

# **WKK-potentieel in de chemische industrie**

**W. Wetzels**

**B.W. Daniëls**

**A.J. Seebregts**

## Verantwoording

De VNCI laat een onderzoek uitvoeren naar het potentieel voor WKK-uitbreiding tot 2020 in de Nederlandse chemische industrie en de daaraan gerelateerde energiebesparing en CO<sub>2</sub>-reductie. In het eerste kwartaal van 2009 heeft PricewaterhouseCoopers het WKK-potentieel in kaart gebracht door middel van een enquête onder de leden van de VNCI. In dit rapport presenteert ECN scenarioresultaten en een analyse van de marktomstandigheden voor WKK in de chemie op basis van de enquêteresultaten en uitgangspunten die in overleg met de VNCI zijn vastgesteld. Dit project staat bij ECN geregistreerd onder projectnummer 5.0270. Contactpersoon is W. Wetzels (0224-568288, wetzels@ecn.nl).

## Abstract

The Netherlands Chemical Industry Association (VNCI) is investigating the potential for expansion of the CHP capacity in the Dutch chemical industry. This report discusses the return on investment for CHP installations and the market conditions. Moreover, scenario results are presented for the CHP potential and the development of CHP in the chemical industry until 2020.

## Inhoud

Lijst van tabellen	4
Lijst van figuren	4
Samenvatting	5
Inleiding	8
1. Commodityprijzen	9
2. Karakteristieken van de WKK-cases	12
3. Effect van het EU ETS	14
4. Sparksreads van de WKK-cases	16
5. Onrendabele top	24
6. Energiebesparingen en emissiereductie	34
6.1 Methodes voor bepaling energiebesparingen en emissiereductie	34
6.2 Resultaten energiebesparingen en emissiereductie	35
7. Scenarioresultaten ontwikkeling WKK in de chemie	37
7.1 Technisch WKK-potentieel	37
7.2 Scenarioresultaten	39
8. Conclusie	43
Referenties	44
Bijlage A Energie-investeringsaftrek (EIA)	45

## Lijst van tabellen

Tabel 1.1	<i>Commodityprijzen aardgas, elektriciteit en emissierechten</i>	9
Tabel 2.1	<i>Karakteristieken van de WKK-cases</i>	12
Tabel 3.1	<i>Kosten voor aankoop van emissierechten voor WKK-cases ten gevolge van wijziging van allocatiemethode en kosten voor aankoop van emissierechten voor een gascentrale en een kolencentrale</i>	15
Tabel 5.1	<i>Resultaten onrendabele top berekening 2009 (Hers e.a., 2009)</i>	24
Tabel 5.2	<i>Financieel-economische en technische parameters elektriciteitsopwekking</i>	32
Tabel 5.3	<i>CO<sub>2</sub> emissie voor elektriciteitsopwekking</i>	33
Tabel 6.1	<i>Besparing PME voor de WKK-cases t.o.v. elektriciteitspark 1995</i>	35
Tabel 6.2	<i>Besparing voor de WKK-cases t.o.v. elektriciteitspark 2020</i>	35
Tabel 6.3	<i>Besparing voor de WKK-cases volgens het CHP directive</i>	36
Tabel 7.1	<i>Inschatting van technische WKK-potentiëlen voor de chemische industrie</i>	39
Tabel A.1	<i>Hoogte van de energie-investeringsaftrek voor de WKK-cases</i>	45

## Lijst van figuren

Figuur 1.1	<i>Forwardprijzen en scenarioprijs voor elektriciteit</i>	10
Figuur 3.1	<i>EUA prijsverwachtingen, 2010 en 2020</i>	15
Figuur 4.1	<i>Sparksreads WKK-case Grote STEG</i>	17
Figuur 4.2	<i>Sparksreads WKK-case Kleine STEG</i>	17
Figuur 4.3	<i>Sparksreads WKK-case Grote gasturbine</i>	19
Figuur 4.4	<i>Sparksreads WKK-case Kleine gasturbine</i>	19
Figuur 4.5	<i>Sparksreads WKK-case Grote gasmotor</i>	20
Figuur 4.6	<i>Sparksreads WKK-case Kleine gasmotor</i>	20
Figuur 4.7	<i>Sparksreads WKK-case Gasturbine met gestookt crude fornuis</i>	21
Figuur 4.8	<i>Sparksreads WKK-case Voorgeschakelde gasturbine</i>	21
Figuur 4.9	<i>Inkomstencomponenten van de sparksreads voor de WKK-cases tijdens de daluren (o.b.v. scenarioprijzen)</i>	22
Figuur 4.10	<i>Kostencomponenten van de sparksreads voor de WKK-cases tijdens de daluren (o.b.v. scenarioprijzen)</i>	23
Figuur 5.1	<i>Onrendabele top resultaten WKK-case Grote STEG</i>	26
Figuur 5.2	<i>Onrendabele top resultaten WKK-case Kleine STEG</i>	26
Figuur 5.3	<i>Onrendabele top resultaten WKK-case Grote gasturbine</i>	27
Figuur 5.4	<i>Onrendabele top WKK-case Kleine gasturbine</i>	27
Figuur 5.5	<i>Onrendabele top resultaten WKK-case grote gasmotor</i>	28
Figuur 5.6	<i>Onrendabele top resultaten WKK-case kleine gasmotor</i>	28
Figuur 5.7	<i>Onrendabele top resultaten WKK-case Gasturbine met gestookt crude fornuis</i>	29
Figuur 5.8	<i>Onrendabele top resultaten WKK-case Voorgeschakelde gasturbine</i>	29
Figuur 5.9	<i>Onrendabele top bij scenarioprijzen, met allocatiemethode van de derde handels-periode en warmtekorting</i>	30
Figuur 5.10	<i>Integrale kosten elektriciteitsproductie bij scenarioprijzen, met allocatiemethode van de derde handelsperiode en warmtekorting</i>	31
Figuur 5.11	<i>Kosten voor elektriciteitsopwekking bij scenarioprijzen</i>	32
Figuur 7.1	<i>Ontwikkeling van de warmtevraag in de chemische industrie onder scenario-aannames</i>	38
Figuur 7.2	<i>Scenarioresultaat voor de ontwikkeling van het opgesteld WKK-vermogen in de chemische industrie</i>	40
Figuur 7.3	<i>Scenarioresultaat voor de ontwikkeling van toepassing van WKK in de chemische industrie</i>	41
Figuur 7.4	<i>Emissiereductie WKK in de chemie ten opzichte van gescheiden opwekking in 2020</i>	42

## Samenvatting

De Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie (VNCI) laat een onderzoek uitvoeren naar het potentieel voor WKK-uitbreiding in de Nederlandse chemische industrie tot 2020 en de daaraan gerelateerde (potentiële) energiebesparing en CO<sub>2</sub>-reductie. Het doel van de VNCI is om vast te stellen welke economische en beleidsmatige voorwaarden nodig zijn om het WKK-potentieel in de Nederlandse chemie te realiseren.

In het eerste kwartaal van 2009 heeft PricewaterhouseCoopers het WKK-potentieel in kaart gebracht door middel van een enquête onder de leden van de VNCI. De enquêteresultaten zijn gebruikt voor dit rapport van ECN. De doelstellingen van dit rapport zijn:

- De marktpositie van WKK en de rentabiliteit van investeringen in WKK in beeld te brengen.
- Resultaten te geven voor de potentiële energiebesparing en emissiereductie die te realiseren zijn door de inzet van WKK.
- Een scenario te presenteren voor het WKK-potentieel in de chemische industrie tot 2020.

De modelanalyses zijn door ECN uitgevoerd op basis van uitgangspunten die in overleg met de VNCI zijn vastgesteld. De gebruikte methodiek en parameterisering sluiten grotendeels aan bij de onrendabele top methodiek van ECN. Op verzoek van de VNCI zijn ook berekeningen gemaakt op basis van enkele door de VNCI gespecificeerde uitgangspunten. Dit betreft de warmtekorting, het aantal draaiuren van de WKK-cases, extra kosten voor flexibiliteit van installaties en de groeiverwachtingen voor de chemische industrie.

De marktomstandigheden voor WKK worden bepaald door de ontwikkeling van de prijzen van elektriciteit, brandstof en CO<sub>2</sub>-emissierechten. Om een beeld te geven van de marktpositie zijn sparkspreads berekend. De sparkspread voor WKK<sup>1</sup> geeft inzicht in de marginale opbrengsten, d.w.z. de opbrengsten exclusief vaste lasten. Deze marginale opbrengsten zijn bepalend voor de beslissing om een installatie al dan niet te laten draaien.

De sparkspreads zijn berekend voor een achttal WKK-cases. De berekeningen zijn zowel uitgevoerd met forwardprijzen voor de periode 2008-2011 als met een lange-termijn prijsscenario. Uit de resultaten valt te concluderen dat tijdens de piekuren de marginale opbrengsten voor alle cases hoog genoeg zijn om de marginale kosten te dekken. Als er warmtevraag bestaat, zullen de installaties daarom tijdens de piekuren zo veel mogelijk worden ingezet. Lage of negatieve sparkspreads gedurende de daluren komen bij sommige cases (met name de STEG cases) echter wel voor.

Flexibel inzetbare WKK-installaties kunnen worden teruggeregeld of uitgezet als de opbrengsten onvoldoende zijn. Door flexibel inzetbare WKK-installaties te bouwen kunnen mogelijke verliezen in de daluren worden beperkt. Ook kunnen de economische risico's van WKK-exploitatie worden verminderd door voor installaties met een hogere warmte/krachtverhouding te kiezen. Beide strategieën leiden echter wel tot een lagere energiebesparing in absolute zin.

Om een beeld te geven van de rentabiliteit van investeringen in WKK is voor elk van de WKK-cases een onrendabele top berekend. Bij de berekeningen is uitgegaan van een warmtekorting van 10% voor WKK-installaties die niet in eigendom zijn van de afnemer van de warmte. De warmtekorting wordt verondersteld van toepassing te zijn omdat een afnemer van warmte de keuze heeft tussen warmte afnemen van een WKK-exploitant enerzijds en inzet van een ketel anderzijds. De warmteafnemer kan mogelijk gebruik maken van zijn onderhandelingspositie,

---

<sup>1</sup> Gewoonlijk wordt de sparkspread gedefinieerd als de marge die resulteert wanneer de opbrengst van de elektriciteit (per kWh) wordt verminderd met de kosten van het verbruikte gas. In dit rapport wordt het begrip verbreed.

omdat hij de voorkeur kan geven aan plaatsing en exploitatie van een eigen ketel. De omvang van de warmtekorting in praktijksituaties is moeilijk vast te stellen.

In de berekeningen is er verder ook rekening mee gehouden dat er in de derde handelsperiode van het emissiehandelssysteem EU ETS (2013-2020) een nieuwe methode voor de allocatie van emissierechten zal worden gebruikt.<sup>2</sup> De verwachte wijziging van de allocatiemethode vanaf 2013 heeft voor alle cases een verslechtering van de sparksread tot gevolg.

Als wordt uitgegaan van de scenarioprijzen (en met de warmtekorting en de nieuwe allocatiemethode wordt gerekend) hebben de Grote gasturbine, de Grote gasmotor en de twee cases voor WKK met directe warmtebenutting geen onrendabele top. De beide STEG-cases, de Kleine Gasmotor en de Kleine Gasturbine kennen wel een onrendabele top. Als een case een positieve onrendabele top heeft, betekent dit dat de opbrengsten van WKK-exploitatie onvoldoende zijn om een rendement op eigen vermogen van 15% te realiseren. (Bij deze berekeningen wordt uitgegaan van een verhouding van vreemd en eigen vermogen van 80:20, en een rente over vreemd vermogen van 6%).

Er worden in dit rapport ook resultaten gepresenteerd voor de onrendabele top waarbij wordt uitgegaan van de ETS2 allocatiemethode en zonder warmtekorting. In dit geval zijn de onrendabele toppen significant lager. Wanneer extra flexibiliteitskosten worden meegenomen volgt voor de gasturbines en STEGs een wat hogere onrendabele top. Om een belangrijke rol te kunnen blijven spelen in de toekomstige elektriciteitsvoorziening zal WKK moeten kunnen concurreren met alternatieve manieren van elektriciteitsopwekking. Om de technologieën te kunnen vergelijken worden de integrale kosten voor elektriciteitsopwekking met WKK en met kolen- en aardgascentrales (met en zonder CO<sub>2</sub> afvang en -opslag) naast elkaar gezet.

In dit rapport wordt een aantal methodes geïntroduceerd die gebruikt kunnen worden om de besparing en emissiereductie van WKK te bepalen. De te hanteren methode hangt af van het beoogde doel. De inzet van WKK leidt tot significante besparingen bij alle gebruikte methodes, maar de methodes resulteren stuk voor stuk wel in aanzienlijk verschillende besparingspercentages omdat verschillende referenties voor gescheiden opwekking worden gebruikt.

In het rapport wordt een scenario gepresenteerd voor de ontwikkeling van de toepassing van WKK in de chemie tot 2020, met daarbij een aantal gevoeligheidsanalyses. Het scenario geeft een beeld van de mogelijke groei van WKK in de chemische industrie. Er vindt een toename van de inzet plaats bij de installaties die uit de onrendabele top berekeningen als rendabel naar voren komen, m.n. bij de grote gasturbines, grote gasmotoren en WKK-installaties met directe warmtebenutting. De energiebesparing en emissiereductie nemen in de periode 2005-2020 toe, maar er wordt maar een beperkt deel van het technische potentieel voor WKK gerealiseerd.

Op basis van scenario-aannames over de groei van de chemische industrie wordt ingeschat dat er een aanzienlijk technisch potentieel bestaat voor nieuwe WKK tot 2020. Het potentieel voor nieuw WKK-vermogen dat kan voorzien in de stoomvraag wordt ingeschat op 1100 MW<sub>e</sub>. Voor nieuwe WKK met directe warmtebenutting wordt het potentieel ingeschat op 400 MW<sub>e</sub>. Daarnaast bestaat er ook technisch potentieel voor een betere benutting van de bestaande WKK-capaciteit. Er moet hierbij wel opgemerkt worden dat het belang van de technische potentiëlen beperkt is en dat de rol en het aandeel van WKK sterk contextafhankelijk zijn. Met WKK met directe warmtebenutting bestaat nog weinig ervaring, waardoor de onzekerheden vooral voor dit type WKK groot zijn.

---

<sup>2</sup> In de huidige tweede handelsperiode (ETS2: 2008-2012) bestaat een aparte regeling voor investeringen in nieuw productievermogen die voorziet in vrije toekenning van CO<sub>2</sub>-emissierechten op grond van de verwachte CO<sub>2</sub> emissies van de nieuwe installatie.

Alle berekeningen in dit rapport zijn gebaseerd op scenario's en andere aannames, die uiteraard met onzekerheden zijn omgeven. Bij de interpretatie van de numerieke resultaten dient men met het bestaan van mogelijk omvangrijke onzekerheden rekening te houden. De achtergrond van de keuze van scenario's en overige aannames zijn in dit rapport aangegeven. Een analyse van de onzekerheden maakt geen onderdeel uit van dit rapport.

## Inleiding

De Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie (VNCI) laat een onderzoek uitvoeren naar het potentieel voor WKK-uitbreiding in de Nederlandse chemische industrie tot 2020 en de daaraan gerelateerde (potentiële) energiebesparing en CO<sub>2</sub>-reductie. Het doel van de VNCI is om vast te stellen welke economische en beleidsmatige voorwaarden nodig zijn om het WKK-potentieel in de Nederlandse chemie te realiseren.

In het eerste kwartaal van 2009 heeft PricewaterhouseCoopers het technisch WKK-potentieel in kaart gebracht door middel van een enquête onder de leden van de VNCI (PwC, 2009). Aan dit onderzoek hebben 40 bedrijven binnen de chemie meegewerkt. PwC concludeert dat er aanvullend technisch potentieel beschikbaar is, maar dat zekerheid en robuust beleid belangrijke randvoorwaarden zijn voor verdere groei van WKK in de chemie.

De enquêteresultaten zijn gebruikt voor dit rapport van ECN. De doelstellingen van dit rapport zijn:

- De marktpositie van WKK en de rentabiliteit van investeringen in WKK in beeld te brengen.
- Resultaten te geven voor de potentiële energiebesparing en emissiereductie die te realiseren zijn door de inzet van WKK.
- Een scenario te presenteren voor het WKK-potentieel in de chemische industrie tot 2020.

