warmtelevering	[uur/jaar]	1000 (2000, 3000, 4000, 5000, 6000) ¹⁰
Economische levensduur	[jaar]	12
Warmteverlies	[%]	20
Investeringskosten elektriciteit	[€/kW _e]	3315
Investeringskosten ¹¹ warmte	[€/kW _e]	285
O&M-kosten elektriciteit	[€/kW _e]	225
O&M-kosten warmte	[€/kW _e]	25
Energie-inhoud biomassa	[GJ/ton]	14
Brandstofprijis	[€/ton]	25
Brandstofprijisopslag	[€/ton]	2
Elektrisch rendement nom.	[%]	30
Elektrisch rendement min.	[%]	18
Elektrisch rendement WKK	[%]	28,6 (27,3, 25,9, 24,5, 23,2, 21,8)
Thermisch rendement nom.	[%]	48
Thermisch rendement hek	[%]	5,5 (11,0, 16,4, 21,9, 27,4, 32,9)
Termijn lening	[jaar]	12
Afschrijvingstermijn	[jaar]	12
Beleidsperiode	[jaar]	12
Correctiebedrag elektriciteit	[€ct/kWh]	6,2
Correctiebedrag warmte (waarde vermeden inzet aardgas)	[€/GJ]	4
Waarde vermeden inzet aardgas	[€ct/Nm ³]	12,7

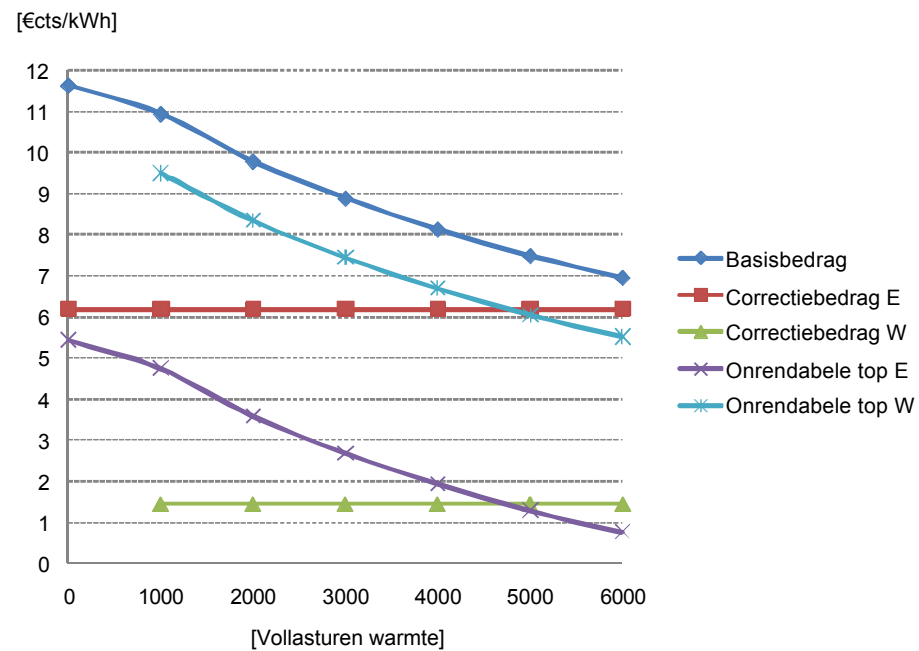
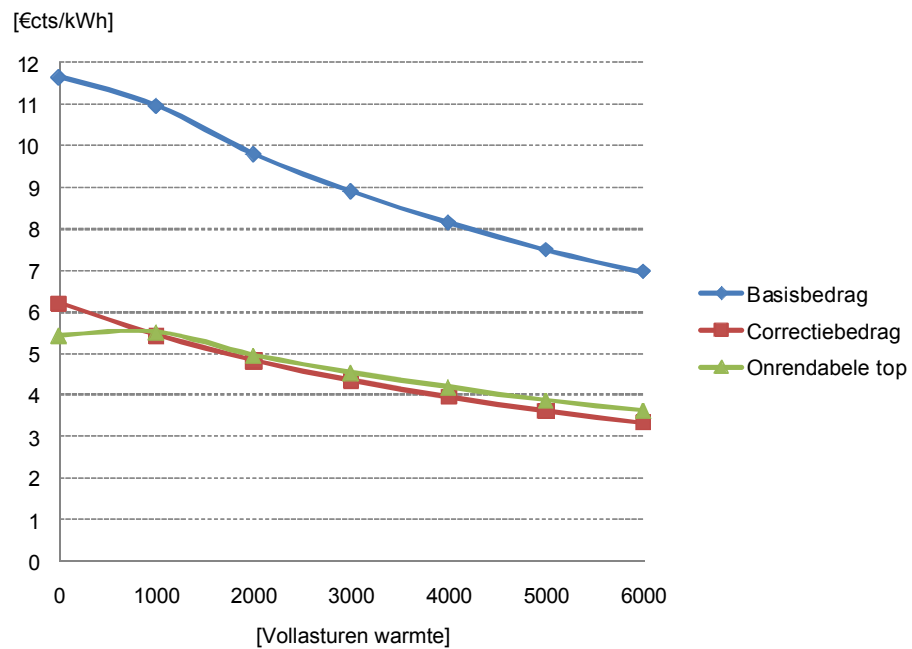
Bron: Lensink et al., 2010; Pfeiffer, 2008.

¹⁰ Er dient opgemerkt te worden dat het effect van de variatie in de vollasturen warmte is onderzocht bij dezelfde totale investerings- en O&M-kosten als die bij 1000 vollasturen warmte.

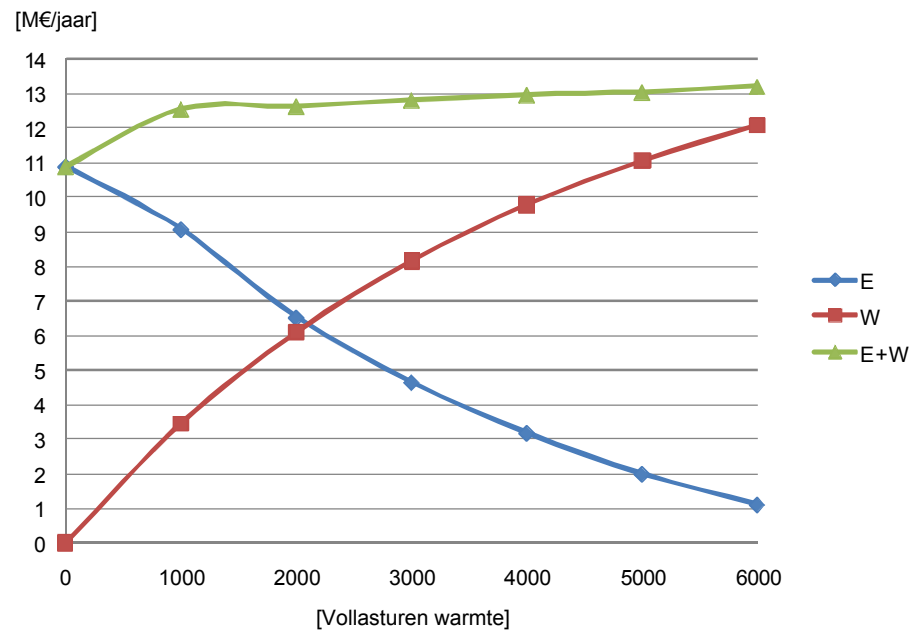
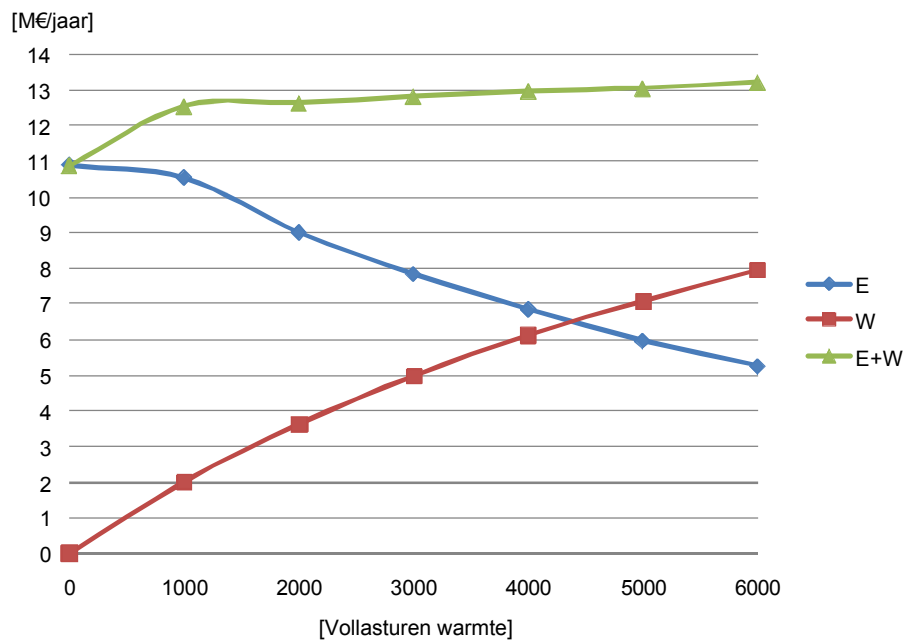
¹¹ Betreft de investeringskosten voor warmteuitkoppeling, maar exclusief de kosten voor de warmtetransportleiding of het warmtedistributienet.



Figuur 4.1 *Jaarlijkse productie van elektriciteit en warmte bij thermische conversie van vaste biomassa als functie van vollasturen warmte*



Figuur 4.2 Basisbedrag, correctiebedrag en de onrendabele top bij thermische conversie van vaste biomassa als functie van vollasturen warmte (links: 1 correctiebedrag, rechts: 2 correctiebedragen)



Figuur 4.3 Jaarlijkse SDE-vergoeding bij thermische conversie van vaste biomassa als functie van vollasturen warmte (links: 1 correctiebedrag, rechts: 2 correctiebedragen)

4.2 Gasmotor-WKK

Voor een gasmotor-WKK is in deze studie gekozen voor een mestcovergistinginstallatie van 1100 kW_e, zoals deze ook in het advies voor de basisbedragen 2011 is opgenomen. Covergisting van mest en substraat vindt veelal plaats bij de agrarische bedrijven zelf. Warmteafzet zal dan ook in de directe omgeving gezocht moeten worden. De mogelijkheden zijn veelal beperkt. Als voornaamste warmteafnemer die leidt tot een directe besparing op de inzet van fossiele brandstof, wordt ruimteverwarming gezien. Ruimteverwarming kan plaatsvinden op het eigen bedrijf, zij het beperkt, bij nabijgelegen bedrijven zoals bijvoorbeeld tuinbouwkassen en pluimveehouders, en in de vorm van stadsverwarming. Meestal wordt de warmteafzet gerealiseerd via warmtetransportleidingen. In het geval van grote afstanden (3 tot 6 km) wordt ook wel het biogas naar de afnemer getransporteerd.

Het aantal vollasturen bedraagt 1000 uur. Er wordt in deze voorbeeldberekening gerekend met 15% transportverliezen. Het thermisch rendement van 26% is gerelateerd aan de energie-inhoud van de toevoer naar vergister (dus inclusief vergisterrendement). De waarde van de vermeden inzet van aardgas is gekoppeld aan het gangbare warmtetarief bij levering van warmte in redelijke nabijheid via een eenvoudig net.

De technisch-economische parameters van mestcovergisting bij deze referentie-installatie zijn weergegeven in Tabel 4.2. Het effect van het aantal vollasturen warmte op de jaarlijkse productie van elektriciteit en warmte is gepresenteerd in Figuur 4.4. Het berekende basisbedrag, correctiebedrag en de onrendabele top als functie van het aantal vollasturen warmte, voor zowel één als twee correctiebedragen, zijn weergegeven in Figuur 4.5. Tot slot geeft Figuur 4.6 de jaarlijkse SDE-vergoeding als functie van het aantal vollasturen warmte weer.

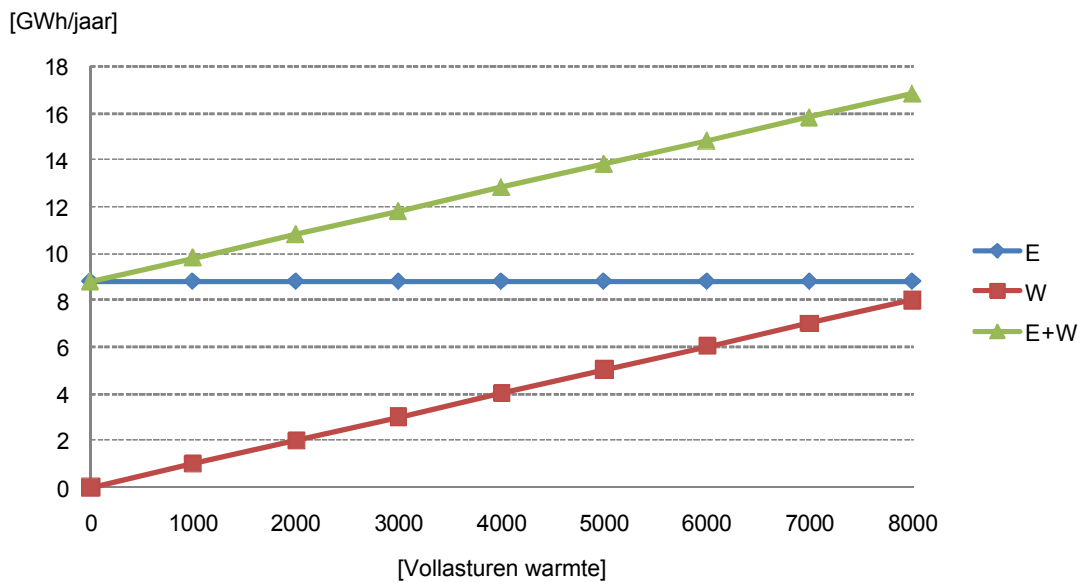
Tabel 4.2 *Technisch-economische parameters mestcovergisting*

Installatiegrootte	[kW _e]	1100
Vollasturen installatie	[uur/jaar]	8000
Vollasturen warmtelevering	[uur/jaar]	1000 (2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000) ¹²
Economische levensduur	[jaar]	12
Warmteverlies	[%]	15
Investeringskosten elektriciteit	[€/kW _e]	2750
Investeringskosten warmte	[€/kW _e]	350
O&M-kosten elektriciteit	[€/kW _e]	200
O&M-kosten warmte	[€/kW _e]	35
Energie-inhoud biomassa	[GJ _{biogas} /ton]	3,0
Brandstofprijs	[€/ton]	27
Brandstofprijsoverlag	[€/ton]	0,5
Elektrisch rendement nom.	[%]	26
Elektrisch rendement min.	[%]	26
Elektrisch rendement WKK	[%]	26
Thermisch rendement nom.	[%]	26
Thermisch rendement hek	[%]	3,0 (5,9, 8,9, 11,9, 14,8, 17,8, 20,8, 23,7)
Termijn lening	[jaar]	12
Afschrijvingstermijn	[jaar]	12
Beleidsperiode	[jaar]	12
Correctiebedrag elektriciteit	[€/kWh]	6,2
Correctiebedrag warmte	[€/GJ]	6
Waarde vermeden inzet aardgas	[€/Nm ³]	19,0 ¹³

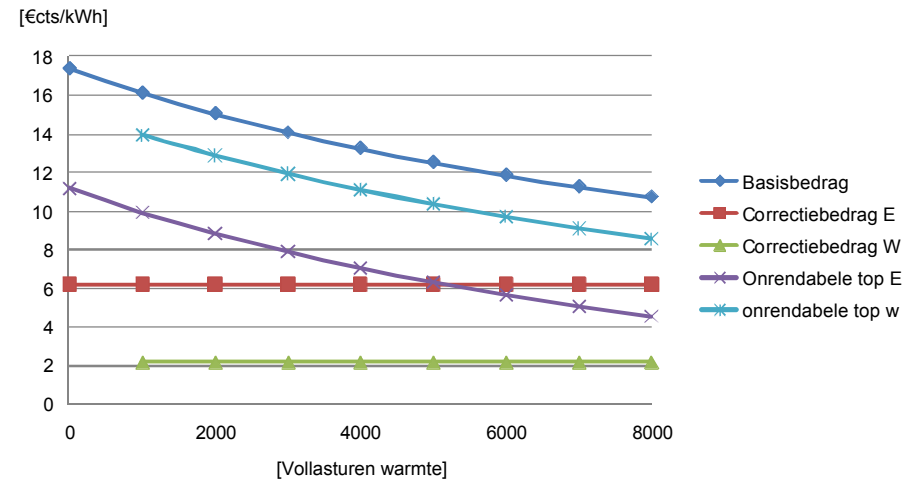
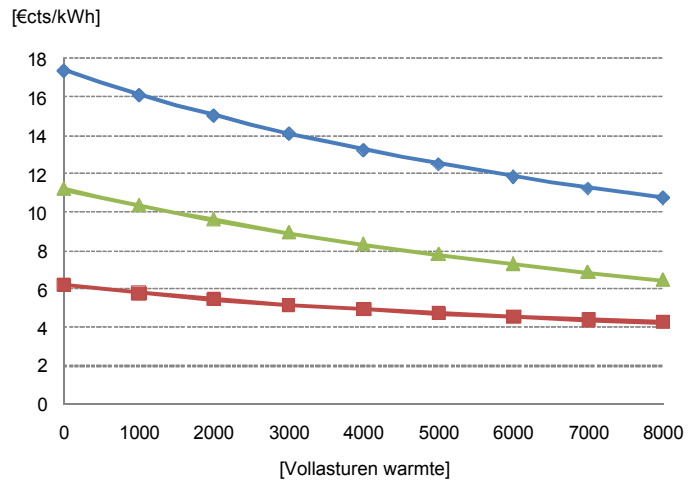
Bron: Lensink et al., 2010; Pfeiffer, 2008.

¹² Merk op dat het effect van de variatie in de vollasturen warmte is onderzocht bij dezelfde totale investerings- en O&M-kosten als die bij 1000 vollasturen warmte.

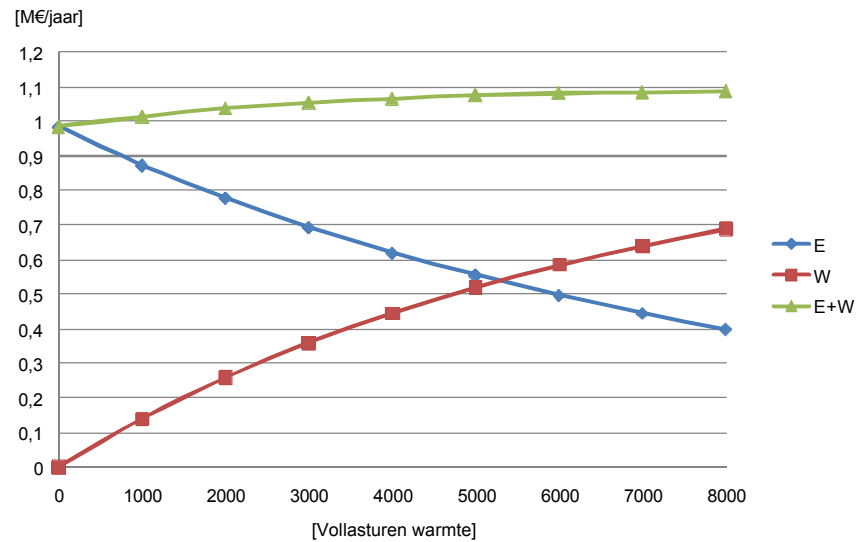
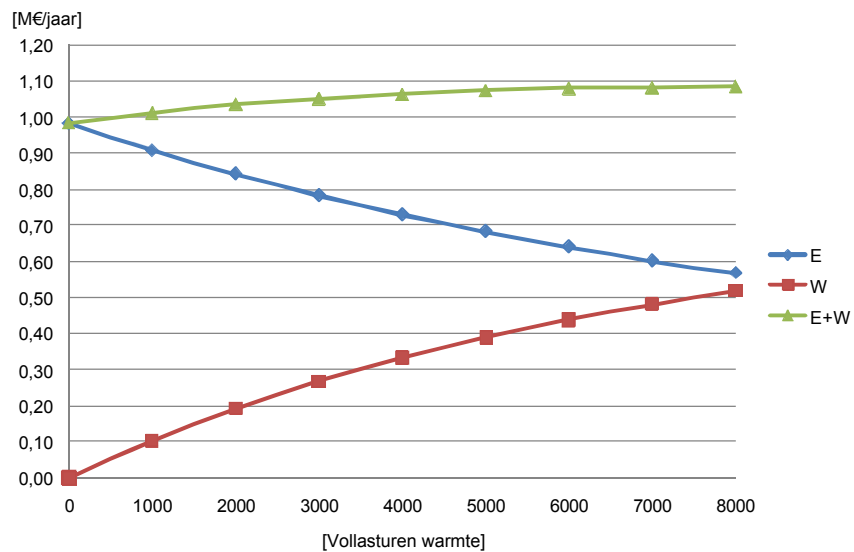
¹³ Vanwege een kortere afstand tussen de levering en afname van de warmte in deze case t.o.v. de case voor stoomturbine-WKK, zijn de warmtedistributiekosten en transportverliezen lager. Daardoor heeft de geleverde warmte een hogere waarde, vergeleken met die in het geval van stoomturbine-WKK.