Om een beeld te geven van de marktomstandigheden en aantrekkelijkheid van investeringen in WKK worden de sparkspreads en de onrendabele top berekend. Hiervoor worden de te gebruiken commodityprijzen voor elektriciteit, brandstof en CO<sub>2</sub>-emissierechten vastgelegd in Hoofdstuk 1. Om de kosten en opbrengsten van WKK-exploitatie te bepalen wordt een aantal WKK-cases als uitgangspunt genomen (Hoofdstuk 2) en wordt toegelicht wat het effect is van de wijziging van de allocatiemethode voor CO<sub>2</sub>-emissierechten in de derde handelsperiode van het EU ETS (Hoofdstuk 3). Achtereenvolgens worden dan resultaten voor de sparkspreads (Hoofdstuk 4) en de onrendabele top van de WKK-cases (Hoofdstuk 5) gepresenteerd. Hoofdstuk 6 gaat in op de besparing en emissiereductie van WKK. Tenslotte geeft Hoofdstuk 7 resultaten voor het technisch WKK-potentieel en een modelscenario voor de ontwikkeling van WKK in de Nederlandse chemische industrie tot 2020.

De modelanalyses zijn door ECN uitgevoerd op basis van uitgangspunten die in overleg met de VNCI zijn vastgesteld. De gebruikte methodiek en parameterisering sluiten grotendeels aan bij de onrendabele top methodiek van ECN. Op verzoek van de VNCI zijn ook berekeningen gemaakt op basis van enkele door de VNCI gespecificeerde uitgangspunten. Dit betreft de warmtekorting, het aantal draaiuren van de WKK-cases, extra kosten voor flexibiliteit van installaties en de groeiverwachtingen voor de chemische industrie.

Alle berekeningen zijn gebaseerd op scenario's en andere aannames, die uiteraard met onzekerheden zijn omgeven. Bij de interpretatie van de numerieke resultaten dient men met het bestaan van mogelijk omvangrijke onzekerheden rekening te houden. De achtergrond van de keuze van scenario's en overige aannames zijn in dit rapport aangegeven. Een analyse van de onzekerheden maakt geen onderdeel uit van dit rapport.



## 1. Commodityprijzen

De ontwikkeling van de prijzen van elektriciteit, brandstof en CO<sub>2</sub>-emissierechten zijn in hoge mate bepalend voor de rentabiliteit van investeringen in WKK-installaties. ECN voert jaarlijks onrendabele top berekeningen uit voor het Ministerie van Economische Zaken om inzicht te geven in de rentabiliteitspositie van WKK. Bij de onrendabele top berekeningen voor 2009 (Hers e.a., 2009) zijn gemiddelde scenarioprijzen behorend bij het UR-GE scenario van de Actualisatie van de Referentieramingen energie en emissies van ECN en PBL gebruikt (Daniëls e.a., 2009). De brandstofprijzen in dit scenario zijn gebaseerd op het PRIMES 2007 baseline scenario (Europese Commissie, 2008) en het achtergrondscenario is het Global Economy scenario.

In Tabel 1.1 zijn naast deze scenarioprijzen ook gemiddelde forwardnoteringen opgenomen voor aardgas, elektriciteit en CO<sub>2</sub>-emissie certificaten. Hierbij worden de dagelijkse handelsprijzen gemiddeld over een handelsperiode van één jaar voorafgaand aan het jaar van levering.

Tabel 1.1 *Commodityprijzen aardgas, elektriciteit en emissierechten*

	Aardgas <sup>3</sup> [ct/m <sup>3</sup> ]	Elektriciteit (piek) <sup>4</sup> [€MWh]	Elektriciteit (dal) <sup>5</sup> [€MWh]	EUA <sup>6</sup> [€ton]
UR-GE Scenario 2009-2020	21,8	80,2	62,2	35,3
Forwardprijzen 2008 <sup>7</sup>	20,2	81,8	40,3	18,1
Forwardprijzen 2009 <sup>8</sup>	29,6	98,1	53,9	24,2
Forwardprijzen 2010 <sup>9</sup>	25,0	86,5	46,3	18,2
Forwardprijzen 2011 <sup>10</sup>	27,3	89,4	46,3	19,0

Zowel de forwardprijzen als het lange-termijn scenario zullen in deze rapportage gebruikt worden om de rentabiliteit van WKK inzichtelijk te maken. Het is daarom belangrijk om aan te geven wat de beperkingen zijn van de forwardprijzen en het lange-termijn scenario respectievelijk. De meest gangbare onrendabele top wordt gebaseerd op year-ahead forward prijzen. De verwachtingen met betrekking tot de onrendabele top op langere termijn kunnen eventueel geëvalueerd worden op basis van langere termijn forwards en/of langere termijn scenario's.

### *De forwardmarkt voor elektriciteit*

De year-ahead forwardmarkt vertoont veruit de grootste omzet in de Nederlandse electriciteitsmarkt. Dat wil zeggen dat de meeste stroom op year-ahead basis verhandeld wordt. De forwardmarkt heeft als belangrijk voordeel boven de spotmarkt dat zij de mogelijkheid biedt de winstmarge van tevoren vast te leggen door gelijktijdig gas in te kopen en stroom te verkopen. Het feit dat de year-ahead markt de grootste omzet vertoont suggereert dat de meeste partijen dit enkel op year-ahead basis doen.

<sup>3</sup> Forwardprijzen zijn gebaseerd op de Endex. Prijzen voor hoogcalorisch gas zijn omgerekend naar de volumeprijs van Groninger gas met behulp van de calorische waarde die gehanteerd wordt door Gasterra. De calorische bovenwaarde is 35,17 MJ/m<sup>3</sup>. Forwardprijzen voor aardgas voor 2012 zijn dit moment nog niet beschikbaar voor een handelsperiode van een volledig jaar.

<sup>4</sup> Forwardprijzen zijn gebaseerd op Endex, pieklast.

<sup>5</sup> Forwardprijzen zijn gebaseerd op Endex, pieklast en basislast.

<sup>6</sup> EU emission Allowance (EUA). Forwardprijzen zijn gebaseerd op Point Carbon- EUA markt.

<sup>7</sup> Gemiddelde prijzen voor de handelsperiode oktober 2006 tot oktober 2007.

<sup>8</sup> Gemiddelde prijzen voor de handelsperiode oktober 2007 tot oktober 2008.

<sup>9</sup> Gemiddelde prijzen voor de handelsperiode juli 2008 tot juli 2009.

<sup>10</sup> Gemiddelde prijzen voor de handelsperiode juli 2008 tot juli 2009.

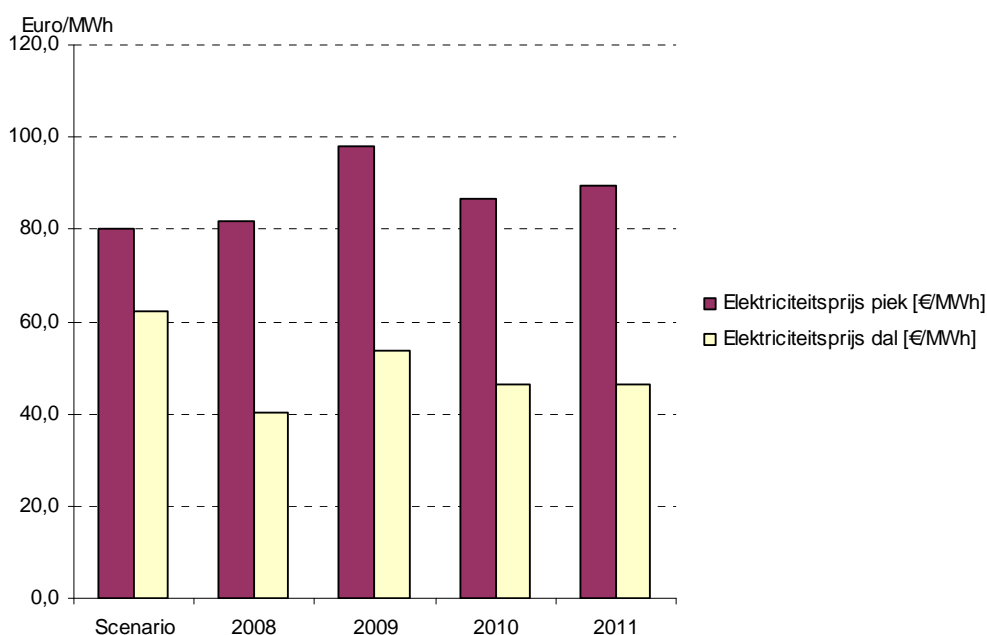
Het is van belang om op te merken dat forwardprijzen voor meerdere jaren vooruit geen voorspellende waarde hebben voor year-ahead forward prijzen die betrekking hebben op dezelfde leveringsperiode. Over het algemeen volgen forwardprijzen voor meerdere jaren vooruit in een bepaalde handelsperiode de year-ahead forward prijzen in diezelfde handelsperiode, met een bepaalde discontovoet die varieert van ruwweg 2% tot 10%. Derhalve zijn forwardprijzen voor meerdere jaren vooruit feitelijk niet veel meer dan een reflectie van de year-ahead forward prijzen. De forwardprijzen voor 2010 en 2011 bevatten daarom in feite dezelfde informatie en reflecteren dezelfde marktverwachting.

### *Het lange-termijn scenario*

Het lange-termijn scenario is opgesteld met een structureel elektriciteitsmarktmodel op basis van onderliggende scenario's voor brandstofprijzen, de ontwikkeling van de productiecapaciteit en de ontwikkeling van de interconnectiecapaciteit. Bij de middeling van de prijzen over de gehele periode 2009 – 2020 gaat veel informatie verloren. Door de toenemende brandstofprijzen lopen de vermeden warmtekosten in de periode 2009 – 2020 op, terwijl de elektriciteitsproductiecapaciteit toeneemt. De eerste ontwikkeling is gunstig voor de rentabiliteit van WKK, terwijl de tweede ongunstig is.

### *Vergelijking van de forwardprijzen met het lange-termijn scenario*

Er bestaan duidelijke verschillen tussen de scenario-prijzen en de forwardprijzen. De forwardprijzen voor aardgas liggen voor de jaren 2009 t/m 2011 hoger dan de gemiddelde scenario-prijs. Figuur 1.1 laat zien dat het verschil in elektriciteitsprijs tussen piek- en daluren in het scenario gemiddeld kleiner is dan bij de forwardnoteringen voor 2008 t/m 2011. Verder ligt in het scenario de gemiddelde elektriciteitsprijs in de daluren hoger en in de piekuren juist lager.



Figuur 1.1 *Forwardprijzen en scenario-prijs voor elektriciteit*

Deze verschillen illustreren dat er grote onzekerheden bestaan. Het lange-termijn scenario is geen voorspelling en er is voorzichtigheid nodig bij het interpreteren van de resultaten. Er zijn een aantal factoren te noemen die ten dele een verklaring bieden voor afwijkingen tussen het scenario en de forwardprijzen:

- De gemiddelde CO<sub>2</sub>-prijs is in het scenario ongeveer 35 €/ton. De forwardnoteringen voor de CO<sub>2</sub>-prijs zijn aanzienlijk lager. Een hogere CO<sub>2</sub> prijs leidt tot een hogere elektriciteitsprijs vanwege het doorberekenen van de kosten van emissierechten door elektriciteitsproducenten (Sijm *e.a.*, 2005). CO<sub>2</sub> prijzen hebben een belangrijk prijsopdrijvend effect in de daluren

omdat kolengestookte centrales (die in deze uren prijszettend zijn) relatief hoge emissies kennen.

- In het scenario wordt uitgegaan van een relatief hoge economische groei. Door de huidige recessie is er op dit moment een lagere vraag naar elektriciteit.
- Er is grootschalige nieuwbouw van elektriciteitscentrales gepland in de periode tot 2020. Dit is een belangrijke prijsverlagende factor. De scenarioprijzen zijn een gemiddelde over de periode 2009-2020 en dus niet direct vergelijkbaar met de forwardprijzen voor 2008-2011.

In hoeverre de afwijkingen tussen de year-ahead forwardprijzen en het scenario structureel zijn zal moeten blijken.

De marktomstandigheden voor WKK kunnen snel veranderen. Voor investeerders in WKK bestaat er grote onzekerheid ten aanzien van de ontwikkeling van de marktprijzen. Dit bemoeilijkt investeringsbeslissingen. Door er voor te kiezen flexibel inzetbare WKK te bouwen kunnen investeerders mogelijke verliezen in de daluren beperken. Flexibele installaties kunnen namelijk worden uitgezet of afgeregeld als de opbrengsten de kosten niet dekken.

## 2. Karakteristieken van de WKK-cases

Om inschattingen van de rentabiliteit van investeringen te kunnen maken worden de WKK-installaties geparameteriseerd. Bij de keuze voor de technisch-economische parameters voor nieuwe installaties wordt in belangrijke mate aangesloten bij de standaard WKK-cases die zijn gebruikt voor de onrendabele top berekeningen 2009. Bij het vastleggen van deze cases is onder andere gebruikt gemaakt van onderzoek door Jacobs Consultancy (Van der Marel e.a., 2008, Jacobs Consultancy, 2008). De eigenschappen van werkelijke installaties kunnen afwijken van de karakteristieken van de WKK-cases die hier zijn gebruikt.

Ook worden twee nieuwe WKK-cases geïntroduceerd met directe warmtebenutting<sup>11</sup> (in tegenstelling tot de andere WKK-cases die in de stoomvraag voorzien). De eerste case is een 25 MW<sub>e</sub> gasturbine met gestookt crude fornuis en afgassenketel. De tweede case is een gasturbine die wordt voorgeschakeld voor een fornuis. Omdat er voor deze cases geen recente kosteninschattingen beschikbaar zijn worden de investeringen per kW<sub>e</sub> gelijk verondersteld aan die van de Grote gasturbine-case. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de belangrijkste karakteristieken van de in dit rapport gebruikte WKK-cases.

In afwijking van de standaard cases wordt in dit rapport uitgegaan van 8000 vollasturen voor de STEGs en gasturbines, omdat dit beter aansluit bij het basislast karakter van een groot deel van de warmtevraag in de chemische industrie. Statistische data van het CBS geven echter aan dat er in de praktijk ook in de chemische industrie gemiddeld een lager aantal vollasturen wordt gerealiseerd.

Tabel 2.1 *Karakteristieken van de WKK-cases*

WKK-case	Vermogen [MW <sub>e</sub> ]	Elektrisch rendement* [%]	Thermisch rendement [%]	Vollast draaiuren	Investering [€kW <sub>e</sub> ]	Investering [mln €]
Grote STEG	250	43	27	8000	939	234,6
Kleine STEG	60	41	34	8000	1258	75,5
Grote gasturbine	45	28	61	8000	1020	45,9
Kleine gasturbine	8	25	64	8000	1543	12,3
Grote gasmotor	2	41	49	4000	578	1,2
Kleine gasmotor	0,4	34	52	3200	840	0,34
Gasturbine met gestookt crude fornuis	24,6	18,4	69,1	8000	1020	25,1
Voorgeschakelde gasturbine	12	16	76	8000	1020	12,2

\* Het elektrische rendement voor de STEGs betreft een schatting waarbij rekening gehouden wordt met veroudering van de installatie en start/stop en deellastbedrijf. Bij de gasturbines wordt slechts rekening gehouden met veroudering. Hierin volgt ECN de aanbeveling van Jacobs Consultancy.

In afwijking van de aannames bij de onrendabele top berekeningen 2009 wordt bij de scenario-berekeningen voor de VNCI uitgegaan van een warmtekorting van 10% voor WKK-installaties die niet in eigendom zijn van de afnemer van de warmte. De warmtekorting wordt verondersteld van toepassing te zijn omdat een afnemer van warmte de keuze heeft tussen warmte afnemen van een WKK-exploitant enerzijds en inzet van een ketel anderzijds. De warmteafnemer kan mogelijk gebruik maken zijn onderhandelingspositie, omdat hij de voorkeur kan geven aan plaatsing en exploitatie van een eigen ketel. De omvang van de warmtekorting in praktijksituaties is moeilijk vast te stellen.