Figuur 4.4 *Jaarlijkse productie van elektriciteit en warmte bij mestcovergisting als functie van vollasturen warmte*



Figuur 4.5 Basisbedrag, correctiebedrag en de onrendabele top bij mestcovergisting als functie van vollasturen warmte (links: 1 correctiebedrag, rechts: 2 correctiebedragen)



Figuur 4.6 Jaarlijkse SDE-vergoeding bij mestcovergisting als functie van vollasturen warmte (links: 1 correctiebedrag, rechts: 2 correctiebedragen)

4.3 Kwalitatieve beoordeling van de opties voor het bepalen van basis- en correctiebedragen

In de voorgaande paragrafen is een aantal ontwerpkeuzes geïntroduceerd om de vergoeding van hernieuwbare elektriciteit en hernieuwbare warmte bij bio-WKK's te bepalen. Hierbij dienen twee onafhankelijke keuzes gemaakt te worden. Eén keuze heeft betrekking op de bepaling van het basisbedrag, de andere op de bepaling van het correctiebedrag.

Voor de bepaling van het basisbedrag zijn drie mogelijkheden belicht in Tabel 4.3. Bij optie 1 wordt het basisbedrag bepaald aan de hand van een referentie-installatie. De beschikking is daarbij gemaximeerd op het aantal vollasturen warmte van de referentie-installatie. Bij optie 2 mag de uitbetaling over meer vollasturen warmte plaatsvinden dan het aantal vollasturen warmte van de referentie-installatie¹⁴. Bij optie 3 wordt het basisbedrag jaarlijks gecorrigeerd voor het werkelijk aantal gerealiseerde vollasturen warmte. Uit Tabel 4.3 volgt dat het streven naar een efficiënte en effectieve regeling op gespannen voet staat met een weinig complexe regeling.

Voor de bepaling van het correctiebedrag dient een keuze gemaakt te worden tussen één samengesteld correctiebedrag of twee afzonderlijke correctiebedragen voor warmte en elektriciteit. Deze opties zijn nagenoeg identiek aan elkaar en rekenkundig geheel gelijk. In de optie met één correctiebedrag is dit bedrag het gewogen gemiddelde van de warmte- en elektriciteitsprijs. Deze berekening met weging is iets complexer in de uitwerking. Daar staat tegenover dat ook slechts één basisenergieprijs gebruikt wordt. Bij twee correctiebedragen dienen twee basisenergieprijzen bepaald te worden: zowel basisgasprijs als basis-elektriciteitsprijs. Indien één van beide marktprijzen onder de basisprijs zakt, vindt ondercompensatie plaats. Ook is het mogelijk dat één van beide marktprijzen boven het basisbedrag uitkomt, waardoor de kans op overcompensatie ook groter is.

Op basis van de kwalitatieve beoordeling (Tabel 4.3) is één basisbedrag (kolom 1) en één correctiebedrag (kolom 4) de best scorende combinatie.

¹⁴ Optie 2 waarbij een vast basisbedrag voor een referentie-installatie wordt berekend en waarbij de aanvrager zelf het aantal vollasturen warmte bepaalt bij de aanvraag voor een beschikking sluit het meest aan bij het Engelse systeem waarbij een vast basisbedrag geldt voor installaties groter dan 1 MW_{th}. (Het Engelse systeem is overigens een openeinderegeling, waardoor daar voor de regeling als totaal geen maximering bestaat), zie ook (Renewable Heat Incentive, 2011).

Tabel 4.3 *Kwalitatieve beoordeling van de opties voor het bepalen van basis- en correctiebedragen bij bio-WKK-installaties*

	<i>Optie: 1 basisbedrag</i>	<i>Optie 2 basisbedrag met hoger aantal vollasturen</i>	<i>Optie 3 staffel basisbedragen</i>	<i>Sub: 1 correctiebedrag</i>	<i>Sub: 2 correctiebedragen</i>
	Per categorie wordt één referentie-installatie gekozen met een vast aantal vollasturen warmte. Vollast uren van de referentie is gelijk aan het maximaal te beschikken vollasturen (analoog huidige SDE voor elektriciteit en groen gas).	Per categorie wordt één referentie-installatie gekozen met ORT gebaseerd op een vast aantal vollasturen warmte. De aanvrager kan beschikking aanvragen voor meer vollasturen warmte dan de referentie.	Per categorie wordt het basisbedrag ex-post bepaald aan de hand van een staffel, afhankelijk van het gerealiseerde aantal vollasturen warmte.	Bio-WKK-installaties ontvangen een vergoeding waarbij het basisbedrag wordt gecorrigeerd met één correctiebedrag. Dit correctiebedrag stelt het gewogen gemiddelde voor van de elektriciteits- en warmteprijs.	Bio-WKK-installaties ontvangen een vergoeding waarbij het basisbedrag wordt gecorrigeerd met twee correctiebedragen: een correctiebedrag voor elektriciteit en een correctiebedrag voor warmte.
<i>Productie:</i> Systematiek moet prikkel geven maximaal en kosteneffectief te produceren.	(+) ¹⁵ Door vollasturen hoog in te zetten worden kosteneffectieve projecten gestimuleerd [+] Vergoeding volgt niet goed de kostencurve [-]; Projecten met een afwijkende warmteafzet kunnen niet altijd uit [-].	(-) Stimulans voor extra levering [+]; lichte overstimulering gaat ten koste van kosten effectiviteit[-].	(+) Vergoeding volgt de kostencurve [+]; Beperkte prikkel tot maximale productie, omdat alle projecten uitkunnen [-].	(+) Geen onderscheidend verschil ten opzichte van bestaande SDE-regeling [+].	(-) Verschillende basisprijzen, waardoor de kans op onderstimulering groter is [-]; evenzo grotere kans op overstimulering. [-].
<i>Complexiteit:</i> Zo min mogelijk gecompliceerde systematiek.	(+) Regeling gebruikt één referentie per categorie, analoog aan bestaande SDE-regeling [+].	(+) Regeling gebruikt één referentie per categorie, analoog aan bestaande SDE-regeling [+].	(-) Voor de regeling moet per categorie een gehele staffel berekend worden [-]; het variabele basisbedrag maakt kasprognoses complexer [-].	(-) Een werkwijze met één correctiebedrag gebruikt een gewogen gemiddelde van warmte- en elektriciteitsprijs. Dat is voor marktpartijen een wat intransparante of complexe rekenoefening [-].	(-) De inkomsten uit warmte en de inkomsten uit elektriciteit zijn voor marktpartijen afzonderlijk van elkaar eenvoudig in te schatten [+]; de uitbetaling via warmte- en elektriciteitsroute komt slecht overeen met de werkelijke kasstromen [-].
<i>Oneigenlijk gebruik:</i> Fraude moet worden uitgesloten.	(+) Geen wezenlijk verschil met bestaande SDE-regeling [+].	(-) Lichte oversimulering kan leiden tot strategisch gedrag [-].	(+) Door nacalculatie wordt strategisch gedrag niet gestimuleerd [+].	(+) Geen wezenlijk verschil met bestaande SDE-regeling [+].	(+) Geen wezenlijk verschil met bestaande SDE-regeling [+].
<i>Budgetbeheersing</i> Voorspelbaarheid van budget	(+) Kasprognose is beter te maken omdat het basisbedrag en maximum beschikte vollasturen vast ligt gedurende de beschikking [+].	(+) Kasprognose is beter te maken omdat het basisbedrag en maximum beschikte vollasturen vast ligt gedurende de beschikking [+].	(-) Het variabele basisbedrag maakt kasprognoses complexer [-].	<niet beoordeeld>	<niet beoordeeld>
<i>Uitvoeringslasten / Administratieve lasten</i>	Ter beoordeling van EL&I	Ter beoordeling van EL&I	Ter beoordeling van EL&I	Ter beoordeling van EL&I	Ter beoordeling van EL&I

¹⁵ Een plus, gezien de gedachte achter de SDE+ regeling om meer te sturen op kosteneffectiviteit: beginnen met hoog aantal vollasturen warmte om kosteneffectiefste projecten te stimuleren. In de loop van de jaren kunnen de vollasturen warmte verlaagd worden nadat de kosteneffectiefste projecten met veel vollasturen warmte zijn gerealiseerd. In de praktijk zal de overgang diffuser zijn, omdat nieuwe projecten zich aandienen al naar gelang er mogelijkheden in de praktijk zich voordoen.

5. Hernieuwbare warmteopties

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt allereerst de bruto eindverbruik methode voor het meetellen van hernieuwbare energie volgens de Europese Richtlijn kort toegelicht (Paragraaf 5.2).

Vervolgens wordt een beknopte analyse van het subsidiëren van de meest kosteneffectieve/goedkope hernieuwbare warmteopties in de (toekomstige) hernieuwbare warmtecategorie(ën) in de SDE+ gegeven, inclusief een opsomming van de meest kosteneffectieve en goed afgebakende hernieuwbare-warmtecategorie(ën) in de SDE+ regeling 2012. Per categorie wordt aangegeven:

- De referentie-installatie.
- Een eerste indicatie van het basisbedrag, waarbij de inschatting van de kosten later aangescherpt kan worden in het kader van de advisering over de basisbedragen.
- Knelpunten, risico's en neveneffecten.

De volgende opties komen achtereenvolgens aan de orde:

- Stoomturbine bio-WKK (Paragraaf 5.3).
- Gasmotor bio-WKK (Paragraaf 5.4).
- Ketel met ruw biogas als brandstof (Paragraaf 5.5).
- Ketel met bio-olie als brandstof (Paragraaf 5.6).
- Ketel met vaste biomassa als brandstof (Paragraaf 5.7).
- Stoomketel op biomassa voor industrie (Paragraaf 5.8).
- Warmtebenutting bij AVI's (Paragraaf 5.9).
- Diepe geothermie (Paragraaf 5.10).
- Warmte-koudeopslag (met warmtepomp) in de glastuinbouw (Paragraaf 5.11).

Voor deze opties zijn aannames gemaakt met betrekking tot de schaalgrootte van de installaties. In het vervolgtraject om basisbedragen vast te stellen zal specifiek gekeken worden welke schaalgrootte van toepassing is op de meerderheid van de mogelijke initiatieven. Er wordt bovendien een indicatieve raming gegeven die gebaseerd is op kentallen waarbij geen verificatie in de markt heeft plaatsgevonden.

Tot slot wordt er in Paragraaf 5.12 een raming gegeven van het potentieel van de hernieuwbare warmteopties op korte termijn (tot 2015) en langere termijn (tot 2020).

5.2 Bruto eindverbruik methode voor het berekenen van hernieuwbare energie

De Europese richtlijn voor energie uit hernieuwbare bronnen gaat uit van de bruto eindverbruik methode. Bij deze methode wordt het finale energieverbruik als uitgangspunt genomen. Vervolgens wordt gekeken welk deel daarvan van hernieuwbare bronnen afkomstig is.

Hieronder wordt deze methode voor enkele voor deze studie relevante technieken beschreven, met zoveel mogelijk citaten uit het Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie update 2010 (te Buck *et al.*, 2010).

5.2.1 Vergisten van biomassa

Bij vergisting van biomassa komt methaanrijk gas vrij dat veelal wordt gebruikt voor het produceren van energie.

De richtlijn voor hernieuwbare energie blijkt niet helemaal duidelijk aan te geven hoe het bruto eindverbruik van biomassavergistingsinstallaties berekend moet worden. Voor elektriciteit is de situatie helder. Hier wordt de bruto productie gerapporteerd.

In internationale statistieken wordt niet verkochte WKK-warmte niet expliciet gerapporteerd. In plaats daarvan wordt gevraagd om een deel van de brandstofinzet van de betreffende WKK installaties te alloceren aan deze warmte en dat deel te tellen als bruto eindverbruik. De aanbeveling wordt gevolgd om te alloceren op basis van de energie van de output.

Het meetellen van groen gas gemaakt uit biogas is nog niet duidelijk. Voorlopig wordt groen gas meegeteld als hernieuwbare warmte.

5.2.2 Overige biomassaverbranding in stationaire installaties

Alle overige biomassaverbranding wordt op een gelijke manier meegenomen in de monitoring. Dit betreft installaties die elektriciteit produceren en alle installaties die brandstoffen anders dan hout gebruiken. Houtverbranding voor eigen warmtevoorziening valt niet hieronder.

Voor installaties die alleen elektriciteit leveren aan externe partijen geldt de bruto elektriciteitsproductie, inclusief eigen verbruik. Voor installaties die alleen warmte leveren geldt de verkochte hoeveelheid warmte als bruto eindverbruik.

Voor installaties die beide leveren (WKK) volgt er een allocatie van brandstofinzet volgens de rekenregels voor WKK uit het energy statistics manual van IEA, EUROSTAT. De brandstofinput wordt gealloceerd op energiebasis naar bruto elektriciteit, verkochte warmte en niet verkochte warmte. Het bruto eindverbruik is dan de bruto elektriciteitsproductie plus de verkochte warmte plus de brandstofinzet toegerekend aan de niet verkochte WKK warmte¹⁶.

5.2.3 Afvalverbrandingsinstallaties

Een AVI is een installatie voor het verbranden van gemengd huishoudelijk en bedrijfsafval. Uitgangspunt is de geleverde energie, de bruto warmte en elektriciteitsproductie uitgedrukt in GJ, gecorrigeerd voor het percentage biomassa op energie-inhoud. De geproduceerde energie wordt per locatie gealloceerd over het afval en de fossiele (hulp)brandstoffen op basis van de energie-inhoud. De correctie voor het percentage biomassa wordt landelijk toegepast.

5.2.4 Geothermie (diepe bodemenergie)

Onder geothermie wordt de winning van aardwarmte dieper dan 500 meter verstaan (de grens waaronder de mijnbouwwet geldt).

De productie van warmte uit een geothermiebron wordt in de praktijk volledig benut, dus de productie aan de bron is gelijk aan het bruto-eindverbruik. De energieproductie is het product van de massastroom, het temperatuurverschil tussen warmte en koude bron (op maaiveldniveau) en de soortelijke warmte van water.

¹⁶ Totdat er meer richtlijnen komen voor de niet-verkochte warmte wordt de methode voor het alloceren van warmte gehandhaafd.

5.2.5 Bodem energie:open bronnen

Bij open bronnen gaat het om warmte- en koudeopslag in aquifers in de ondergrond.

Bodemkoude

Bij de uitwerking van definities voor de richtlijn komt koude niet voor. Mocht koude internationaal in de toekomst wel mee gaan tellen dan zou de koude geleverd door de bron meetellen.

Bodemwarmte

Er wordt onderscheid gemaakt tussen directe benutting van warmte en systemen met een warmtepomp. Bij warmtepompen komt het er op neer dat alle energie die aan de bodem of omgeving wordt onttrokken telt als geleverd aan de eindgebruiker.

Ruimteverwarming: $E_r = Q_{wp,r} * (1 - 1/SPF)$

Tapwaterverwarming: $E_r = Q_{wp,t} * (1 - 1/SPF)$

Waarin:

- E_r : jaarlijkse bijdrage t.b.v. doelstelling;
- $Q_{wp,t}$: jaarlijkse warmteproductie van het apparaat, vast kental;
- $Q_{wp,r}$: jaarlijkse warmteproductie van het apparaat, d.w.z. product van thermisch vermogen en vollasturen;
- SPF: Seasonal performance factor.

5.3 Stoomturbine bio-WKK

Een toepassing van een aftapcondensatieturbine is eigenlijk alleen mogelijk voor relatief grote installaties. Daarom is gekozen voor de houtgestookte installatie van 25 MW_e, zoals deze ook in het advies voor de basisbedragen 2011 is opgenomen.

Een biomassagestookte ketel heeft gezien de aard van de brandstof gelimiteerde stoomparameters (ca. 65 bar en 450 °C). Om de investering in een oververhitter in de ketel en een stoomturbine generator set te laten renderen dient het expansietraject van de hoge druk stoom in de turbine voldoende lang te zijn om een substantiële hoeveelheid elektriciteit te maken. Voor stoomturbine-WKK toepassingen wordt daarom de levering van lage druk stoom (ca. 2 bar) als referentie voor warmtelevering gekozen. Bij levering van lage druk stoom is het expansie traject langer dan bij hoge druk stoom, waarbij door de expansie in de turbine relatief veel elektriciteit wordt geproduceerd. Warmtelevering vindt plaats op een temperatuur van meer dan 100 °C.

De stoom die wordt afgetapt leidt tot een elektriciteitsderving in een verhouding van elektriciteitsderving : warmteuitkoppeling van 1:4. De warmte wordt uitgekoppeld om te kunnen worden ingezet voor ruimteverwarming en de levering van warm tapwater. De warmtelevering is seizoensafhankelijk. Het aantal vollasturen voor warmtelevering bedraagt 1000 uur¹⁷. Door de schaalgrootte staat dit type installatie vaak op enige afstand van de warmtevraag. De warmtedistributiekosten en transportverliezen zijn daardoor aanzienlijk.

De technisch-economische data horend bij deze referentie-installatie zijn samengevat in Tabel 5.1 Een indicatie van het basisbedrag van stoomturbine bio-WKK met vaste biomassa als brandstof bedraagt 11,0 €/kWh_{final}.

¹⁷ Vollasturen elektra wordt constant verondersteld.

Tabel 5.1 *Technisch-economische data stoomturbine bio-WKK met vaste biomassa als brandstof*

	Eenheid	Waarde
<i>Inputparameters</i>		
Installatiegrootte	[MW _e]	25
Vollasturen installatie	[uur/jaar]	8000
Vollasturen warmtelevering	[uur/jaar]	1000
Economische levensduur	[jaar]	12
Investeringskosten	[€/kW _e]	3600
O&M-kosten	[€/kW _e]	250
Energie-inhoud biomassa	[GJ/ton]	14
Brandstofprijs	[€/ton]	25
Elektrisch rendement WKK	[%]	28,6
Thermisch rendement hek	[%]	5,5
Termijn lening	[jaar]	12
Afschrijvingstermijn	[jaar]	12
Beleidsperiode	[jaar]	12
<i>Output</i>		
Basisbedrag	[€/kWh]	11,0

5.4 Gasmotor bio-WKK

Voor een gasmotor-WKK is in deze studie gekozen voor een mestcovergistinginstallatie van 1100 kW_e, zoals deze ook in het advies voor de basisbedragen 2011 is opgenomen.

Covergisting van mest en substraat vindt veelal plaats bij de agrarische bedrijven zelf. Warmteafzet zal dan ook in de directe omgeving gezocht moeten worden. De mogelijkheden zijn veelal beperkt. Als voornaamste warmteafnemer die leidt tot een directe besparing op de inzet van fossiele brandstof, wordt ruimteverwarming gezien. Ruimteverwarming kan plaatsvinden op het eigen bedrijf, zij het beperkt, bij nabijgelegen bedrijven zoals bijvoorbeeld tuinbouwkassen en pluimveehouders, en in de vorm van stadsverwarming. Meestal wordt de warmteafzet gerealiseerd via warmtetransportleidingen. In het geval van grote afstanden (3 tot 6 km) wordt ook wel het biogas naar de afnemer getransporteerd.

Het aantal vollasturen bedraagt 1000 uur. Het thermisch rendement is gerelateerd aan de energie-inhoud van de toevoer naar vergister (dus inclusief vergisterrendement).

De technisch-economische data horend bij deze referentie-installatie zijn samengevat in Tabel 5.2. Een indicatie van het basisbedrag van gasmotor bio-WKK op basis van mest-covergisting bedraagt 16,1 €/kWh_{final}.

Tabel 5.2 *Technisch-economische data gasmotor bio-WKK op basis van mestcovergisting*

	Eenheid	Waarde
<i>Inputparameters</i>		
Installatiegrootte	[MW _e]	1,1
Vollasturen installatie	[uur/jaar]	8000
Vollasturen warmtelevering	[uur/jaar]	1000
Economische levensduur	[jaar]	12
Investeringskosten	[€/kW _e]	3100
O&M-kosten	[€/kW _e]	235
Energie-inhoud biomassa	[GJ _{biogas} /ton]	3
Brandstofprijs	[€/ton]	27
Elektrisch rendement WKK	[%]	26
Thermisch rendement hek	[%]	3
Termijn lening	[jaar]	12
Afschrijvingstermijn	[jaar]	12
Beleidsperiode	[jaar]	12
<i>Output</i>		
Basisbedrag	[€/kWh]	16,1

In het vervolgtraject kan het drogen van digestaat ook onderdeel gaan uitmaken van de studie en de berekeningen, gezien de wijze waarop in de richtlijn tegen het drogen van digestaat wordt aangekeken (als nuttige toepassing van warmte). Bij de indicatieve basisbedragen in dit rapport is hier nog geen rekening mee gehouden.

5.5 Ketel met ruw biogas als brandstof

Voor ruw biogas is aansluiting gezocht bij de schaalgrootte van de covergistingsinstallatie zoals die beschreven is in het eindadvies basisbedragen 2011. Deze schaalgrootte komt overeen met 2,7 MW_{th}. Hierbij zijn de kosten voor een additionele ketel toegevoegd van €190.000¹⁸. De ketel levert warmte/stoom van ca. 120°C. Er zijn geen kosten meegenomen voor een gasleiding of een warmtenet. In het vervolgtraject dient ook de ontsluitingskosten meegenomen te worden.

De technisch-economische data horend bij deze referentie-installatie zijn samengevat in Tabel 5.3. Een indicatie van het basisbedrag van hulpwarmtekotel met ruw biogas als brandstof bedraagt 3,7 €/kWh_{final}.