<sup>11</sup> Dit wordt ook wel directe ondervuring genoemd.

Bij de onrendabele top berekeningen in Hoofdstuk 5 wordt uitgegaan van het aantal vollasturen dat gegeven is in Tabel 2.1. Er wordt geen rekening gehouden met meeropbrengsten als gevolg van de ontkoppeling van warmte en kracht. Bij de scenarioberekeningen met het 'Save productie' model in Hoofdstuk 7 wordt echter uitsluitend uitgegaan van de plaatsing van flexibel inzetbare WKK. Het aantal vollasturen kan van jaar tot jaar variëren en het model kan investeringen simuleren in installaties die groter of kleiner zijn dan de hierboven geïntroduceerde WKK-cases.

Om er rekening mee te houden dat er mogelijk extra kosten zijn verbonden aan plaatsing van flexibele WKK, wordt er in de berekeningen in de Hoofdstukken 5 en 7 ook een berekening uitgevoerd waarin deze kosten worden opgevoerd. Hiertoe maakt de VNCI de inschatting dat er sprake kan zijn van 10% hogere investeringskosten en 20% hogere bedienings- en onderhoudskosten.<sup>12</sup> Deze extra kosten zijn van toepassing voor de cases Grote STEG, Kleine STEG, Grote gasturbine en Kleine gasturbine. Voor de gasmotoren worden deze kosten niet opgevoerd omdat voor deze installaties geen additionele kosten zijn verbonden aan flexibiliteit. Deze installaties zijn al flexibel inzetbaar. Verder wordt ook voor de WKK-cases met directe warmtebenutting niet uitgegaan van extra flexibiliteitskosten.

---

<sup>12</sup> De extra investeringen zijn extra investeringen voor een continue warmteproductie (stoom) als de elektriciteitsproductie uitstaat of op minimum draait, en extra investeringen in verhoging van beschikbaarheid en betrouwbaarheid (met name ook startbetrouwbaarheid en op- en afregelbetrouwbaarheid).

### 3. Effect van het EU ETS

In 2005 is het Europees emissiehandelssysteem voor CO<sub>2</sub>-emissierechten in werking getreden. De eerste handelsperiode is in 2007 afgelopen.

In de huidige tweede handelsperiode (ETS2: 2008-2012) bestaat een aparte regeling voor investeringen in nieuw productievermogen die voorziet in vrije toekenning van CO<sub>2</sub>-emissierechten op grond van de verwachte CO<sub>2</sub> emissies van de nieuwe installatie. Het is mogelijk dat de toekenning afwijkt van de gerealiseerde emissies. Dit is hier niet onderzocht en bij de hier gepresenteerde resultaten is verondersteld dat de toekenning met de realisatie overeen stemt.

In de derde handelsperiode (ETS3: 2013-2020) zal een nieuwe methode voor de allocatie van emissierechten worden gebruikt. Hier wordt aangenomen dat de emissierechten zullen worden gealloceerd op basis van een benchmark voor warmteproductie. Daardoor is de hoeveelheid rechten die gratis worden ontvangen gelijk aan de hoeveelheid rechten die wordt ontvangen als de warmte op een alternatieve manier (met een ketel of fornuis) wordt opgewekt. Voor de extra brandstof die nodig is voor de elektriciteitsproductie met WKK-installaties zullen rechten moeten worden ingekocht.

De exacte hoogte van de benchmark is op dit moment nog niet vastgelegd. Hier wordt er vanuit gegaan dat de rechten toegewezen worden op basis van een benchmark die bepaald wordt door de rechten die nodig zouden zijn om dezelfde hoeveelheid warmte op te wekken met een ketel op aardgas met een rendement van 90%.

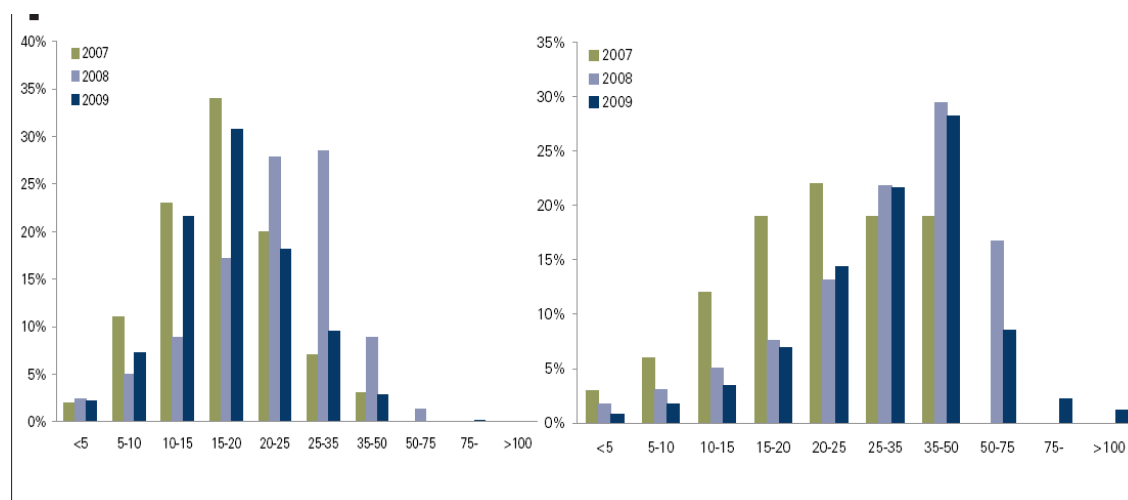
In vergelijking tot het allocatiemechanisme in de tweede handelsperiode brengt de wijziging van de allocatiemethode een extra kostenpost voor WKK-exploitanten met zich mee, omdat in dat geval niet alle benodigde rechten gratis worden verkregen. Voor de WKK-cases zijn de additionele kosten voor de aankoop van emissierechten gegeven in Tabel 3.1. De additionele kosten zijn de kosten voor de benodigde emissierechten, verminderd met de hoeveelheid rechten die nodig is voor productie van dezelfde hoeveelheid warmte. Ter illustratie is een indicatie van de veranderingen van de marginale kosten voor elektriciteitsproductie met een aardgascentrale en kolencentrale toegevoegd, waarbij is uitgegaan van een aardgascentrale met een rendement van 55% en een kolencentrale met een rendement van 40%. De kosten voor emissierechten leiden voor deze installaties tot een toename van de marginale kosten. De marginale kosten zijn bepalend voor de prijs die op de elektriciteitsmarkt tot stand komt.

Tabel 3.1 *Kosten voor aankoop van emissierechten voor WKK-cases ten gevolge van wijziging van allocatiemethode en kosten voor aankoop van emissierechten voor een gascentrale en een kolencentrale*

CO <sub>2</sub> -prijs [€/ton]		20	35	50	
Kosten aankoop emissierechten	Grote STEG	[€/MWh]	7	12	17
	Kleine STEG	[€/MWh]	6	11	15
	Grote gasturbine	[€/MWh]	5	8	12
	Kleine gasturbine	[€/MWh]	5	8	12
	Grote gasmotor	[€/MWh]	5	8	12
	Kleine gasmotor	[€/MWh]	5	10	14
	Gasturbine met gestookt crude fornuis	[€/MWh]	4	7	10
	Voorgeschakelde gasturbine	[€/MWh]	3	5	7
	Gascentrale (55% rendement)	[€/MWh]	7	13	19
	Kolencentrale (40% rendement)	[€/MWh]	17	30	43

De CO<sub>2</sub>-prijs wordt door elektriciteitsproducenten doorberekend in de elektriciteitsprijs. Omdat WKK minder emitteert dan de prijszettende elektriciteitsproductie werkt een hogere CO<sub>2</sub> prijs per saldo gunstig uit.

Bij de scenarioberekeningen wordt gerekend met een standaardvariant voor de CO<sub>2</sub>-prijs van 35 €/ton, en met varianten van 20 €/ton en 50 €/ton. In Figuur 3.1 staan resultaten van een enquête van Point carbon uit 'Carbon 2009' naar de verwachtingen van respondenten over de ontwikkeling van deze prijs tot 2020.



Figuur 3.1 *EUA prijsverwachtingen, 2010 en 2020*

Noot: Verwachtingen EUA prijzen in 2010 (links) 2020 (rechts). N=968 (2009).

Bron: Point Carbon (2009).

## 4. Sparksreads van de WKK-cases

Om een beeld te geven van de marktomstandigheden voor WKK worden in dit hoofdstuk resultaten gegeven voor de sparksreads voor de WKK-cases. De sparksread geeft inzicht in de marginale opbrengsten, d.w.z. de opbrengsten exclusief vaste lasten. Deze marginale opbrengsten zijn bepalend voor de beslissing om een installatie al dan niet te laten draaien.

In deze notitie wordt de sparksread voor WKK gedefinieerd als:

$$\begin{aligned} \text{Sparksread voor WKK} = &+ \text{Opbrengst verkoop elektriciteit} \\ &- \text{Brandstofkosten WKK} \\ &+ \text{Vermeden brandstofkosten warmte} \\ &- \text{Additionele kosten aankoop CO}_2\text{-emissierechten}^{13} \end{aligned}$$

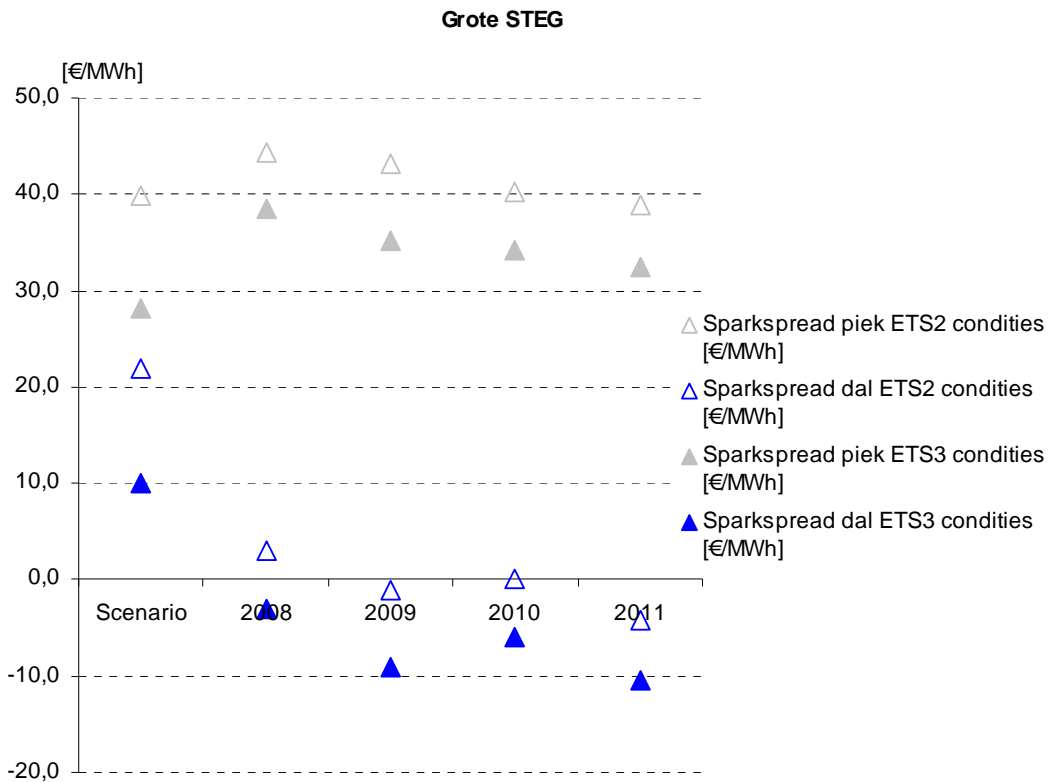
De kosten voor beheer- en onderhoud en investeringen zijn niet opgenomen in de sparksread en moeten nog uit de opbrengsten worden terugverdiend. Ook kan bij WKK-installaties die niet in eigendom zijn van de afnemer van warmte, de warmtekorting de opbrengsten van warmte verlagen. Omdat de warmtekorting alleen van toepassing is als de warmte-afnemer niet de eigenaar is van de installatie, is de warmtekorting niet meegenomen in de sparksread.

Omdat de thermische en elektrische rendementen van WKK-installaties verschillen is de sparksread voor elke WKK-case anders. Figuur 4.1 tot en met Figuur 4.8 laten de sparksreads in de piek- en de daluren zien voor de acht onderscheiden WKK-cases. De karakteristieken van werkelijke installaties zullen van de cases afwijken. Er worden resultaten getoond onder aanname van de allocatiemethode van de tweede handelsperiode (ETS2) en de derde handelsperiode (ETS3). De derde handelsperiode gaat pas in 2013 daadwerkelijk in. De forwardprijzen hebben alleen betrekking hebben op levering in jaren voor 2013, zodat ETS3 eigenlijk niet van toepassing is. De resultaten onder aanname van ETS3 allocatie worden voor de forwardprijzen toch gepresenteerd als indicatie van het effect van de wijziging van de allocatiemethode.

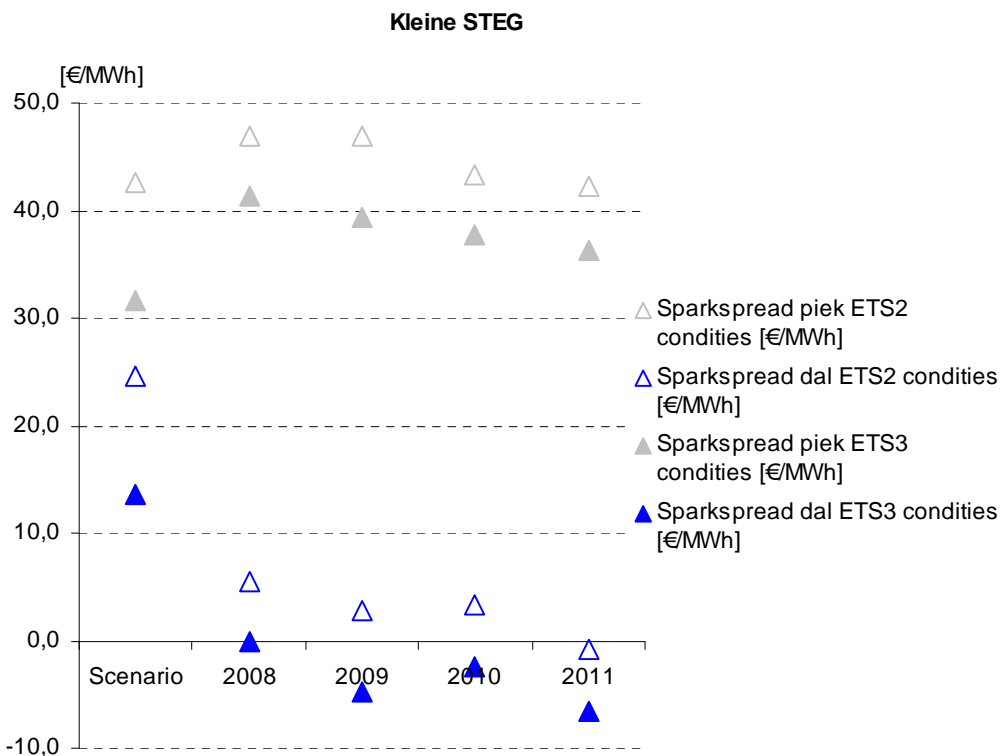
---

<sup>13</sup> Dit betreft de additionele benodigde rechten die nodig zijn ten opzichte van warmteopwekking met een referentieketel.





Figuur 4.1 *Sparkspreads WKK-case Grote STEG*



Figuur 4.2 *Sparkspreads WKK-case Kleine STEG*

Het scenario resulteert voor de grote STEG-case in positieve sparkspreads in de piek- en de daluren. Het verschil tussen de sparkspreads onder ETS2 en ETS3 condities is bij de scenarioprijzen relatief groot, omdat de scenarioprijs voor CO<sub>2</sub>-emissierechten hoger is dan de gebruikte forwardprijzen.