¹⁸ Investering: 830 €/kW_{th} voor ruw biogas en 70 €/kW_{th} voor de ketel

Tabel 5.3 *Technisch-economische data hulpwarmteketel met ruw biogas als brandstof*

	Eenheid	Waarde
<i>Inputparameters</i>		
Installatiegrootte	[MW _{th}]	2,7
Vollasturen installatie	[uur/jaar]	8000
Economische levensduur	[jaar]	12
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	900
O&M-kosten	[€/kW _{th}]	50
Energie-inhoud biomassa	[GJ _{biogas} /ton]	3
Brandstofprijs	[€/ton]	27
Thermisch rendement hek	[%]	85
Termijn lening	[jaar]	12
Afschrijvingstermijn	[jaar]	12
Beleidsperiode	[jaar]	12
<i>Output</i>		
Basisbedrag	[€/kWh]	3,7

5.6 Ketel met bio-olie (dierlijk) als brandstof

Er is uitgegaan van een installatiegrootte van 10 MW-warmtelevering. De referentieprij voor dierlijke bio-olie is overgenomen uit het eindadvies basisbedragen 2011. De investering in de ketel, randapparatuur en tankopslag wordt geraamd op €400.000. Indien de ketel bij bestaande industrie of bestaand stadsverwarmingnet wordt geplaatst, zijn lagere kosten voor randapparatuur van toepassing.

Dit is een indicatieve raming, gebaseerd op kentallen waarbij geen verificatie in de markt plaatsgevonden. Er zijn geen kosten meegenomen voor een warmtenet.

De technisch-economische data horend bij deze referentie-installatie zijn samengevat in Tabel 5.4. Een indicatie van het basisbedrag van ketel met dierlijke bio-olie als brandstof bedraagt 12,2 €/kWh_{final}.

Tabel 5.4 *Technisch-economische data ketel met dierlijke bio-olie als brandstof*

	Eenheid	Waarde
<i>Inputparameters</i>		
Installatiegrootte	[MW _{th}]	10
Vollasturen installatie	[uur/jaar]	8000
Economische levensduur	[jaar]	12
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	40
O&M-kosten	[€/kW _{th}]	347
Energie-inhoud biomassa	[GJ/ton]	36,40
Brandstofprijs	[€/ton]	520
Thermisch rendement hek	[%]	85
Termijn lening	[jaar]	12
Afschrijvingstermijn	[jaar]	12
Beleidsperiode	[jaar]	12
<i>Output</i>		
Basisbedrag	[€/kWh]	12,2

5.7 Ketel met vaste biomassa als brandstof

Er is uitgegaan van een installatiegrootte van 10 MW-warmtelevering. De referentie-installatie is een heetwaterketel met knip- en snoeihout als brandstof. De brandstofkosten zijn overgenomen uit het eindadvies basisbedragen 2011. De investering wordt ingeschat op €2.250.000 voor een ketel van 10 MW_{th}, waarbij is uitgegaan van plaatsing van de ketel bij een bestaand ketelhuis in de industrie of een stadswarmtecentrale.

Dit is een indicatieve raming, gebaseerd op kentallen waarbij geen verificatie in de markt plaatsgevonden. Er zijn geen kosten meegenomen voor een warmtenet.

De technisch-economische data horend bij deze referentie-installatie zijn samengevat in Tabel 5.5. Een indicatie van het basisbedrag van ketel met vaste biomassa als brandstof bedraagt 5,8 €ct/kWh_{final} bij 8000 vollasturen en 7,5 €ct/kWh_{final} bij 2750 vollasturen.

Tabel 5.5 *Technisch-economische data ketel met vaste biomassa als brandstof*

	Einheid	Waarde [8000 vollasturen]	Waarde [2750 vollasturen]
<i>Inputparameters</i>			
Installatiegrootte	[MW _{th}]	10	10
Vollasturen installatie	[uur/jaar]	8000	2750
Economische levensduur	[jaar]	12	12
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	226	226
O&M-kosten	[€/kW _{th}]	169	74
Energie-inhoud biomassa	[GJ/ton]	7,00	7,00
Brandstofprijs	[€/ton]	34,00	34,00
Thermisch rendement hek	[%]	80	80
Termijn lening	[jaar]	12	12
Afschrijvingstermijn	[jaar]	12	12
Beleidsperiode	[jaar]	12	12
<i>Output</i>			
Basisbedrag	[€ct/kWh]	5,8	7,5

5.8 Stoomketel op biomassa voor industrie

Stoomketels op biomassa kunnen in de industrie toegepast worden voor de levering van processtoom. Wel dient rekening gehouden te worden met een investeringsopslag voor drukdelen van ca. 10% ten opzichte van de investering in heetwaterketels. Aangezien stoomketels in de industrie vaak grotere vermogens vragen en veel vollasturen draaien, is de meest voor de hand liggende installatie een op vaste biomassa gestookte ketel. Eventueel bij gunstige ligging zou ook biogas aan een (bestaande) gasketel in de industrie geleverd kunnen worden.

In de marktconsultatie zal specifiek aandacht besteedt worden op welke brandstof de initiatieven zullen toepassen. Voor deze studie is als referentie-installatie een ketel met vaste biomassa gekozen.

De technisch-economische data horend bij deze referentie-installatie zijn samengevat in Tabel 5.6. Een indicatie van het basisbedrag van stoomketel op biomassa voor industrie bedraagt 6,1 €ct/kWh_{final}.

Tabel 5.6 *Technisch-economische data stoomketel voor industrie*

	Einheid	Waarde
<i>Inputparameters</i>		
Installatiegrootte	[MW _{th}]	10
Vollasturen installatie	[uur/jaar]	8000
Economische levensduur	[jaar]	12
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	249
O&M-kosten	[€/kW _{th}]	186
Energie-inhoud biomassa	[GJ/ton]	7,00
Brandstofprijs	[€/ton]	34,00
Thermisch rendement hek	[%]	80
Termijn lening	[jaar]	12
Afschrijvingstermijn	[jaar]	12
Beleidsperiode	[jaar]	12
<i>Output</i>		
Basisbedrag	[€/kWh]	6,1

5.9 Warmtebenutting bij AVI's

Tot op heden wordt gewerkt met AVI-staffel. Komende jaren zal geen sprake meer zijn van nieuwbouw van AVI's gezien het convenant dat het ministerie van VROM en de Vereniging afvalbedrijven hebben gesloten, waarbij overeengekomen is dat tot 1 januari 2020 geen nieuwe verbrandingscapaciteit zal worden gerealiseerd.

Bij bestaande AVI's is wel een groot potentieel aan restwarmte uit te koppelen. Wel dient opgemerkt te worden dat het potentieel van warmtebenutting bij AVI's bepaald wordt door regionale afzetmogelijkheden. Niet iedere AVI bevindt zich op een locatie om veel warmte uit te koppelen.

Een deel van het AVI-productiepark heeft al een SDE-beschikking, waarbij sprake is van de AVI-staffel. Extra warmteuitkoppeling wordt bij die installaties beloofd via de bestaande SDE-beschikking afhankelijk van het reeds behaalde rendement van de installatie. Indien het rendement al in de hoogste staffel valt dan kan extra warmtelevering niet extra worden beloofd in de bestaande regeling. Knelpunt bij warmtelevering vanuit de AVI is vaak de investering in het benodigde transportnet naar de eindgebruikers van de warmte.

In het algemeen gesteld leent de categorie voor AVI's zich bij uitstek voor een renovatie-categorie aangezien het relatief eenvoudig is (extra) warmte bij AVI's uit te koppelen, bijvoorbeeld als de stoomturbine is voorzien van aftappen of als warmte uit de lucht gekoelde condensor wordt gebruikt voor levering van laagtemperatuurwarmte. Uitkoppelingskosten zijn moeilijk generiek in te schatten en hangen af van de hoeveelheid te leveren warmte, de locatie van uitkoppeling en benodigde infrastructurele aanpassingen. De investeringskosten kunnen ver uit elkaar liggen: ruwweg tussen de 35 en 120 €/kW_{th}, afhankelijk van de investering in leidingwerk, pompen, warmtewisselaars tot aparte gebouwen etc. Indicatief worden deze uitkoppelingskosten geraamd op 86 €/kW_{th}.

5.10 Diepe geothermie¹⁹

In Nederland en omliggende landen bestaat veel belangstelling voor het benutten van geothermische energie voor laagtemperatuurverwarming. Daarbij gaat het in Nederland om projecten voor in eerste instantie de glastuinbouw en in tweede instantie de gebouwde omgeving (afstandsverwarming). Vanwege de lage temperaturen ($< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) heeft warmtekracht of elektriciteitsopwekking op basis van geothermische energie in Nederland verhoudingsgewijs een verder weg liggend perspectief²⁰. Drie typen projecten voor geothermische warmte kunnen daarbij worden onderscheiden die in de volgende paragrafen behandeld worden: glastuinbouw, groene-weideafstandsverwarming en bestaande afstandsverwarming.

De productiesubsidie is bedoeld om de investeerder in geothermie in staat te stellen om de hoge investering terug te verdienen. De variabele kosten voor geothermische warmte zijn relatief laag, omdat deze voornamelijk worden bepaald door het elektriciteitsverbruik van de pompen. Wanneer de productiesubsidie hoger is dan de variabele kosten ontstaat er voor de exploitant een prikkel om zoveel mogelijk warmte te gebruiken. Een verhoging van de warmtevraag leidt dan namelijk tot extra inkomsten. Het is waarschijnlijk dat dit in de praktijk plaats zal vinden.

5.10.1 Glastuinbouw

Voor de referentie-installatie voor de glastuinbouw wordt uitgegaan van een doubletsysteem (één productie- en één injectieput) en warmtelevering op een temperatuurniveau van $65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Uitgaande van een temperatuurgradiënt van $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ en een gemiddelde temperatuur van $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ op 10 meter diepte, volgt hieruit dat een aquifer op een diepte van ongeveer 1800 meter moet worden aangeboord. Tabel 5.7 geeft een overzicht van de parameters, die de referentie-installatie voor diepe geothermie in de glastuinbouw definiëren. Het nuttig aangewende geothermische vermogen wordt bepaald door de leveringstemperatuur, retourtemperatuur en het debiet. Waarden voor het debiet en de COP (*Coefficient of Performance*) zijn verkregen uit verschillende haalbaarheidsstudies en interviews met experts.

De specifieke investeringskosten worden geschat op $1400\text{ €/kW}_{\text{th}}$. De opbouw van deze kosten is weergegeven in Tabel 5.8. De inschatting van de afzonderlijke onderdelen van de investeringskosten is gebaseerd op haalbaarheidsstudies voor projecten van 2000 tot 3000 meter diepte en interviews met experts. De specifieke boorkosten zijn bepaald op 1500 €/m verticale boordiepte, waarmee de totale boorkosten $\text{€ }5,4$ miljoen bedragen. Hiermee vallen de boorkosten binnen het plafond van het garantiefonds voor geothermie ($\text{€ }8,5$ miljoen). Zoals uit de tabel blijkt, zijn de totale projectkosten $\text{€ }7,3$ miljoen ($1400\text{ €/kW}_{\text{th}}$), waarvan ca. 75% gerelateerd is aan boorkosten.

De technisch-economische data horend bij deze referentie-installatie zijn samengevat in Tabel 5.9. De vaste O&M-kosten worden geschat op $21\text{ €/kW}_{\text{th}}$ per jaar. Tot de O&M-kosten worden gerekend: verzekeringen (0,5% van de investeringskosten) en onderhoud en bediening van de geothermische installatie (1% van de investeringskosten). De variabele O&M-kosten bestaan uit het elektriciteitsverbruik voor de pomp in de productieput. Bij elektriciteitskosten van $0,14\text{ €/kWh}_e$ komt het variabele deel van de O&M-kosten uit op $0,007\text{ €/kWh}_{\text{th}}$. Het aantal vollasturen is gedefinieerd op 6000 vollasturen, overeenkomstig een analyse van de jaarbelastingskromme voor glastuinbouwbedrijven. Een indicatie van het basisbedrag van diepe geothermische warmte in de glastuinbouw bedraagt $3,6\text{ €/kWh}_{\text{finaal}}$.

¹⁹ Bron: Lako *et al.*, 2011

²⁰ In het vervolgtraject zal hier extra aandacht aan besteed worden, aangezien er initiatieven zijn om met een ORC elektra op te wekken.

Tabel 5.7 *Kengetallen parameters voor geothermische warmte in de glastuinbouw*

Parameter	Eenheid	Waarde
Leveringstemperatuur	[°C]	65
Retourtemperatuur	[°C]	35
Debiet	[m ³ /uur]	150
COP	-	20
Verticale diepte	[m]	1800
Geothermisch vermogen	[MW _{th}]	5,2

Tabel 5.8 *Totale projectkosten geothermische warmte in de glastuinbouw*

	Eenheid	Waarde
Boorkosten	[M€]	5,4
Vorbereidingskosten ²¹	[M€]	0,5
Verzekering, CAR ²² , garantiefonds	[M€]	0,6
Geothermische installatie	[M€]	0,3
Subtotaal	[M€]	6,7
Totaal	[M€]	7,3
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	1400

Tabel 5.9 *Technisch-economische data voor geothermische warmte in de glastuinbouw*

	Eenheid	Waarde
<i>Inputparameters</i>		
Installatiegrootte	[MW _{th}]	5,2
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	1400
Vollasturen	[uur/jaar]	6000
Economische levensduur	[jaar]	30
Vaste O&M-kosten	[€/kW _{th}]	21
Variabele O&M-kosten	[€/kWh _{th}]	0,007
Termijn lening	[jaar]	30
Afschrijvingstermijn	[jaar]	30
Beleidsperiode	[jaar]	15
<i>Output</i>		
Basisbedrag	[€/kWh]	3,6

5.10.2 Groeneweideafstandsverwarming

Voor de referentie-installatie voor de groeneweideafstandsverwarming wordt uitgegaan van een doubletsysteem (één productie- en één injectieput) en warmtelevering aan een laagtemperatuurverwarmingsnet (LT) dat een brontemperatuur van ongeveer 75 °C vereist. De hiervoor benodigde aquifer zal zich op een diepte van ongeveer 2200 meter bevinden. Tabel 5.10 geeft een overzicht van de parameters, die de referentie-installatie voor groeneweide-diepegeothermieafstandsverwarming definiëren.

De temperatuurval van het fractiewater over de warmtewisselaar is aangenomen op 35 °C, deze waarde wordt typisch voor de LT-afstandsverwarming verondersteld. De investeringskosten per

²¹ De voorbereidingskosten maken een significant deel uit van de investeringskosten van geothermische warmteprojecten. Het is daarom onredelijk om zondermeer te veronderstellen dat deze dienen te worden terugverdiend uit het rendement op eigen vermogen en daarom geen onderdeel kunnen uitmaken van de investeringskosten. Om deze reden zijn deze kosten betrokken in de berekening van de productiekosten. Kan een precedent scheppen voor de andere SDE opties.

²² CAR: Construction All-Risk

kW_{th} zijn iets lager dan voor de referentie-installatie in de glastuinbouw, namelijk 1390 €/kW_{th} . De opbouw van deze kosten is weergegeven in Tabel 5.11. De inschatting van de afzonderlijke onderdelen van de investeringskosten is gebaseerd op haalbaarheidsstudies voor projecten met een diepte range van 2000 tot 3000 meter en interviews met experts. Indicatief zijn de specifieke boorkosten gelijk geraamd aan de glastuinbouwreferentie, dat wil zeggen 1.500 €/m verticale boordiepte. De totale boorkosten zijn $\text{€ } 6,6$ miljoen. Hiermee vallen de boorkosten binnen het plafond van het garantiefonds voor geothermie van $\text{€ } 8,5$ miljoen. De totale projectkosten voor het referentieproject worden geschat op $\text{€ } 8,75$ miljoen (1390 €/kW_{th}).

De technisch-economische data horend bij deze referentie-installatie zijn samengevat in Tabel 5.12. De vaste O&M-kosten worden geschat op 21 €/kW_{th} per jaar, de variabele O&M-kosten bestaan uit het elektriciteitsverbruik voor de pomp in de productieput. Bij kosten van $0,14 \text{ €/kWh}_e$ komt het variabele deel van de O&M-kosten uit op $0,007 \text{ €/kWh}_{th}$. Het aantal vollasturen is bepaald op 5000 vollasturen. Het aantal vollasturen dat in een groeneweideproject gehaald wordt, is afhankelijk van de ontwikkeling van het beoogde afzetgebied. Vertraging in de bouw en gewijzigde bouwplannen kunnen de vollasturen bij aanvang drukken. Een indicatie van het basisbedrag van diepe geothermische warmte in groeneweide-afstandsverwarming bedraagt $4,1 \text{ €ct/kWh}_{\text{final}}$.

Tabel 5.10 *Kengetallen parameters voor geothermische warmte bij groeneweide-afstandsverwarming*

Parameter	Eenheid	Waarde
Leveringstemperatuur	[°C]	76
Retourtemperatuur	[°C]	40
Debiet	[m ³ /uur]	150
COP	-	20
Verticale diepte	[m]	2200
Geothermisch vermogen	[MW _{th}]	6,3

Tabel 5.11 *Totale projectkosten geothermische warmte bij groeneweide-afstandsverwarming*

	Eenheid	Waarde
Boorkosten	[M€]	6,6
Vorbereidingskosten	[M€]	0,5
Verzekering, CAR, garantiefonds	[M€]	0,7
Geothermische installatie	[M€]	0,3
Onvoorzien (10%)	[M€]	0,7
Totaal	[M€]	8,75
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	1390

Tabel 5.12 *Technisch-economische data geothermische warmte - groene weide afstandsverwarming*

	Eenheid	Waarde
<i>Inputparameters</i>		
Installatiegrootte	[MW _{th}]	6,2
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	1390
Vollasturen	[uur/jaar]	5000
Economische levensduur	[jaar]	30
Vaste O&M-kosten	[€/kW _{th}]	21
Variabele O&M-kosten	[€/kWh _{th}]	0,007
Termijn lening	[jaar]	30
Afschrijvingstermijn	[jaar]	30
Beleidsperiode	[jaar]	15
<i>Output</i>		
Basisbedrag	[€/kWh]	4,1

5.10.3 Bestaande afstandverwarming

Voor de referentie-installatie voor de bestaande afstandsverwarming wordt uitgegaan van een doubletsysteem (één productie- en één injectieput) en warmtelevering aan een bestaand verwarmingsnet op een temperatuurniveau van ongeveer 100 °C. Dit komt overeen met een aquifer op een diepte van ongeveer 3000 meter. Tabel 5.13 geeft een overzicht van de parameters, die de referentie-installatie voor diepe geothermie bij een bestaande afstandsverwarming definiëren. Het nuttig aangewende geothermisch vermogen is gelijk aan 7,9 MW_{th}.

Doordat bestaande verwarmingsnetten zich niet lenen voor LT-warmtelevering wordt het temperatuurniveau hoger verondersteld namelijk op 100 °C. Door de diepere boring vallen de specifieke boorkosten hoger uit dan voor de referentie-installatie in de glastuinbouw en de groene weide-afstandsverwarming, namelijk 1750 €/m verticale boordiepte. De totale boorkosten komen hiermee op € 10,5 miljoen Hiermee overstijgen de boorkosten het plafond van het garantiefonds. Hier is aangenomen dat het resterende deel van de investering tegen vergelijkbare condities kan worden verzekerd bij een derde partij. De opbouw van de projectkosten is weergegeven in Tabel 5.14. Zoals uit de tabel blijkt, zijn de totale projectkosten € 13,4 miljoen (1705 €/kW_{th}).

De technisch-economische parameters, horend bij deze referentie-installatie, zijn samengevat in Tabel 5.15. De vaste O&M-kosten worden geraamd op 26 €/kW_{th} per jaar, de variabele O&M-kosten bestaan uit het elektriciteitsverbruik voor de pomp in de productieput. Bij kosten van 0,14 €/kWh_e komt het variabele deel van de O&M-kosten uit op 0,007 €/kWh_{th}. Over het algemeen overtreft de warmtevraag in bestaande afstandsverwarmingssystemen de omvang van een geothermisch bron ruimschoots. Vandaar dat kan worden uitgegaan van een hoge bedrijfstijd van 8000 vollasturen. Een indicatie van het basisbedrag van diepe geothermische warmte voor bestaande afstands-verwarmingnetten bedraagt 3,3 €/kWh_{final}.

Tabel 5.13 *Kengetallen parameters voor geothermische warmte bij bestaande afstandsverwarming*

Parameter	Eenheid	Waarde
Leveringstemperatuur	[°C]	100
Retourtemperatuur	[°C]	55
Debiet	[m ³ /uur]	150
COP	-	20
Verticale diepte	[m]	3000
Geothermisch vermogen	[MW _{th}]	7,9

Tabel 5.14 *Totale projectkosten geothermische warmte bij bestaande afstandsverwarming*

	Eenheid	Waarde
Boorkosten	[M€]	10,5
Vorbereidingskosten	[M€]	0,5
Verzekering, CAR, garantiefonds	[M€]	0,9
Geothermische installatie	[M€]	0,3
Onvoorzien (10%)	[M€]	1,1
Totaal	[M€]	13,4
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	1705

Tabel 5.15 *Technisch-economische data geothermische warmte bij bestaande afstandsverwarming*

	Eenheid	Waarde
<i>Inputparameters</i>		
Installatiegrootte	[MW _{th}]	7,9
Investeringskosten	[€/kW _{th}]	1705
Vollasturen	[uur/jaar]	8000
Economische levensduur	[jaar]	30
Vaste O&M-kosten	[€/kW _{th}]	26
Variabele O&M-kosten	[€/kWh _{th}]	0,007
Termijn lening	[jaar]	30
Afschrijvingstermijn	[jaar]	30
Beleidsperiode	[jaar]	15
<i>Output</i>		
Basisbedrag	[€ct/kWh]	3,3

5.11 Warmte-koudeopslag in de glastuinbouw

Bij toepassing van warmte-koudeopslag (WKO) in de glastuinbouw wordt zonnewarmte geoogst en opgeslagen in een aquifer. Deze warmte wordt later gebruikt voor het verwarmen van de kas. Om de temperatuur van de warmte op een bruikbaar niveau te krijgen wordt een door elektriciteit aangedreven warmtepomp gebruikt.²³

Met een WKO-systeem kan ook worden gekoeld en dit kan meerproductie, kwaliteitsverbetering of planningsvoordelen opleveren. Hernieuwbare koude draagt overigens (vooralsnog) niet bij aan het doelbereik van hernieuwbare energie volgens de Europese richtlijn. Voor bodemwarmte geldt wel dat alle energie die aan de bodem wordt onttrokken meetelt voor de doelstelling (Te Buck *et al.*, 2011).