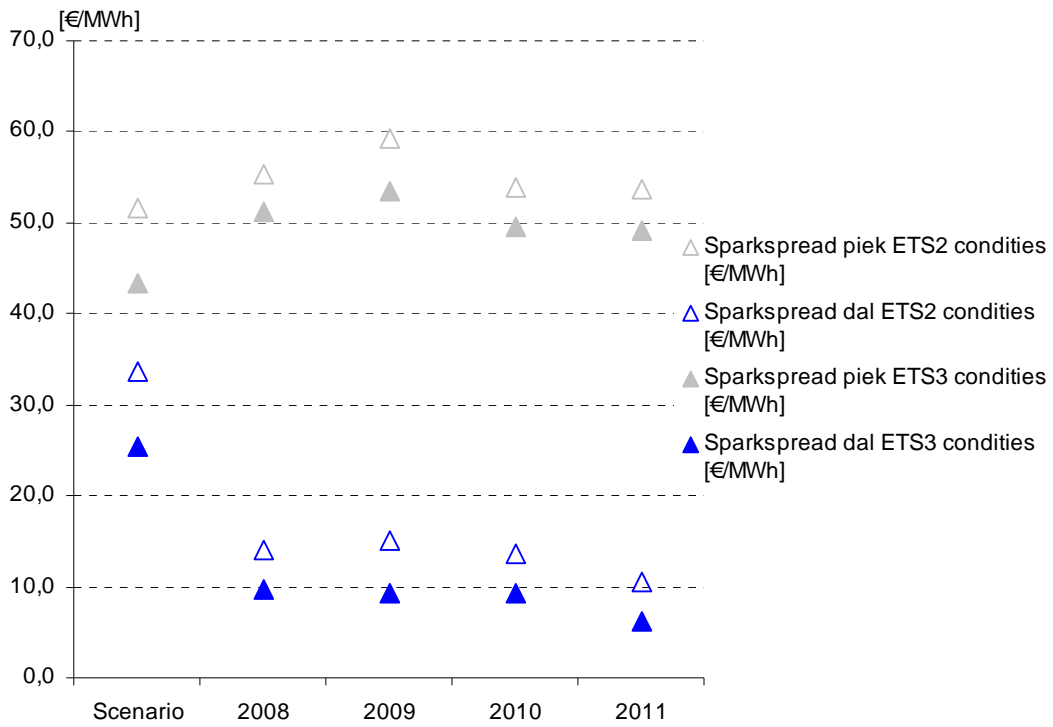
Zoals aangegeven in Hoofdstuk 1 verschillen de scenarioprijzen van de forwardprijzen. Bij de Grote STEG-case zijn de sparkspreads tijdens de daluren voor de forwardprijzen 2009-2011 laag of negatief. Dit betekent dat de inkomsten uit de verkoop van elektriciteit en warmte gemiddeld niet opwegen tegen de kosten voor brandstof en emissierechten. De sparkspreads tijdens de piekuren zijn wel positief (net als tijdens de daluren in het scenario). Tijdens de uren dat de marginale kosten niet gedekt worden zullen flexibel inzetbare installaties mogelijk worden uitgezet of wordt de productie van elektriciteit verminderd.

Net als de grote STEG-case kent de kleine STEG-case negatieve sparkspreads in de daluren voor de forwardprijzen, als er wordt gerekend met de allocatiemethode voor de derde handelsperiode. In tegenstelling tot bij de STEG cases is voor de grote gasturbine de sparkspread in de daluren positief, zowel gegeven de scenarioprijzen als de forwardprijzen en zijn de sparkspreads over het algemeen hoger. Bij de kleine gasturbine is het beeld vergelijkbaar. Dit is een gevolg van het feit dat de beide gasturbine-cases een relatief hoog thermisch rendement kennen. Hierdoor liggen de vermeden warmtekosten per kWh elektriciteitsproductie hoger.

De grote gasmotor kent positieve sparkspreads, maar ook hier bestaat er een aanzienlijk verschil tussen de scenario-resultaten en de sparkspreads berekend op basis van de forwardprijzen.

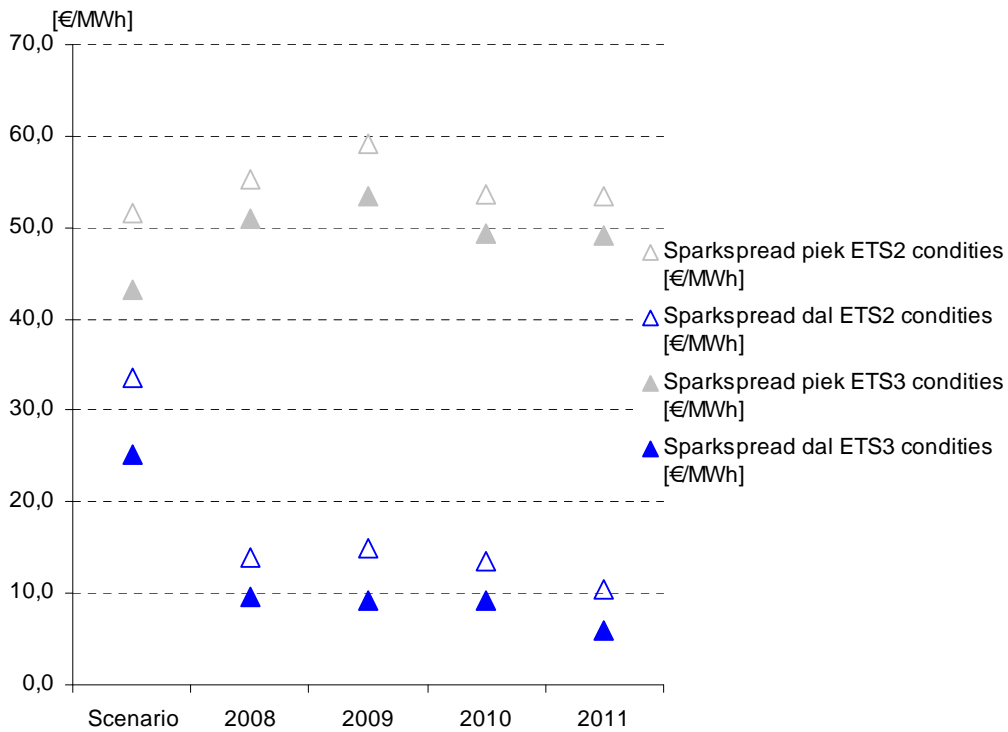
Tenslotte kennen ook de gasturbine met gestookt crude fornuis en de voorgeschakelde gasturbine positieve sparkspreads bij de forwardprijzen en in het scenario. Deze twee cases hebben van alle cases de hoogste warmte/kracht verhoudingen, en dus de hoogste vermeden warmtekosten per kWh elektriciteitsproductie. Een eventuele warmtekorting heeft in deze gevallen dus veel impact.

### Grote gasturbine

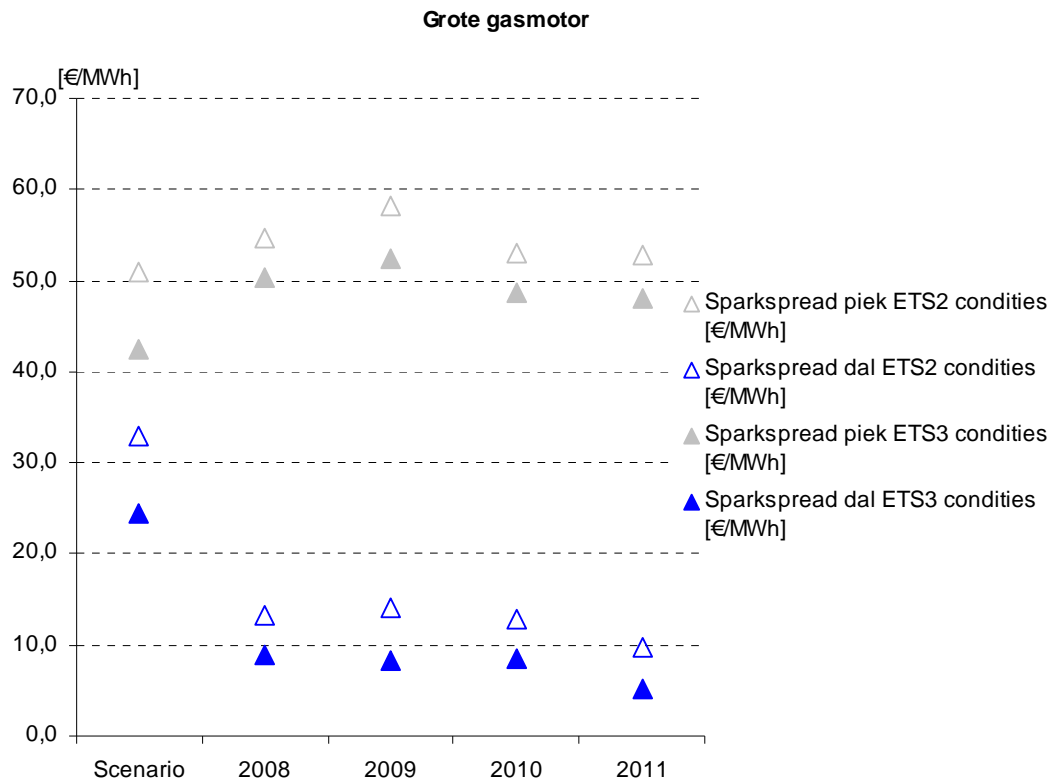


Figuur 4.3 *Sparksreads WKK-case Grote gasturbine*

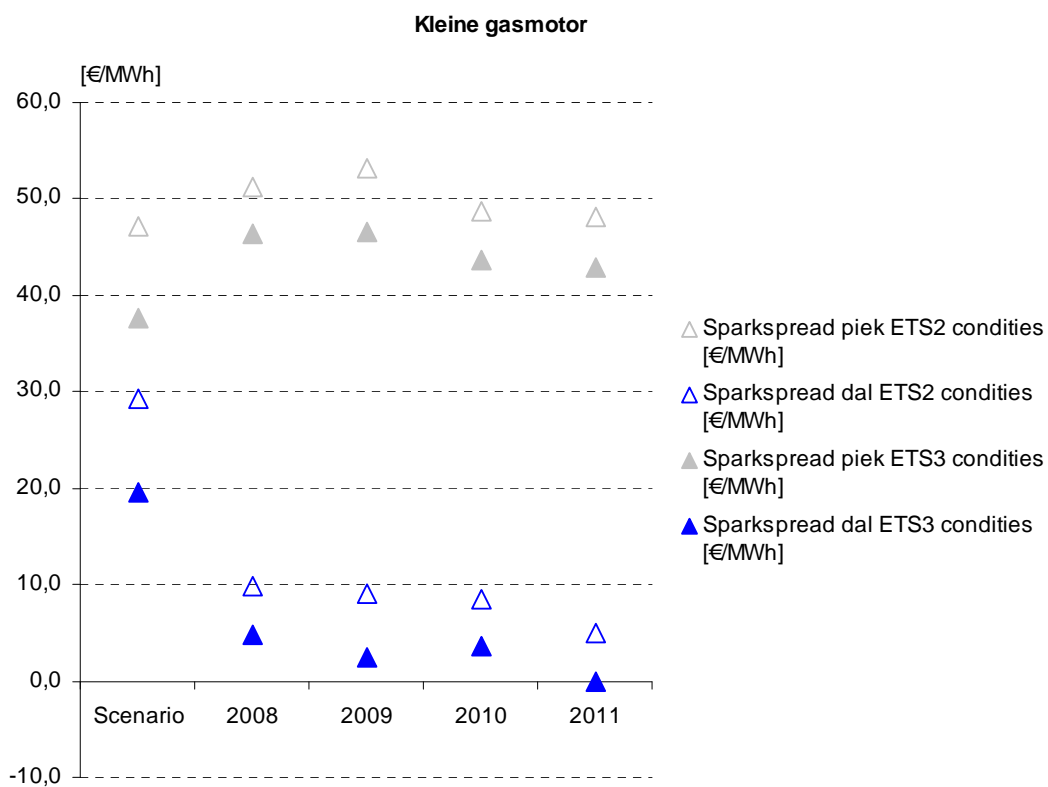
### Kleine gasturbine



Figuur 4.4 *Sparksreads WKK-case Kleine gasturbine*

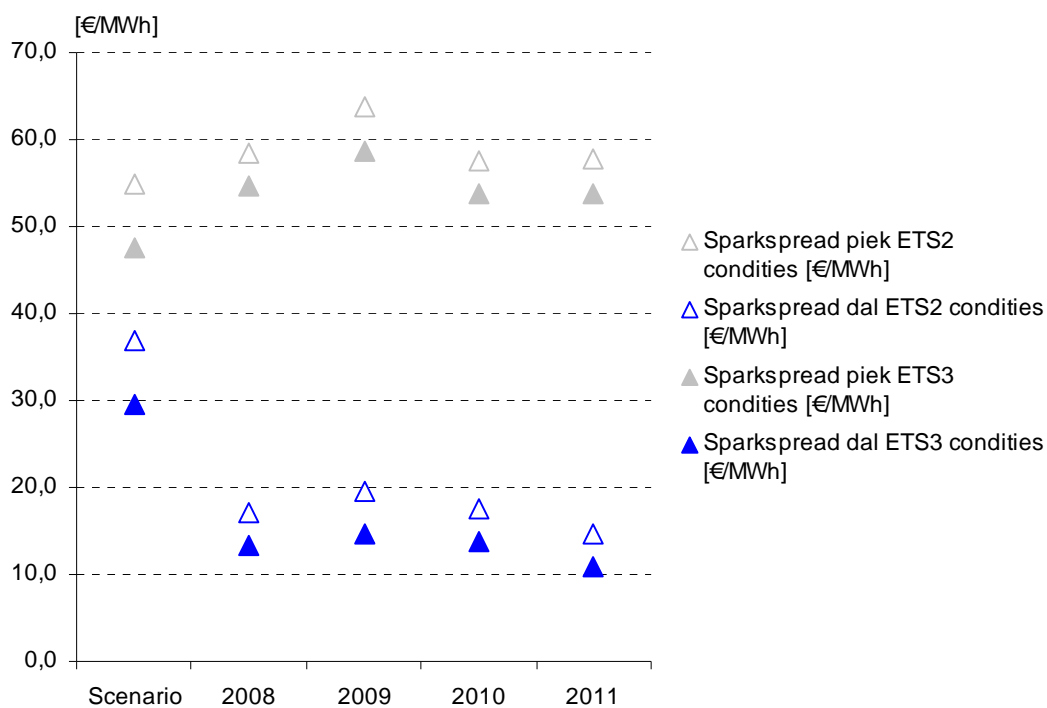


Figuur 4.5 *Sparksreads WKK-case Grote gasmotor*



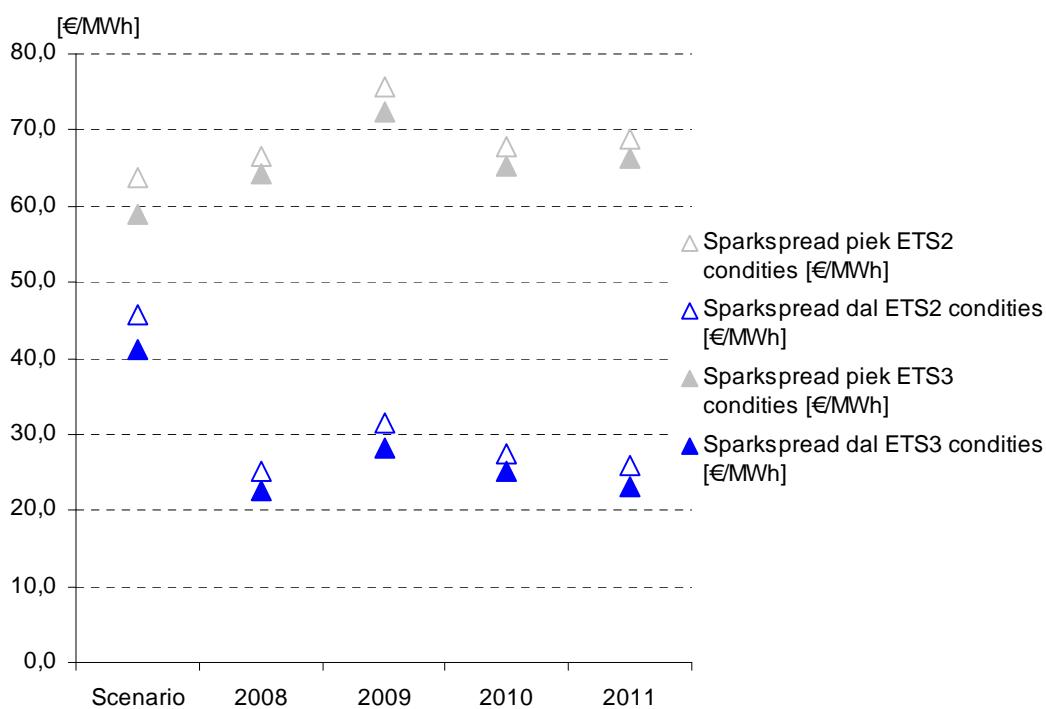
Figuur 4.6 *Sparksreads WKK-case Kleine gasmotor*