Winning van zonnewarmte werd in 2009 nog maar toegepast bij 48 bedrijven (Van der Velden en Smit, 2010). WKK-gasmotoren (al dan niet in combinatie met gasgestookte ketels) zijn nu de meest gebruikelijke techniek voor warmteopwekking in de glastuinbouw. Toepassing van WKO maakt de glastuinbouw minder afhankelijk van aardgas. De groei van WKO is tot nu toe beperkt gebleven door de concurrentie van WKK, de hoge investeringskosten en beperkingen in de geschiktheid van de ondergrond. Het LEI concludeert dat systemen met een warmtepomp nu al energetisch en economisch interessant zijn voor gewassen waar koelen fysiologisch noodzakelijk is, zoals Phalaenopsis en Freesia. Daarentegen is warmte-koude opslag bij tomaat en roos (nog) niet rendabel en is zelfs een subsidie van 40% nog onvoldoende om een positief economisch resultaat te behalen (Ruijs *et al.*, 2010). De IRE en de MEI-regeling bieden subsidie voor geconditioneerd telen. Ook kan er gebruik worden gemaakt van MIA, Vamil en EIA. Tot slot hebben ontwikkelingen rond het terugdringen van de specifieke energievraag per m² er toe geleid dat investeringen in WKO-concepten zich minder snel laten terugverdienen.

Toepassing van WKO leidt tot emissiereductie (Van der Velden en Smit, 2010). Dit effect wordt sterker bij een lagere CO₂-intensiteit van de elektriciteitsopwekking. WKO verlaagt het aardgasverbruik en vergroot de centrale elektriciteitsopwekking, waardoor emissies verschuiven van buiten het ETS naar binnen het ETS. Binnen het CO₂-sectorsysteem voor de glastuinbouw kan WKO helpen om binnen het emissieplafond te blijven. Hoeveel energiebesparing WKO oplevert ten opzichte van toepassing van WKK hangt sterk af van de referentie voor centrale elektriciteitsopwekking (Geelen, 2009).

Een nadeel van WKO is dat er bij de warmte-opwekking geen CO₂ vrijkomt die kan worden gebruikt voor CO₂-bemesting. Dit kan in veel gevallen worden ondervangen door ook een (kleine) WKK in het concept te betrekken, die voldoende CO₂ kan leveren. Deze WKK kan ook elektriciteit voor de warmtepomp en belichting leveren. Het doorrekenen van semi-gesloten kassystemen is complex en de concepten zijn nog geen gemeengoed.

In de praktijk concurreert WKO met WKK. WKK verlaagt de marginale kosten voor warmte vaak aanzienlijk (dit is afhankelijk van de aardgas- en elektriciteitsprijzen). WKK heeft het voordeel dat het vrijgesteld is van de energiebelasting op de brandstofinzet en het eigen verbruik van geproduceerde elektriciteit. De glastuinbouw kent een verlaagd energiebelastingtarief op aardgas en niet op elektriciteit.

Hoe rendabel WKO-concepten zijn hangt sterk af van de energieprijzen, met name van de verhouding tussen de elektriciteitsprijs en de aardgasprijs. Ook de behoefte aan CO₂ (die met een ketel of WKK kan worden geproduceerd) en koeling, en mogelijke meeropbrengsten uit de teelt zijn sterk bepalend. Er wordt in deze rapportage geen technisch-economische karakterisering van een WKO-systeem gemaakt omdat er een zeer grote spreiding in de rentabiliteit is afhanke-

²³ De verhouding tussen de geproduceerde warmte en de daarvoor benodigde elektriciteit is typisch ongeveer 4,0.

lijk van kasconcept en gewas. De kostenstructuur van projecten is heterogeen en de verhouding tussen de operationele kosten en kapitaalkosten is ongunstig voor een productiesubsidie (Daniëls *et al.*, 2010a). Ook wordt er nog gewerkt aan verdere systeemontwikkeling. Bij veel gekoelde teelten zou al snel sprake zijn van overstimulering, terwijl bij andere teelten een hoge subsidie nodig zou zijn om WKO een aantrekkelijk alternatief te laten vormen voor WKK. Een andere overweging is dat een productiesubsidie leidt tot verlaging van de marginale kosten voor warmte, waardoor de economische prikkel om de warmtevraag te verlagen kleiner wordt.

5.12 Potentieel van hernieuwbare warmte in Nederland

5.12.1 Inleiding

Het potentieel van hernieuwbare warmte is vorig jaar beschreven in de studie ‘Aanvullende beleidsopties Schoon en Zuinig’ (Daniëls *et al.*, 2010a). In Tabel 5.16 worden de geraamde potentiëlen voor de voor deze rapportage relevante technieken gepresenteerd.

Tabel 5.16 *Potentieel van hernieuwbare warmteopties in 2020*

Hernieuwbare-warmteoptie	Warmtepotentieel [PJ]
Bioketels en bio - WKK in landbouw en industrie	39
Warmtebenutting bij AVI's	11
Diepe geothermie bij bestaande stadsverwarming	2
WKO / diepe geothermie in glastuinbouw	10

Bron: Daniëls *et al.*, 2010.

Dit potentieel is geraamd voor de lange termijn. De mogelijke beperking voor het realiseren van de 39 PJ van bioketels en bio-WKK is de beschikbaarheid van biomassa in Nederland. Deze markt is tegenwoordig een internationale markt en met name de vraag naar biomassa wordt beïnvloed door ontwikkelingen in onze buurlanden.

Realisatie op de korte termijn (2015) is afhankelijk van hoeveel projecten in de eerste jaren van openstelling worden gehonoreerd. Voor grootschalige bioenergieprojecten waar een MER-plicht voor bestaat en waar ontwerpberoeeningen benodigd zijn voor een bouwvergunning, kunnen op zijn vroegst meedoen in de openstelling van 2013. Na honorering van de SDE+ subsidie en een bouwtijd van 1 tot 1,5 jaar, zijn deze projecten in 2014 voor het eerst warmte aan het produceren. Kleinere installaties zonder een MER-plicht waar al enig voorwerk is gedaan kunnen in 2012 een aanvraag indienen en voor het eerst in 2013 warmte produceren. De hoeveelheid PJ die in 2015 gerealiseerd kan worden is afhankelijk van het budget voor de SDE+ openstelling voor warmte gerelateerde projecten in 2012 en 2013.

5.12.2 Warmtevraag per sector

Agentschap NL heeft het warmteverbruik in Nederland geïnventariseerd. Voor warmte-opwekking wordt in Nederland met name aardgas ingezet. Totaal is 1.224 PJ primair benodigd voor de warmtevoorziening van Nederland. Hiervan gebruikt de industrie 48%, de gebouwde omgeving 45% en wordt 7% in de landbouw gebruikt, voornamelijk in de glastuinbouw (Agentschap NL, 2010).

Gebouwde omgeving

Om hernieuwbare warmte op basis van biomassa in de bebouwde omgeving in te zetten dient logistiek en milieutechnisch de biomassa in specifieke biomassacentrales ingezet te worden. Om specifieke biomassacentrales van voldoende schaalgrootte te realiseren is één van de kansrijke opties om bestaande stadsverwarmingsnetten deels te verwarmen met biomassaketels. Groot-

schalige stadsverwarmingsnetten in Nederland leveren ca. 21 PJ (Scheepers & van Valkengoed, 2009).

(Chemische) Industrie

Als biomassa ingezet wordt als brandstof in de chemische industrie zal het temperatuurniveau begrensd zijn door specifieke eigenschappen van de biomassa (zoals bijvoorbeeld corrosie). Uitgaande van de inzet van biomassa bij een temperatuurniveau tussen de 100 - 250°C, wordt in de chemie en overige industrie ca. 70 PJ verbruikt (Agentschap NL, 2010).

(Glas) Tuinbouw

De warmtevraag in de landbouw, met name de glastuinbouw bedraagt ca. 84 PJ. Ca. 33% van deze warmte wordt al opgewekt met WKK (Agentschap NL, 2010).

5.12.3 Conclusies

Uit Tabel 5.17 blijkt, dat het hernieuwbare warmtepotentieel beduidend lager ligt dan de huidige warmtevraag in de relevante sectoren.

Tabel 5.17 *Hernieuwbare warmtepotentieel versus huidige warmtevraag in relevante sectoren*

Hernieuwbare-warmteoptie	Warmtepotentieel 'Schoon en Zuinig'* [PJ]	Warmtevraag in relevante sectoren [PJ]
Bioketels en bio - WKK in landbouw en industrie	39	91
Warmtebenutting bij AVI's	11	
Diepe geothermie bij bestaande stadsverwarming	2	
WKO / diepe geothermie in glastuinbouw	10	84

* Daniëls *et al.*, 2010a

Dit laat juist ruimte om op de meest optimale locaties hernieuwbare warmte in te zetten. Hierdoor is de kans groot dat juist kosteneffectieve initiatieven kunnen worden gerealiseerd. Wel dient opgemerkt te worden dat het potentieel van warmtebenutting bij AVI's bepaald wordt door regionale afzetmogelijkheden. Niet iedere AVI bevindt zich op een locatie om veel warmte uit te koppelen.

6. Conclusies en aanbevelingen

Tabel 6.1 presenteert het overzicht van openstelling in fases van SDE+ 2011 met vastgesteld basisbedrag per technologie voor hernieuwbare elektriciteit en groen gas (Openstelling SDE+ 2011, 2011), versus het indicatieve basisbedrag per technologie voor hernieuwbare warmte (SDE+ 2012).