### Gasturbine met gestookt crude fornuis



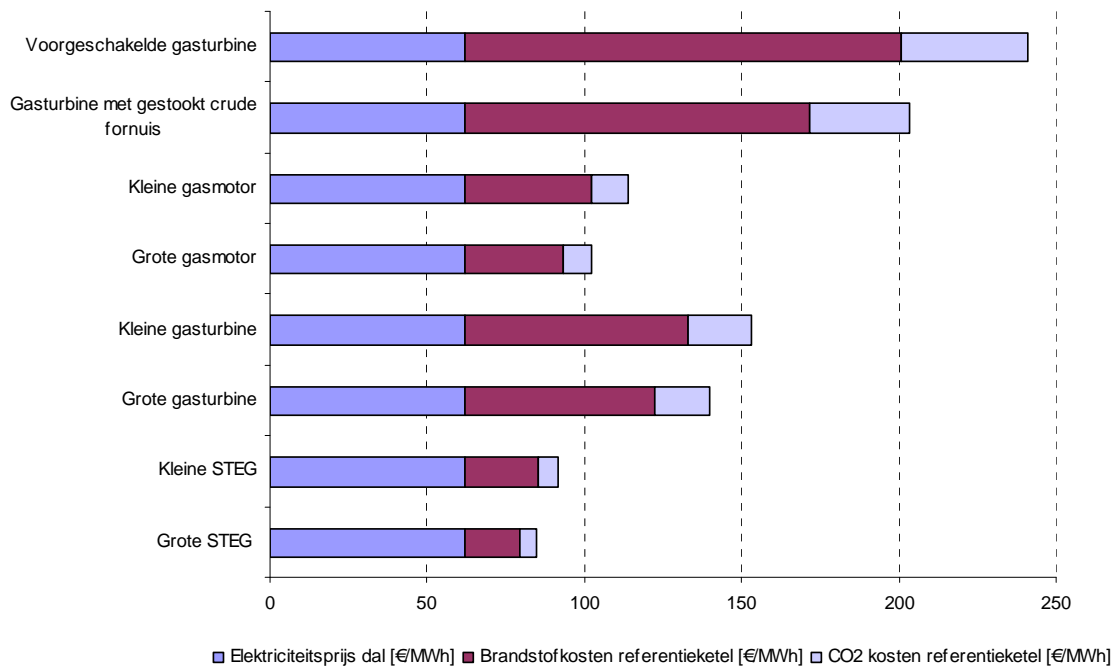
Figuur 4.7 *Sparksreads WKK-case Gasturbine met gestookt crude fornuis*

### Voorgeschakelde gasturbine



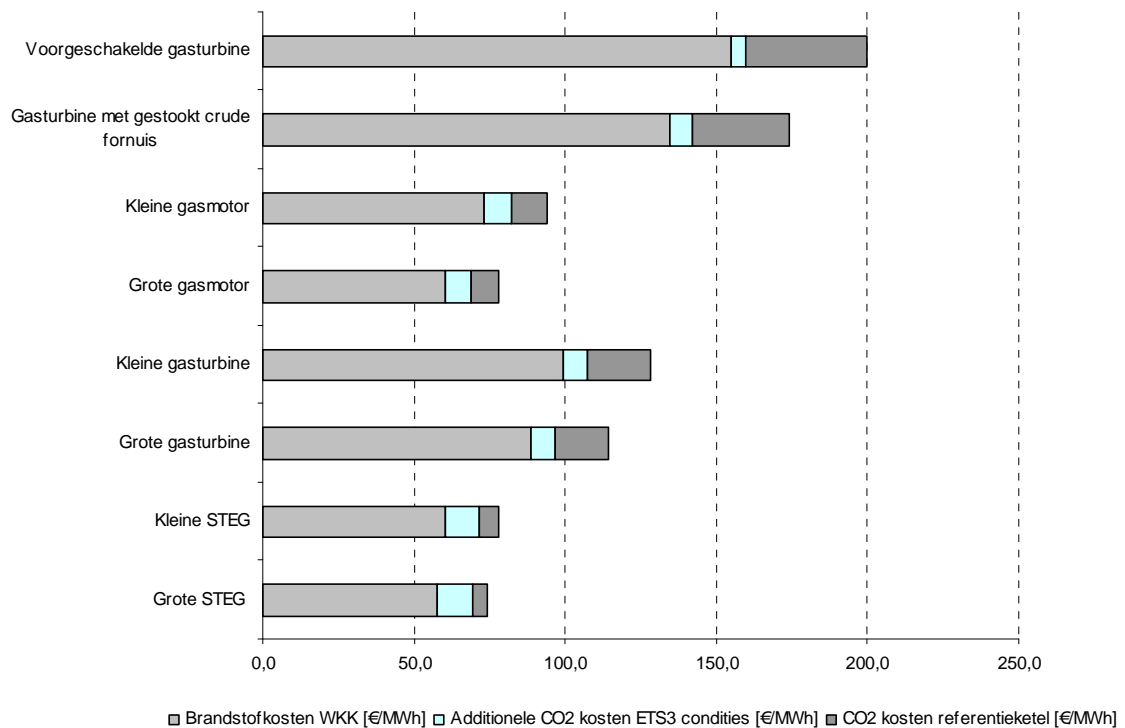
Figuur 4.8 *Sparksreads WKK-case Voorgeschakelde gasturbine*

De opbouw van de kosten en opbrengsten voor de WKK-cases is te zien in de Figuur 4.9 en Figuur 4.10.<sup>14</sup> Uit deze figuren is op te maken dat het relatieve belang van de warmteopbrengsten van case tot case sterk kan verschillen. De warmteopbrengsten bestaan uit de brandstofkosten van de referentieketel en de CO<sub>2</sub> kosten van de referentieketel. Bij de gasmotoren en de STEGs zijn de warmteopbrengsten minder zwaarwegend dan bij de gasturbines vanwege de lagere warmte/kracht verhouding. De CO<sub>2</sub>-kosten voor warmteproductie met een referentieketel komen in beide figuren terug omdat deze kosten kunnen worden doorberekend aan de warmteafnemer. De overige (additionele) CO<sub>2</sub>-kosten van de WKK-installaties kunnen niet aan de warmteafnemer worden doorberekend.



Figuur 4.9 *Inkomstencomponenten van de sparksreads voor de WKK-cases tijdens de daluren (o.b.v. scenarioprijzen)*

<sup>14</sup> De warmtekorting is hier niet toegepast, omdat die alleen van toepassing is als de warmteafnemer niet de eigenaar van de WKK-installatie is.



Figuur 4.10 *Kostencomponenten van de sparkspreads voor de WKK-cases tijdens de daluren (o.b.v. scenarioprijzen)*

Concluderend zijn tijdens de piekuren de marginale opbrengsten voor alle cases hoog genoeg om de marginale kosten te dekken. Als er warmtevraag bestaat, zullen de installaties daarom tijdens de piekuren zo veel mogelijk worden ingezet. Lage of negatieve sparkspreads gedurende de daluren kunnen bij sommige cases (met name de STEG cases) echter wel aanleiding geven om installaties uit te zetten of terug te regelen (als dit technisch mogelijk is). De wijziging van de allocatiemethode vanaf 2013 heeft voor alle cases een verslechtering van de sparkspread tot gevolg. Dit zal in de praktijk ook leiden tot een lager aantal draaiuren.

Het algemene beeld is dat de sparkspread in de daluren in het scenario duidelijk hoger is dan bij de gemiddelde forwardnoteringen voor de jaren 2008 t/m 2011 (dit is onder meer te verklaren door het verschil in CO<sub>2</sub> prijs). In de piekuren is de sparkspread over het algemeen juist wat lager. Hierdoor is te verwachten dat uitgaande van de scenarioprijzen een hoger aantal draaiuren zal worden gerealiseerd dan wanneer uitgegaan wordt van de forwardnoteringen.

## 5. Onrendabele top

In dit hoofdstuk wordt een beeld gegeven van de aantrekkelijkheid van investeringen in WKK-installaties. De in het vorige hoofdstuk berekende sparkspreads geven inzicht in de marginale opbrengsten van WKK-exploitatie. Maar om een investeringsbeslissing te nemen moet er een voldoende hoog rendement op het geïnvesteerde vermogen worden verwacht. De 'onrendabele top' kan worden gebruikt als maatstaf voor de rentabiliteit van investeringen in nieuw WKK-vermogen.<sup>15</sup> Ook worden in dit hoofdstuk integrale kosten voor elektriciteitsproductie met WKK berekend.

Tabel 5.1 geeft een overzicht van de kosten- en opbrengstenposten die bij de onrendabele top berekeningen worden gebruikt. De getoonde resultaten zijn afkomstig uit de onrendabele top berekeningen 2009 (Hers e.a., 2009). In die rapportage is op verzoek van het Ministerie van Economische Zaken uitgegaan van de allocatiemethode van de tweede handelsperiode van het EU ETS zonder warmtekorting.

Een positieve onrendabele top geeft aan dat het veronderstelde vereiste rendement van 15% op eigen vermogen niet wordt gerealiseerd. De veronderstelde verhouding van vreemd en eigen vermogen is 80:20, en de rente over vreemd vermogen is 6%. De gebruikte prijzen passen bij het UR-GE scenario van de Actualisatie van de Referentieramingen.

Tabel 5.1 *Resultaten onrendabele top berekening 2009 (Hers e.a., 2009)*

[ct/kWh]	Grote STEG	Kleine STEG	Grote gasturbine	Kleine gasturbine	Grote gasmotor	Kleine gasmotor
<i>Kapitaallasten* (a)</i>	2,50	3,22	1,93	2,99	1,79	3,22
<i>Waarvan rente</i>	0,54	0,70	0,42	0,65	0,39	0,70
<i>Kosten (b)</i>						
Aardgas	6,07	6,37	9,32	10,54	6,90	8,91
<i>waarvan commodity</i>	5,76	6,05	8,85	9,91	6,05	7,29
B&O	0,67	1,18	0,63	1,29	0,79	1,74
Netkosten back-up	0,02	0,11	0,09	0,10	0,00	0,00
<i>Opbrengsten (c)</i>						
Elektriciteit	-7,16	-7,28	-7,19	-7,19	-7,71	-7,62
<i>waarvan commodity</i>	-7,34	-7,35	-7,23	-7,23	-7,84	-7,75
Warmte	-1,90	-2,52	-6,52	-7,77	-3,85	-7,01
<i>waarvan commodity</i>	-1,73	-2,28	-6,00	-7,05	-3,12	-3,99
Emissierechten CO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vermeden netkosten eigen verbruik	-0,03	-0,17	-0,13	-0,14	0,00	0,00
Vermeden energiebelasting eigen verbruik	0,00	-0,02	-0,02	-0,18	0,00	0,00
<b><i>Onrendabele top excl. belasting (a+b+c)</i></b>	0,17	0,89	-1,89	-0,36	-2,08	-0,76
<i>Belastingen (d)</i>	0,09	0,08	0,04	0,08	0,04	0,06
<b><i>Onrendabele top (a+b+c+d)</i></b>	0,3	1,0	-1,9	-0,3	-2,0	-0,7

\* Bij de grote STEG kan geen aanspraak gemaakt worden op EIA, maar bij alle overige cases wel. Kapitaallasten voor de grote gasmotor zijn inclusief een warmtebuffer en exclusief een SCR-installatie. Bij de kleine gasmotor wordt uitgegaan van kapitaallasten inclusief een SCR-installatie.

<sup>15</sup> De onrendabele top wordt gedefinieerd als de extra inkomsten die per eenheid productie boven op de marktprijs nodig zijn om de netto contante waarde van een investeringsproject op nul te doen uitkomen. Bij de berekeningen wordt uitgegaan van een projectduur van 12 jaar.



De aardgaskosten bestaan uit de commoditykosten en daarnaast uit diensten- en distributiekosten. De afkorting B&O staat voor bedienings- en onderhoudskosten. In geval van stilstand van WKK-installaties kunnen er kosten ontstaan voor de inkoop van back-up elektriciteit. De netkosten voor back-up elektriciteit zijn meegenomen, en de elektriciteitsopbrengsten zijn vermindert met de back-up kosten voor elektriciteit. De opbrengsten van warmteproductie bestaan uit de vermeden brandstofkosten, de vermeden transportkosten voor het gas voor de ketel, en uit de vermeden energiebelasting voor het gas van de ketel. WKK-exploitanten kunnen een deel van de elektriciteit die wordt opgewekt zelf gebruiken. In dit geval zijn er vermeden transmissie- en distributiekosten voor de elektriciteit voor eigen verbruik. Apart is ook aangegeven wat de vermeden energiebelasting voor het eigen verbruik van elektriciteit is. Tenslotte wordt rekening gehouden met de vennootschapsbelasting over de winst van het bedrijf. Bij de kapitaallasten wordt rekening gehouden met de energie-investerings aftrek (zie Bijlage A).

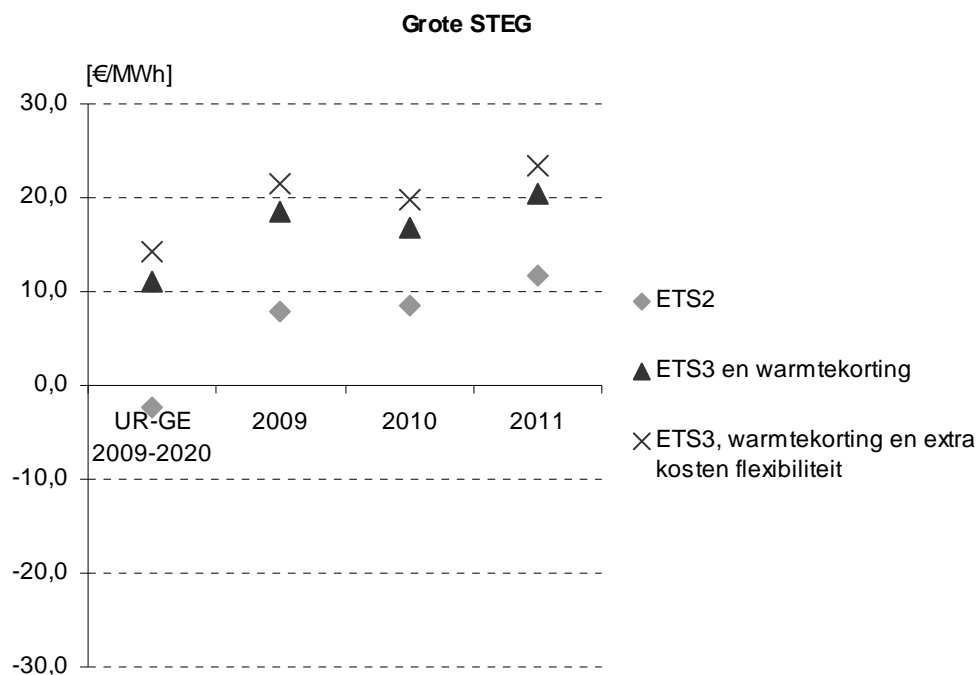
Voor de in Hoofdstuk 2 besproken WKK-cases is hier de onrendabele top bepaald. (Het verschil met Hers e.a. 2009 is dat er twee nieuwe cases zijn toegevoegd en dat er is uitgegaan van een hoger aantal vollasturen voor de STEGs en gasturbines.) Daarbij worden drie varianten gepresenteerd.