Tabel 6.1 *Het vastgestelde basisbedrag per technologie voor hernieuwbare elektriciteit en groen gas (SDE+ 2011) versus het indicatieve basisbedrag per technologie voor hernieuwbare warmte (SDE+ 2012)*

Fase	I	II	III	IV
Maximum basisbedrag per fase: elektriciteit	9 ct/kWh	11 ct/kWh	13 ct/kWh	15 ct/kWh
Maximum basisbedrag per fase: groen gas	62 ct/Nm ³	76 ct/Nm ³	90 ct/Nm ³	104 ct/Nm ³
Openstelling	1 juli 2011	1 september 2011	1 november 2011	1 december 2011
Basisbedrag per technologie (SDE+ 2011)	RWZI, AWZI en stortgas (electriciteit/ groen gas/ groengashub) (resp. 6,0 ct/kWh / 28,8 ct/Nm ³ / 17,0 ct/Nm ³)			
	AVT's (6,2 ct/kWh)			
	Waterkracht ≥ 5m (7,1 ct/kWh)			
	Allesvergisting groen gas hub (57,9 ct/Nm ³)			
	Vrije categorie (9 ct/kWh) (62 ct/Nm ³)	Wind op land (9,6 ct/kWh)		
		Allesvergisting (electriciteit met benutting warmte / groen gas) (resp. 9,6 ct/kWh / 63,7 ct/Nm ³)		
		Mestvergisting groen gas hub (71,3 ct/Nm ³)		
		Vrije categorie (11 ct/kWh) (76 ct/Nm ³)	Biomassa thermische conversie >10 MW (12,2 ct/kWh)	
			Waterkracht < 5m (12,2 ct/kWh)	
			Mestcovergisting groen gas (76,7 ct/Nm ³)	
			Vrije categorie (13 ct/kWh) (90 ct/Nm ³)	Mestcovergisting elektriciteit met benutting warmte (13,2 ct/kWh)
				Vrije categorie (15 ct/kWh) (104 ct/Nm ³)
Basisbedrag per technologie hernieuwbare warmte (SDE+ 2012)	Diepe geothermie: glastuinbouw, groeneweideafstandsverwarming, bestaande afstandsverwarming (resp. 3,6 ct/kWh _{th} / 4,1 ct/kWh _{th} / 3,3 ct/kWh _{th})			
	Ketel met biogas als brandstof (3,7 ct/kWh _{th})			
	Ketel met vaste biomassa als brandstof met 8000 vollasturen (5,8 ct/kWh _{th})			
	Stoomketel voor industrie (6,1 ct/kWh _{th})			
	Ketel met vaste biomassa als brandstof met 2750 vollasturen (7,5 ct/kWh _{th})			
	Bio-WKK (stoomturbine): (11,0 ct/kWh _{th})			
			Ketel met bio-olie (dierlijk) als brandstof (12,2 ct/kWh _{th})	
				Bio-WKK (gasmotor) mestcovergisting (16,1 ct/kWh _{th})

Veel initiatieven om hernieuwbare warmte af te zetten, kunnen effectief ondersteund worden via een generieke regeling met een exploitatievergoeding zoals de SDE+. Zo komen ECN/KEMA in dit rapport tot de conclusie dat veel initiatieven te clusteren zijn in generieke categorieën die bij de SDE-regeling gebruikelijk zijn. Bij een indeling in een beperkt aantal categorieën (<10)

kan voor elke categorie een basisbedrag bepaald worden op een niveau dat effectieve ondersteuning geboden wordt, zonder veel overstimulering te bieden. In gesprekken met marktpartijen is gebleken dat het toepassen van de premiestructuur als vanzelfsprekende constructie gezien wordt. In dit rapport worden ook keuzes voorgelegd om een correctiebedrag te bepalen. Door gebrek aan een marktindex voor de prijs van warmte, dient het correctiebedrag op basis van een afgeleide index berekend te worden. Voorgesteld wordt om het correctiebedrag voor warmte, met enige afslagen, te baseren op de gasprijs. Dit is in analogie met het niet-meer-dan-anders-principe dat ook in de praktijk bij warmteprojecten wel wordt toegepast. De exacte vertaalslag van gasprijs naar correctiebedrag is in dit rapport echter niet onderzocht.

Voor alle 100% hernieuwbare warmteopties, met uitzondering van ketel met (dierlijke) bio-olie als brandstof, liggen de indicatieve basisbedragen lager dan 9 ct/kWh_{th}. Voor een ketel met biogas als brandstof en voor alle opties van diepe geothermie ligt het indicatieve basisbedrag aanmerkelijk lager dan hernieuwbare-elektriciteits- en groen gasopties, zie ook Tabel 6.1. Bio-olie ligt niet voor de hand als brandstof voor een ketel, aangezien de brandstofkosten veel hoger liggen dan de warmtepreisen. Wel maakt de relatief eenvoudige opslag van bio-olie het mogelijk om een ketel te gebruiken voor biowarmte-inzet op piekvraagmomenten. Voor diepegeothermieopties is een beleidsperiode van 15 jaar en afschrijvings- en leningstermijn van 30 jaar aangenomen, terwijl voor alle andere opties van 12 jaar is uitgegaan. Dit maakt de basisbedragen niet volledig vergelijkbaar. Indien voor geothermieopties ook 12 jaar voor zowel beleidsperiode als afschrijvings- en leningstermijnen wordt gehanteerd, zullen de basisbedragen stijgen tot resp. 4,3, 4,6 en 3,7 ct/kWh_{th}. Ook deze basisbedragen zijn nog steeds lager dan de basisbedragen van de hernieuwbare-elektriciteits- en groengasopties.

In 2011 is de SDE+ gestart met een gefaseerde openstelling, waarbij alle opties die een lager basisbedrag hebben dan 9 ct/kWh_{th}, in de eerste fase kunnen indienen. Als in volgende jaren dezelfde fasering gehanteerd wordt, zullen veel hernieuwbare warmteopties in de eerste fase van openstelling al een SDE+ vergoeding kunnen aanvragen. Bij een hypothetisch basisbedrag van 6,5 ct/kWh_{th} en een correctiebedrag van 1,5 ct/kWh_{th} zal een hernieuwbare-warmteafzet van 2 TWh_{th} (gelijk aan ca. 7 PJ) een kasstroom van € 100 miljoen per jaar veroorzaken. De productie van 2 TWh is vergelijkbaar met 2 windparken op zee, of 1000 MW wind op land.

De vraag naar warmte (175 PJ) is beduidend groter dan het potentieel voor hernieuwbare warmte tot 2020 (62 PJ) in de voor deze rapportage relevante sectoren. Tot 2015 zal ook nog rekening gehouden dienen te worden met een geleidelijke ingroei van initiatieven in de projectenpijplijn. De verwachting is dat veel projecten voor hernieuwbare warmte in de eerste fase (<9 ct/kWh) de SDE-beschikking zullen kunnen aanvragen. Andere opties (hernieuwbare elektriciteit en groen gas) kunnen daardoor aanmerkelijke concurrentie krijgen van hernieuwbare warmte.

Afkortingen

AVI	Afvalverbrandingsinstallatie
CAR	<i>Construction all risk</i> , bouwverzekering
COP	<i>Coefficient of performance</i> , prestatiecoëfficiënt
EIA	Energieinvesteringsaftrek
EL&I	Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie
ETS	<i>Emissions Trading System</i> , Emissiehandelssysteem
GvO	Garanties van oorsprong
IEA	Internationaal energieagentschap
IRE	Investeringsregeling in energiebesparing
LEI	Landbouw Economische Instituut
LT	Lagetemperatuurverwarmingsnet
MEI	Marktintroductie energieinnovaties
MER	Milieu-effectrapportage
MIA	Milieu-investeringsaftrek
O&M	<i>Operation&Maintenance</i> , Onderhoud&Beheer
ORC	Organische Rankine cyclus
OT	Onrendabele top
PS	Processtoom
SDE	Stimulering duurzame energieproductie
SPF	<i>Seasonal performance factor</i> , seizoensprestatiefactor
SV	Stadsverwarming
WKK	Warmtekrachtkoppeling
WKO	Warmtekoudeopslag

Referenties

- Agentschap NL (2010): *Warmte in Nederland*. Januari 2010.
- Daniëls, B.W., H.E. Elzenga, Beurskens, L.W.M., Geilenkirchen, G., Hanschke, C.B., Hoen, A., Kieboom, S., Lensink, S.M., Menkveld, M., Kroon, P., Peek, K., Roeterdink, W.G.; Schijndel, M. van; Seebregts, A.J.; Sipma, J.M.; Tigchelaar, C.; Verdonk, M., Vethman, P., Volkers, C.H., Wetzels, W. (2010a): *Aanvullende beleidsopties Schoon en Zuinig*. Planbureau voor de Leefomgeving, ECN-E--10-015, april 2010.
- Daniëls, B.W., S. Kruitwagen, L.W.M. Beurskens, P.A. Boot, E.Drissen, J. van Deurzen, H.E. Elzenga, G. Geilenkirchen, J. Gerdes, C.B. Hanschke, M. Hekkenberg, A. Hoen, B. Jimmink, S. Kieboom, S.M. Lensink, S.L. Luxembourg, M. Menkveld, P. Kroon, K. Peek, A.J. Plomp, M. van Schijndel, A.J. Seebregts, J.P.M. Sijm, J.M. Sipma, S. van der Sluis, J. van Stralen, C. Tigchelaar, M.A. Uytterlinde, M. Verdonk, P. Vethman, C.H. Volkers, W. Wetzels, A. De Vita, H. Wilting (2010b): *Referentieraming energie en emissies 2010-2020*. Energieonderzoek Centrum Nederland en Planbureau voor de Leefomgeving, ECN-E--10-004, april 2010
- Geelen, C.P.J.M. (2009): *Second Opinion semi gesloten-kassen met warmtekracht en warmtepompsystemen, Optimaal Installatie Ontwerp*. Builddesk Benelux B.V., 2009.
- Lako, P., S.L. Luxembourg, A.J. Ruiter, B. in 't Groen (2011): *Geothermische energie en de SDE; inventarisatie van de kosten van geothermische energie bij opname in de SDE en van import van geothermische elektriciteit uit IJsland*. ECN-E--11-022, februari 2011.
- Lensink, S.M., J.A. Wassenaar, S.L. Luxembourg, C.J. Faasen, M. Mozaffarian (2010): *Eindadvies basisbedragen 2011 voor elektriciteit en groen gas in het kader van de SDE-regeling*. ECN-E--10-082, september 2010.
- Openstelling SDE+ 2011*. Brief van de Minister van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal, 22 april 2011.
- Pfeiffer, E. (2008): *Referentiecasses warmte in SDE (vertrouwelijk)*. Notitie advies SDE 2009/10 ECN/KEMA.
- Renewable Heat Incentive*. UK Department of Energy & Climate Change, March 2011.
- Ruijs, M.N.A., M.G.M. Raaphorst, Y. Dijkxhoorn (2010): *Meer mogelijkheden voor energie-zuinige teeltconditionering, Economische perspectieven*. LEI Wageningen UR, Den Haag, 2010.
- Schepers, B.L., M.P.J. van Valkengoed (2009): *Overzicht van grootschalige en kleinschalige warmtenetten in Nederland*. CE Delft, publicatienummer: 09.3031.45, 2009
- Te Buck, S., B. van Keulen, L. Bosselaar, T. Gerlagh (2010): *Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie Update 2010, Methodiek voor het berekenen en registreren van de bijdrage van hernieuwbare energiebronnen*, Agentscha NL, 2010.
- Velden, N. van der, P. Smit (2010): *Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2009*. LEI, den Haag, 2010.