1. De eerste variant sluit aan bij aannames voor de onrendabele top berekeningen 2009, door uit te gaan van de allocatiemethode van de tweede handelsperiode en zonder warmtekorting te rekenen.
2. Bij de tweede variant wordt uitgegaan van de warmtekorting en (voor de hele evaluatieperiode) van de allocatiemethode voor emissierechten geldend in de derde handelsperiode van het EU ETS.
3. De derde variant is gelijk aan de tweede variant, maar er wordt daarbij ook een gevoeligheidsanalyse gemaakt met meeneming van mogelijke extra kosten voor flexibel inzetbare WKK.<sup>16</sup>

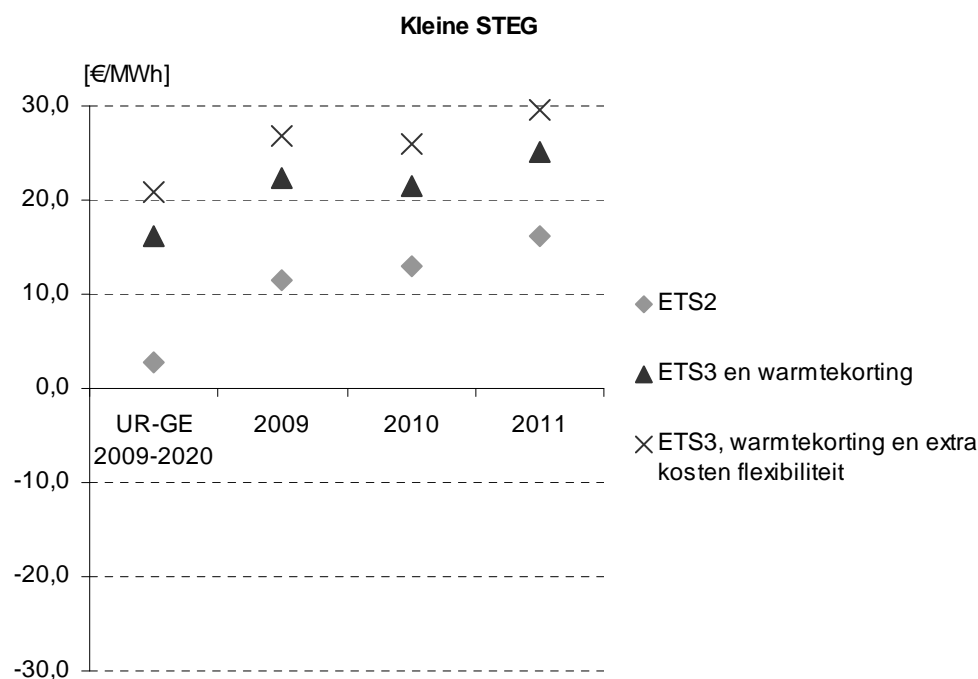
De hierna volgende figuren geven de resultaten van de onrendabele top berekeningen. Zowel de toepassing van warmtekorting als de ETS3 allocatiemethode leiden tot een verhoging van de onrendabele top. Vanwege de gebruikte onrendabele top methodiek ligt het aantal vollasturen voor elke case vast, en zijn er geen meeropbrengsten meegenomen als gevolg van de flexibele inzet van de installaties. De facto zou flexibiliteit resulteren in minder verlies in de daluren, en dit zou de onrendabele top verlagen. Opbrengsten uit flexibiliteit zouden tot uitdrukking komen in een lager aantal draaiuren, met name een lager aantal verliesgevend draaiuren. In deze berekeningen worden alleen de mogelijke extra kosten voor flexibiliteit voor de gasturbines en STEG-installaties inzichtelijk gemaakt.

---

<sup>16</sup> Hogere kosten voor flexibiliteit zijn niet van toepassing bij gasmotoren en de WKK-installaties met directe warmtebenutting.

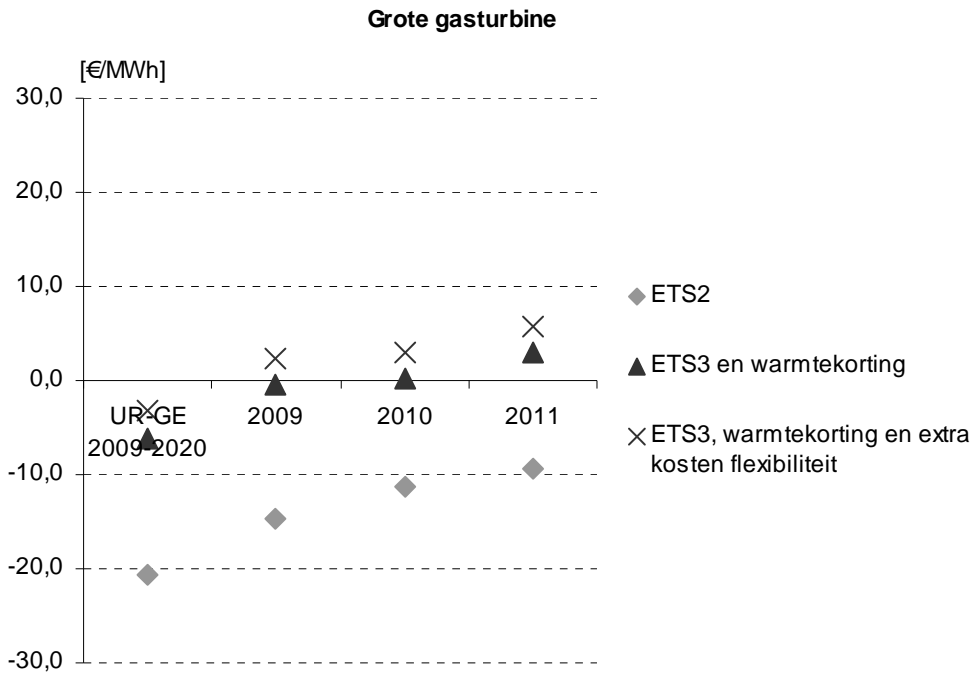


Figuur 5.1 Onrendabele top resultaten WKK-case Grote STEG



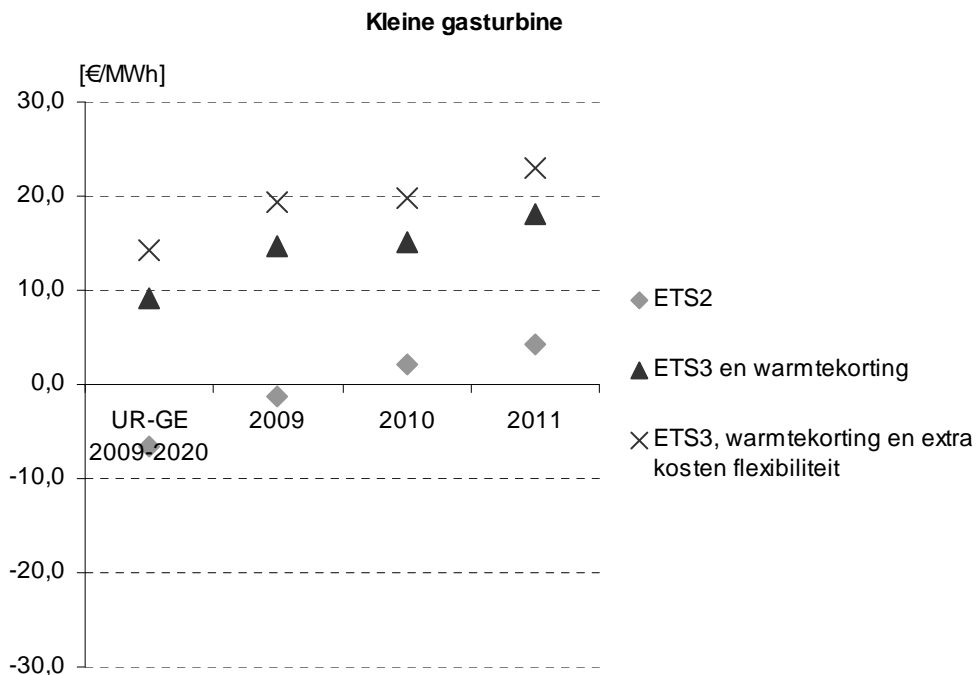
Figuur 5.2 Onrendabele top resultaten WKK-case Kleine STEG

Het scenario leidt voor de grote STEG case tot een positieve onrendabele top, wat betekent dat niet aan de gestelde rendementeis wordt voldaan. De onrendabele top voor de kleine STEG is hoger dan voor de grote STEG. Dit komt onder andere door hogere kapitaallasten (per eenheid geproduceerde elektriciteit).

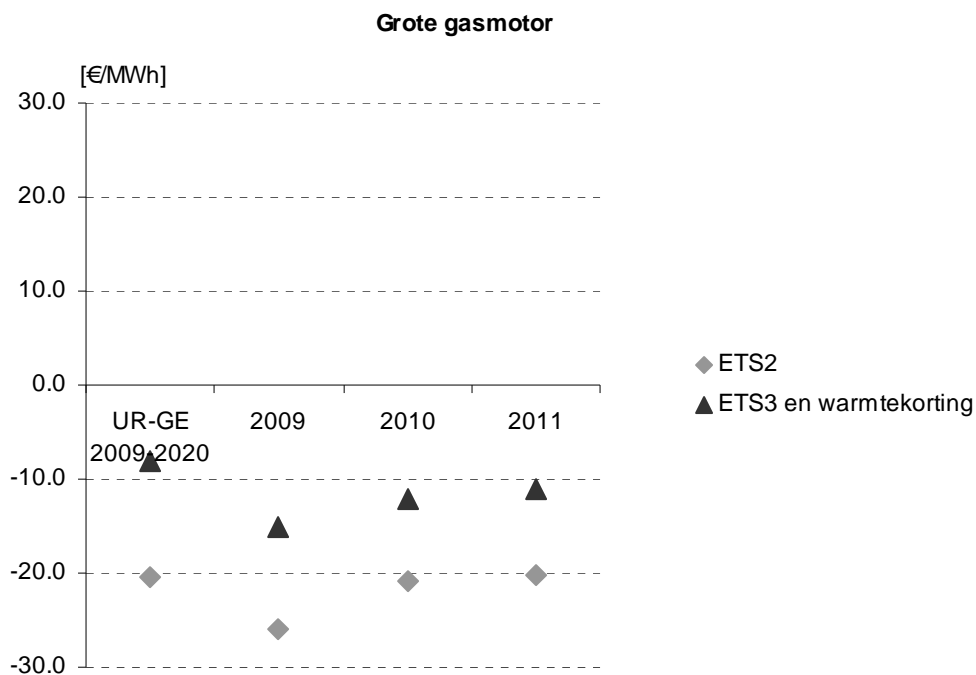


Figuur 5.3 *Onrendabele top resultaten WKK-case Grote gasturbine*

Met het scenario als uitgangspunt is de onrendabele top van de grote gasturbine licht negatief. Voor de kleine gasturbine geldt dit niet. Dit komt onder meer door de hogere kapitaallasten en de hogere beheer- en onderhoudskosten.

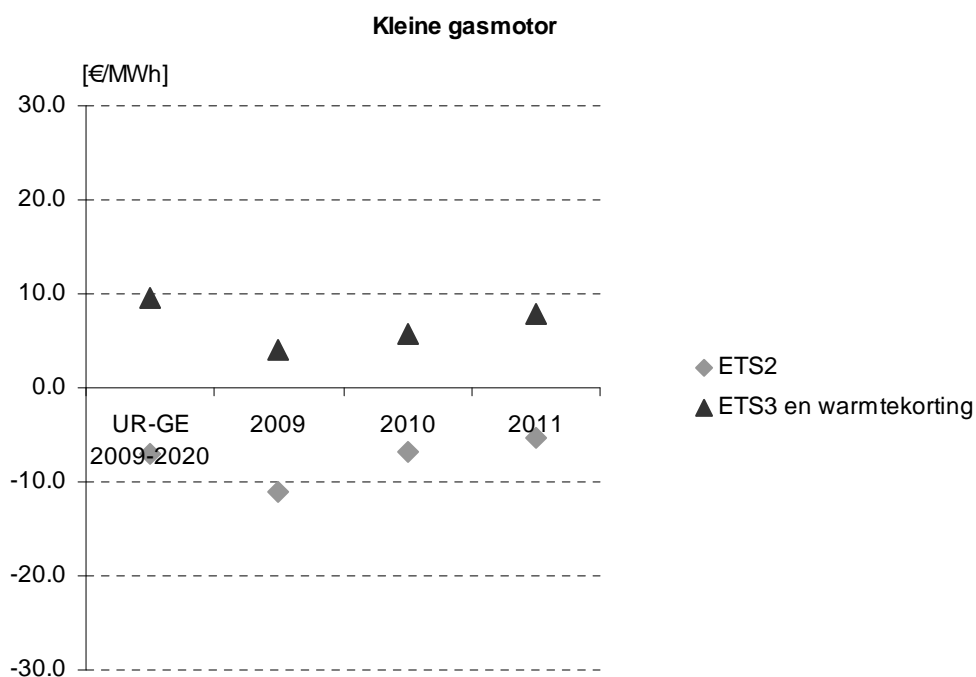


Figuur 5.4 *Onrendabele top WKK-case Kleine gasturbine*



Figuur 5.5 *Onrendabele top resultaten WKK-case grote gasmotor*

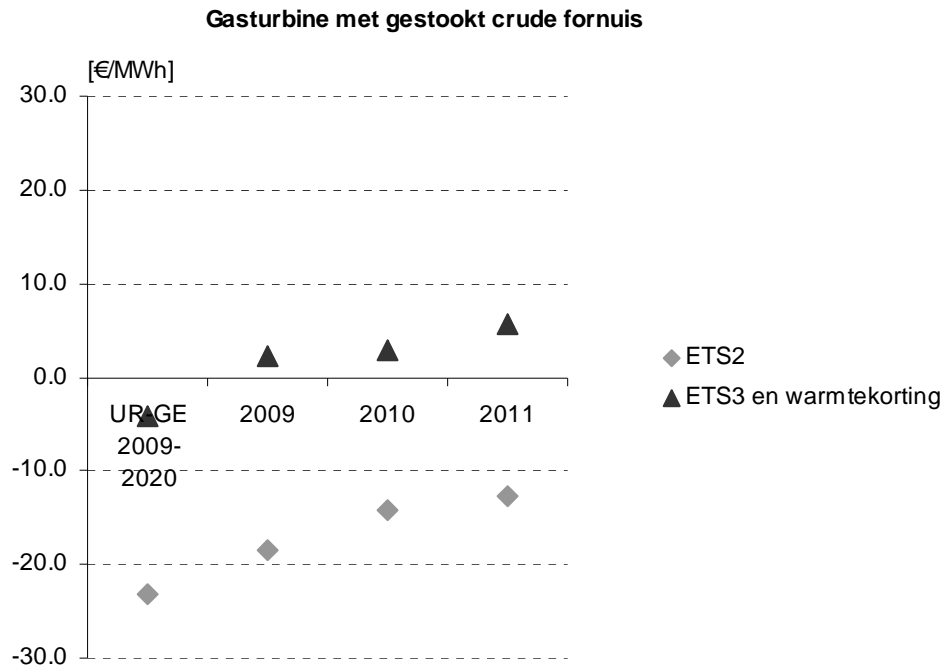
De WKK-case grote gasmotor heeft een hoger elektrisch rendement dan de kleine gasmotor en daarbij zijn de investeringen per kW<sub>e</sub> lager. Hierdoor verschillen de onrendabele top van de kleine en de grote gasmotor sterk. Bij de grote gasmotor wordt onder ETS3 condities wel aan de rendementseis voldaan, en bij de kleine gasmotor niet.<sup>17</sup>



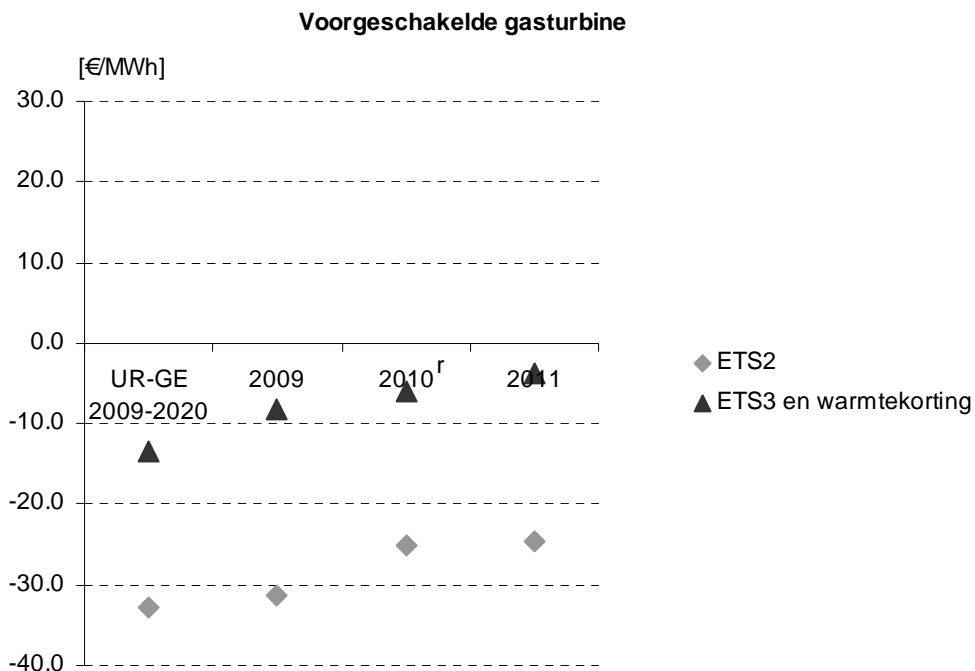
Figuur 5.6 *Onrendabele top resultaten WKK-case kleine gasmotor*

<sup>17</sup> Kleine gasmotoren worden meestal niet bij ETS bedrijven geplaatst.

De cases voor de gasturbine met gestookt crude fornuis en de voorgeschakelde gasturbine hebben bij de scenarioprijzen geen onrendabele top.



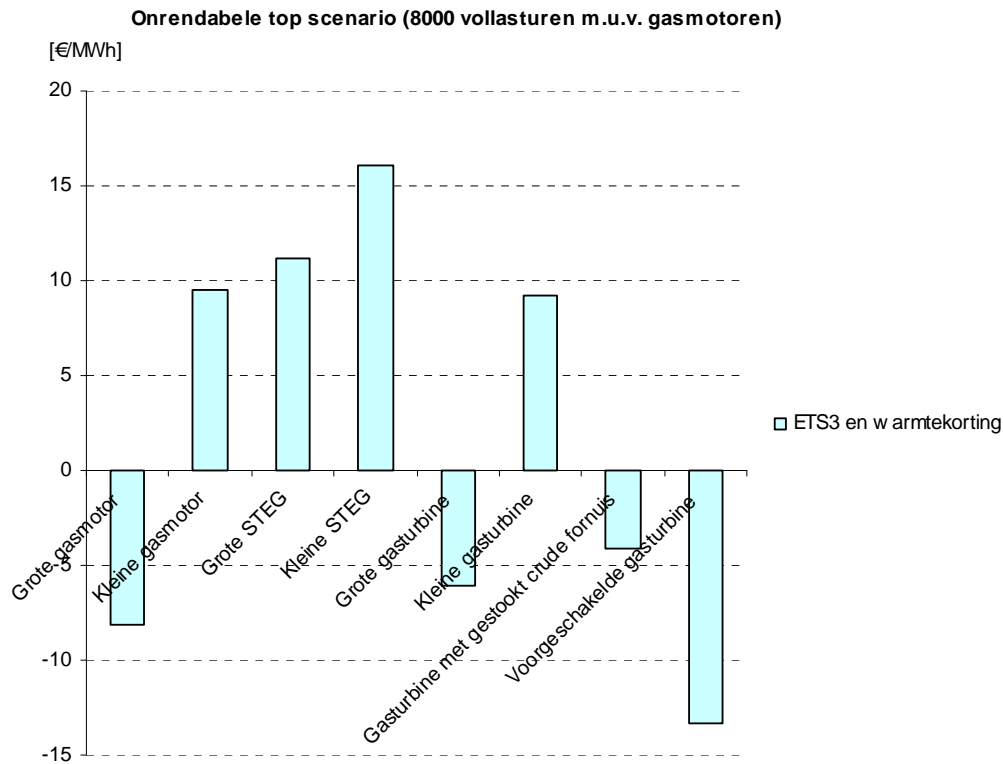
Figuur 5.7 Onrendabele top resultaten WKK-case Gasturbine met gestookt crude fornuis



Figuur 5.8 Onrendabele top resultaten WKK-case Voorgeschakelde gasturbine

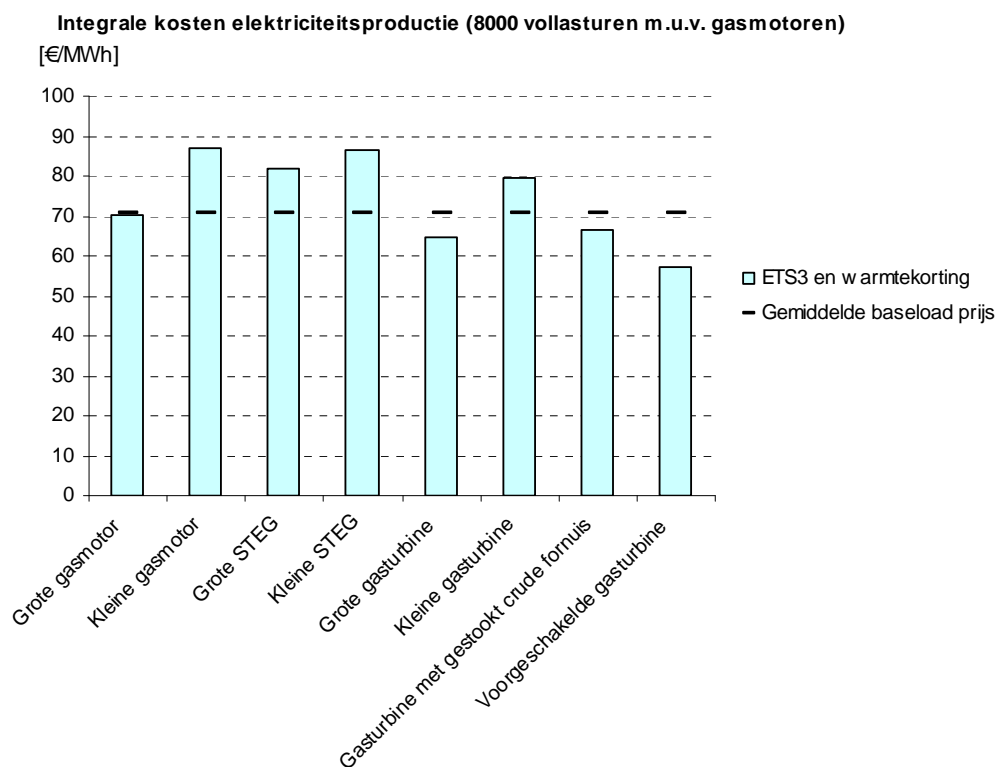
Het totaaloverzicht in Figuur 5.9 toont de resultaten van de onrendabele top als wordt uitgegaan van de scenarioprijzen, de ETS3 allocatiemethode en de warmtekorting (variant 2). De Grote gasturbine, de Grote gasmotor en de twee cases voor WKK met directe warmtebenutting hebben

in dit geval geen onrendabele top. Er bestaan significante verschillen tussen de onrendabele top-varianten. Als wordt uitgegaan van de ETS2 allocatiemethode zonder warmtekorting (variant 1) zijn de onrendabele toppen significant lager. Als de extra flexibiliteitskosten worden meegenomen (variant 3) volgt voor de gasturbines en STEGs een wat hogere onrendabele top.



Figuur 5.9 Onrendabele top bij scenarioprijzen, met allocatiemethode van de derde handelsperiode en warmtekorting

Voor de berekening van de integrale kosten voor elektriciteitsopwekking met WKK wordt aangesloten bij de onrendabele top methodiek. In de integrale kosten worden alle kosten- en opbrengstencomponenten meegenomen, met uitzondering van de commodity opbrengsten voor elektriciteit. Bij de scenarioprijzen levert dit de resultaten in Figuur 5.10 op. In deze figuur is ook de gemiddelde basislast-elektriciteitsprijs in het scenario van 70,6 €/MWh weergegeven.



Figuur 5.10 *Integrale kosten elektriciteitsproductie bij scenarioprijzen, met allocatiemethode van de derde handelsperiode en warmtekorting*

Om een belangrijke rol te kunnen blijven spelen in de toekomstige elektriciteitsvoorziening zal WKK moeten kunnen concurreren met alternatieve manieren van elektriciteitsopwekking. Er wordt een belangrijke rol toebedacht aan opwekking van elektriciteit door kolencentrales met CO<sub>2</sub>-opvang en opslag (CCS).

Als technologie in de demonstratiefase heeft de afvang en opslag van CO<sub>2</sub> met allerlei barrières te maken. Het volwassen worden van de technologie kost veel geld. CO<sub>2</sub> afvang en opslag is echter kandidaat voor een deel van 300 miljoen extra emissierechten die de Europese Commissie tot 2015 beschikbaar wil stellen voor het stimuleren van innovatieve hernieuwbare en CO<sub>2</sub> afvang en opslagstechnologie. Over de precieze verdeling moet het definitieve besluit nog vallen, en om hoeveel geld het gaat hangt af van de CO<sub>2</sub>-prijs. Het Rotterdam Climate Initiative heeft inmiddels een nieuw plan om CO<sub>2</sub>-afvang te realiseren (RCI, 2009). Onderdeel daarvan is het toepassen van CO<sub>2</sub> afvang bij twee nieuwe kolencentrales van E.ON en Electrabel. Zo wil men eind 2015 1,1 miljoen ton CO<sub>2</sub> afvangen en transporten naar een off-shore locatie op 25 kilometer uit de kust. Daar zal de CO<sub>2</sub> worden opgeslagen in een leeg aardgasveld. In het kader van het Europees Economisch Herstel Plan stelt de Europese Commissie 180 miljoen euro beschikbaar voor dit demonstratieproject. De Ministers van der Hoeven en Cramer schrijven dat zij met private partijen willen overleggen om in Noord-Nederland ook tot een demonstratieproject te komen.<sup>18</sup> Dat project zal in dat geval de geplande kolencentrale van Nuon betreffen. Die Magnum centrale wordt nu gebouwd als drie STEG eenheden van in totaal ca. 1300 MW<sub>e</sub>. Nuon/Vattenfall moeten nog besluiten of er een kolen-/biomassaver-gassingsinstallatie voor deze STEG eenheden zal worden gebouwd. Nuon voert momenteel een proefproject uit met CO<sub>2</sub> af-

<sup>18</sup> VROM/EZ (2009). 'Groen licht voor beperkte CO<sub>2</sub>-opslag Barendrecht', Persberichten VROM en EZ, 19 november 2009. <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=45208>.

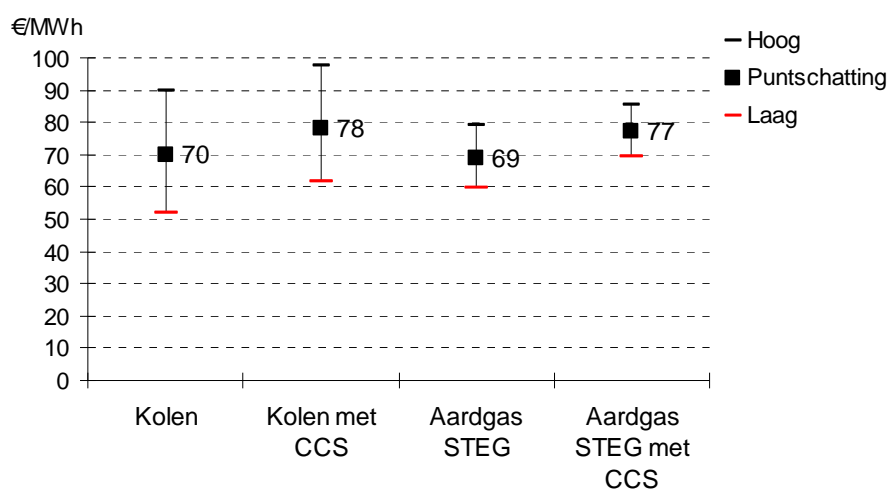
vang bij de KV-STEG in Buggenum. Resultaten daarvan zullen worden benut indien de Magnum centrale tot een multi-fuel vergassing STEG wordt omgebouwd.

Voor nieuwe kolencentrales en gascentrales die rond 2020 in bedrijf kunnen komen, zijn de kostprijzen van elektriciteitsproductie bepaald, waarbij de brandstof- en CO<sub>2</sub> prijzen gelijk zijn genomen aan het lange-termijnsценario dat is geïntroduceerd in Hoofdstuk 1. De steenkoolprijs is 2,3 €/GJ.

Voor de financieel-economische en technische parameters is gewerkt met bandbreedtes. Deze parameters betreffen:

Tabel 5.2 *Financieel-economische en technische parameters elektriciteitsopwekking*

Parameter	
WACC (nominaal, pre-tax)	Ca. 9-9,5% (afhankelijk van technologie)
Constructieduur	3-5 (kolen) 1-2 (gas)
Afschrijvingsduur	30-40 jaar (kolen) en 25-35 jaar (STEG)
Netto omzettingrendement	46-50% Kolen 37-41% Kolen-CCS 57-61% STEG 48-52% STEG-CCS
CO <sub>2</sub> capture rate	80-90%
Capaciteitsfactor (Vollasturen)	80-90%
Investeringskosten	+/-25%
B&O kosten	+/- 20%



Figuur 5.11 *Kosten voor elektriciteitsopwekking bij scenarioprijzen*

De kosten van kolen met CO<sub>2</sub> afvang en opslag worden geschat op 78 €/MWh.

Een vergelijking van WKK met kolen met CO<sub>2</sub> afvang en opslag is niet de meest voor de hand liggende vergelijking. De 'concurrent' die WKK wegdrukt zou eerder een gewone STEG zijn (kosten 69 €/MWh). Momenteel staan er voor ca. 6500 MW<sub>e</sub> aan nieuwe STEG's gepland, waarvan één met warmtelevering (Moerdijk-2, 400 MW<sub>e</sub>, zie o.a. Daniëls e.a., 2009, Tabel 5.1, pagina 31). De eerste in deze serie zijn de Sloecentrale (870 MW<sub>e</sub>) en de nieuwe Flevocentrale (870 MW<sub>e</sub>). Daarna o.a. Enecogen (840 MW<sub>e</sub>), Intergen-II (425 MW<sub>e</sub>) en uitbreiding en upgrade van een van de oude Maasbracht eenheden (wordt een 1275 MW<sub>e</sub> STEG). Het zijn vooral deze STEG's die de toekomstige piekprijzen zullen verlagen of zorgen dat ze niet te hard stijgen



bij stijgende aardgasprijzen. Het is vooral ‘oud’ gas (conventionele ketels en combi’s, met rendementen van 39-45%) dat in de merit order uit de inzet wordt gezet.

Een vergelijking van de integrale kosten voor elektriciteitsopwekking geeft maar zeer beperkt inzicht in de perspectieven voor WKK. WKK-installaties produceren niet alleen elektriciteit maar ook warmte, en daardoor moet WKK ingepast worden op een locatie met warmtevraag. De snelheid van capaciteitsvervanging, technologische ontwikkelingen en kostenverlagingen en de ontwikkeling van de vraag naar elektriciteit spelen ook een rol. Ten aanzien van veel van deze aspecten bestaan grote onzekerheden.

De CO<sub>2</sub> emissie van de verschillende technologieën voor elektriciteitsopwekking wordt vergeleken in Tabel 5.3. Bij het bepalen van de netto CO<sub>2</sub> emissie voor elektriciteitsopwekking is de CO<sub>2</sub> emissie verminderd met de vermeden CO<sub>2</sub> emissie voor warmteopwekking. De netto CO<sub>2</sub> emissie van de WKK-installaties is lager dan voor fossiel gestookte installaties als daarbij geen CCS wordt toegepast.

Tabel 5.3 CO<sub>2</sub> emissie voor elektriciteitsopwekking

	CO <sub>2</sub> emissie [kg/MWh]	Vermeden CO <sub>2</sub> emissie warmteproductie [kg/MWh]	Netto CO <sub>2</sub> emissie [kg/MWh]
Grote STEG	475	142	332
Kleine STEG	498	188	310
Grote gasturbine	729	494	235
Kleine gasturbine	816	581	236
Grote gasmotor	498	257	241
Kleine gasmotor	600	329	272
STEG	346	-	346
STEG-CCS	61	-	61
Kolen	710	-	710
Kolen-CCS	131	-	131

## 6. Energiebesparingen en emissiereductie

Door de inzet van WKK-installaties kan energiebesparing en emissiereductie worden gerealiseerd ten opzichte van gescheiden opwekking van elektriciteit en warmte. In dit hoofdstuk worden drie methodes geïntroduceerd die kunnen worden gebruikt om deze effecten te kwantificeren en worden deze methodes toegepast op de WKK-cases.

### 6.1 Methodes voor bepaling energiebesparingen en emissiereductie

Bij uitspraken over de besparing en emissiereductie door WKK moet duidelijk worden aangegeven welke referentie wordt gebruikt. De te hanteren methode hangt af van het beoogde doel.

De energiebesparing door WKK kan worden berekend met de volgende formule:

$$\begin{aligned} \text{Energiebesparing} &= \text{Elektriciteitsproductie} * \text{Primaire factor elektriciteit} \\ &+ \text{Warmteproductie} * \text{Primaire factor warmte} \\ &+ \text{Vermeden brandstofkosten warmte} \\ &- \text{Brandstofinzet} \end{aligned}$$

De primaire factor elektriciteit (warmte) is de verhouding tussen de brandstofinzet en de geproduceerde elektriciteit (warmte) voor de gekozen referentie.

#### *Protocol Monitoring Energiebesparing*

In het Protocol Monitoring Energiebesparing (PME) wordt de besparing van decentrale WKK bepaald met het elektriciteitspark van 1995 als referentie.<sup>19</sup> De PME-methode wordt gebruikt voor het berekenen van nationale besparingscijfers (Boonekamp *e.a.*, 2001). De primaire factor voor elektriciteit is 2,75 en de primaire factor voor warmte is 1,125 (waarde geldig voor de industrie). De PME methode wordt gebruikt voor lange-termijn trendanalyses en het evalueren van beleidsdoelstellingen.

#### *Besparing en emissiereductie t.o.v. elektriciteitspark 2020*

Deze methode is gebruikt bij de Verkenning Schoon en Zuinig 2009 (van Dril *e.a.*, 2009), en geeft inzicht in het additionele effect van WKK in 2020. De referentie is hier het elektriciteitspark van 2020 uit de Referentieramingen van ECN en PBL. De primaire factor voor elektriciteit is 2,15 (corresponderend met een gemiddeld rendement van 46,6%). De primaire factor voor warmte is 1,125. De emissiefactor voor elektriciteit is 562 kg/MWh.<sup>20</sup> In de periode na 2020 zal de emissiefactor naar verwachting dalen door een toename van hernieuwbare elektriciteitsproductie en het sluiten van oude kolencentrales.

#### *WKK-richtlijn (CHP directive)*

In de Europese WKK richtlijn<sup>21</sup> worden referentiewaarden gegeven voor de berekening van de besparing van primaire energie. Als referentie is hierbij gekozen voor moderne, nieuw te bouwen installaties voor gescheiden opwekking met dezelfde brandstof. De referentierendementen die worden gebruikt voor aardgas zijn 52,5% (elektrisch rendement) en 90% (thermisch rendement). Verder wordt een temperatuurcorrectie toegepast omdat de rendementen afhankelijk zijn

<sup>19</sup> Voor het bepalen van de besparing van stadsverwarming en centrale WKK wordt een afwijkende methode gebruikt.

<sup>20</sup> Ter vergelijking: de gemiddelde CO<sub>2</sub>-emissiefactoren van elektriciteitscentrales in 2004 waren 863 kg/MWh voor kolen, 450 kg/MWh voor aardgas (exclusief hoogovengas) (Seebregts *e.a.*, 2005).

<sup>21</sup> Analysis and Guidelines for Implementation of the CHP Directive 2004/8/EC Reference Values - Matrix, interim version 2 January 2006.

van de omgevingstemperatuur, is er een correctie voor netverliezen en wordt rekening gehouden met het aandeel elektriciteit voor eigen verbruik. Deze methode geeft inzicht in het effect van een keuze voor WKK in plaats van nieuwe capaciteit voor gescheiden opwekking.

## 6.2 Resultaten energiebesparingen en emissiereductie

De methodes die in het vorige paragraaf zijn besproken kunnen worden toegepast om de besparing van de hier gebruikte WKK-cases te kunnen berekenen.

### *Protocol Monitoring Energiebesparing*

Ten opzichte van het elektriciteitspark in 1995 realiseren de WKK-cases aanzienlijke besparingen. De besparing uitgedrukt in PJ is de besparing die gerealiseerd wordt door één WKK-installatie met eigenschappen zoals vastgelegd in de WKK-case, ten opzichte van gescheiden opwekking. Het aantal vollasturen is bepaald door de karakterisatie van de case. Ook is er aangegeven hoe groot de besparing is als er alleen tijdens de piekuren wordt gedraaid. Bij flexibele inzet van WKK kan het aantal draaiuren verkleind worden om de verliezen in de daluren te beperken. Dit leidt tot een lagere energiebesparing.

Tabel 6.1 *Besparing PME voor de WKK-cases t.o.v. elektriciteitspark 1995*

	Grote STEG	Kleine STEG	Grote GT	Kleine GT	Grote GM	Kleine GM	GT met gestookt crude fornuis	Voor-geschakelde GT
Besparing [%]	32,8	33,8	31,4	29,0	40,5	34,3	22,1	22,8
Besparing per installatie [PJ]	6,9	1,8	2,1	0,38	0,05	0,007	1,1	0,6
Besparing per installatie alleen piekuren [PJ]	3,2	0,8	1,0	0,17	0,04	0,007	0,5	0,3

### *Besparing t.o.v. elektriciteitspark 2020*

Omdat het elektriciteitspark efficiënter wordt is de besparing t.o.v. het elektriciteitspark in 2020 kleiner. De cases realiseren wel nog aanzienlijke besparingspercentages, zoals weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 6.2 *Besparing voor de WKK-cases t.o.v. elektriciteitspark 2020*

	Grote STEG	Kleine STEG	Grote GT	Kleine GT	Grote GM	Kleine GM	GT met gestookt crude fornuis	Voorge-schakelde GT
Besparing [%]	18,5	20,8	22,3	20,4	30,1	23,9	14,7	16,6
Besparing per installatie [PJ]	3,2	0,9	1,3	0,24	0,03	0,004	0,7	0,4
Besparing per installatie alleen piekuren [PJ]	1,5	0,4	0,6	0,11	0,03	0,004	0,3	0,2
Reductie CO <sub>2</sub> emissie [kton]	390	103	120	21	3	0,4	62	36

*Besparing volgens WKK-richtlijn (CHP directive)*

Als de referentie uit de WKK-richtlijn wordt gebruikt kan de besparing op primaire energie worden berekend vergeleken met nieuwe installaties op dezelfde brandstof (aardgas). Omdat moderne nieuwe installaties als referentie worden gebruikt, zijn de gevonden besparingspercentages lager dan bij de twee eerder besproken methodes.

Tabel 6.3 *Besparing voor de WKK-cases volgens het CHP directive*

	Grote STEG	Kleine STEG	Grote GT	Kleine GT	Grote GM	Kleine GM	GT met gestookt crude fornuis	Voorge schakelde GT
Besparing [%]	11,2	15,6	18,6	16,9	26,7	20,5	11,5	13,7

Concluderend leidt de inzet van WKK tot significante besparingen bij alle gebruikte methodes, maar leiden de methodes stuk voor stuk wel tot aanzienlijk verschillende besparingspercentages. Als flexibele inzet van WKK een verlaging van het aantal draaiuren tot gevolg heeft, leidt dit tot een vermindering van de totale gerealiseerde energiebesparing en emissiereductie.

## 7. Scenarioresultaten ontwikkeling WKK in de chemie

In dit hoofdstuk wordt op basis van scenarioaannames en enquêteresultaten een inschatting gemaakt van het technische WKK-potentieel in 2020. Ook worden scenarioresultaten gepresenteerd voor de ontwikkeling van het WKK-vermogen en de toepassing van WKK in de chemische industrie tot 2020. Voor het scenario zijn ook de bijbehorende besparing en emissiereductie berekend.

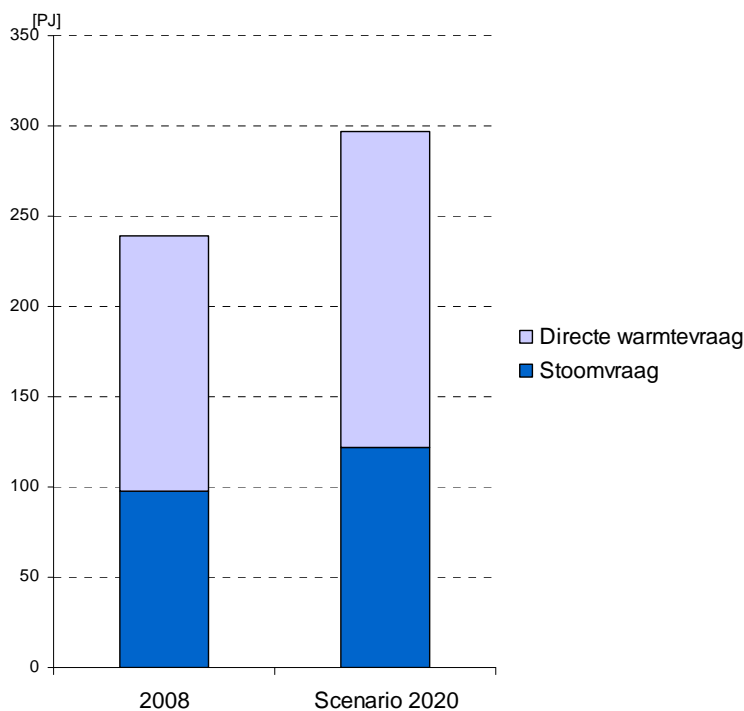
### 7.1 Technisch WKK-potentieel

PricewaterHouseCoopers heeft het WKK-potentieel in kaart gebracht door middel van een enquête onder de leden van de VNCI (PwC, 2009). In deze enquête zijn onder andere vragen gesteld over de warmtevraag, bestaande WKK-installaties en overwegingen bij het aanschaffen van een nieuwe installatie.

In deze paragraaf wordt een inschatting gemaakt van het technisch potentieel van WKK in de chemische industrie tot 2020, en de bijbehorende energiebesparing en emissiereductie. De hier vermelde besparingen zijn berekend conform het Protocol Monitoring Energiebesparing. De emissiereductie is bepaald ten opzichte van het elektriciteitspark in 2020 (zie Paragraaf 6.1 voor toelichting van de gebruikte methodes). Het additionele potentieel voor WKK in 2020 bestaat uit:

- Het potentieel voor nieuwe WKK voor stoomproductie.
- Het potentieel voor nieuwe WKK met directe warmtebenutting.
- Hogere benutting van bestaande WKK.

In het hier gebruikte scenario wordt uitgegaan van een groei van de fysieke productie van de chemische industrie van 3% per jaar. Dit uitgangspunt is gekozen door de VNCI. Door de toename van de productie neemt de warmtevraag toe, waardoor er potentieel ontstaat voor nieuwe WKK. Als gevolg van energie-efficiencyverbeteringen is de groei van de warmtevraag echter wel minder sterk dan de groei van de productie.



Figuur 7.1 *Ontwikkeling van de warmtevraag in de chemische industrie onder scenario-aannames*

De in de enquête ondervraagde bedrijven geven aan dat het extra potentieel voor stoomproducerende WKK bij de huidige chemiebedrijven ongeveer 500 MW<sub>e</sub> is. Er is al ongeveer 1900 MW<sub>e</sub> opgesteld. Onder de aannames voor de groei van de chemie is het totale potentieel voor nieuwe WKK die kan voorzien in de stoomvraag ongeveer 1100 MW<sub>e</sub>. Hierbij is uitgegaan van een warmte-krachtverhouding van 1:1. Het elektrisch WKK-vermogen dat kan worden gerealiseerd hangt sterk af van deze aanname. De verschillende WKK-installaties hebben sterk verschillende warmte-krachtverhoudingen (bij de gasturbines zijn deze bijvoorbeeld veel hoger dan bij de STEG-installaties). Wanneer wordt gebruikt dat het besparingspercentage van de grote WKK-types rond de 32% ligt (zie Paragraaf 6.2) komt het technisch potentieel voor energiebesparing uit op ongeveer 40 PJ en het technisch potentieel voor emissiereductie op ongeveer 2.2. Mton.

Voor WKK met directe warmtebenutting volgde uit de enquête een extra WKK-potentieel van ongeveer 300 MW<sub>e</sub>. Als gevolg van de groei van de chemische industrie neemt dit potentieel toe tot ongeveer 400 MW<sub>e</sub>. Uitgaande van 8000 vollasturen en de warmte/krachtverhouding van 3.8 (passend bij de case Gasturbine met gestookt crude fornuis) is het technisch potentieel voor besparing ongeveer 15 PJ en voor emissiereductie ongeveer 1,0 Mton.

Ook betere benutting van bestaande WKK-installaties kan de energiebesparing door WKK in de chemie verhogen. WKK wordt vaak niet maximaal benut omdat er in deellast wordt gedraaid of omdat flexibel inzetbare WKK wordt uitgezet of afgeregeld wanneer de elektriciteitsprijzen te laag zijn. Het draagt bij aan het vermijden van emissies om ook in de daluren zoveel mogelijk gebruik te maken van de WKK-installaties als er warmtebehoefte is.

Het is echter zeer onzeker hoeveel extra warmtevraag kan worden ingevuld. In lang niet alle gevallen zal het mogelijk zijn het aantal vollasturen te verhogen. Mogelijk hebben op dit moment vooral minder efficiënte WKK-installaties een lager aantal draaiuren (omdat deze installaties hogere marginale kosten voor elektriciteitsproductie hebben). Minder efficiënte installaties leveren relatief minder energiebesparing op dan efficiënte installaties. Als wordt uitgegaan van een

warmte-krachtverhouding van 1:1 en het besparingspercentage van de grote WKK-types van ongeveer 32%, dan levert elke PJ warmte die extra wordt ingevuld met WKK een besparing van ongeveer 1,2 PJ op en een emissiereductie van ongeveer 70 kton.

Tabel 7.1 geeft een totaaloverzicht van de inschattingen van het technisch potentieel voor besparingen van nieuwe WKK tot 2020. Er zijn meerdere redenen waarom het technisch potentieel niet volledig zal worden benut. Om het potentieel te kunnen realiseren moeten de investeringen voldoende economisch aantrekkelijk zijn. Ook kunnen er binnen bedrijven en door externe omstandigheden en regelgeving barrières bestaan die maximale toepassing van WKK verhinderen.

Tabel 7.1 *Inschatting van technische WKK-potentiëlen voor de chemische industrie*

	<i>Stoom</i>	<i>Directe warmte</i>
	Technisch potentieel nieuwe WKK tot 2020	Technisch potentieel nieuwe WKK tot 2020
Additioneel vermogen [MW <sub>e</sub> ]	1100	400
Productie elektriciteit [PJ]	30	10
Productie warmte [PJ]	30	40
Brandstofinzet [PJ]	80	60
Besparing [PJ]	40	15
Emissiereductie [Mton]	2,2	1,0

## 7.2 Scenarioresultaten

Voor het maken van het scenario is gebruikt gemaakt van het 'Save productie' model van ECN. Met dit model kunnen de ontwikkeling van de energievraag, de inzet van WKK en investeringen in WKK-installaties in de chemische industrie worden gemodelleerd. Net als bij de onrendabele top berekeningen wordt ervan uitgegaan dat investeringen in WKK aantrekkelijk zijn als er een rendement op eigen vermogen van 15% kan worden gehaald.

De brandstofprijzen uit het scenario zijn afkomstig uit het Primes 2007 baseline scenario. Dit scenario gaat uit van een continue, licht afnemende wereldwijde groei, met een bijbehorende groei van de energievraag. Door krapte aan de aanbodkant stijgen de olieprijsen licht. De gasprijzen zijn gekoppeld aan de olieprijsen. De kolenprijs stijgt maar zeer weinig.

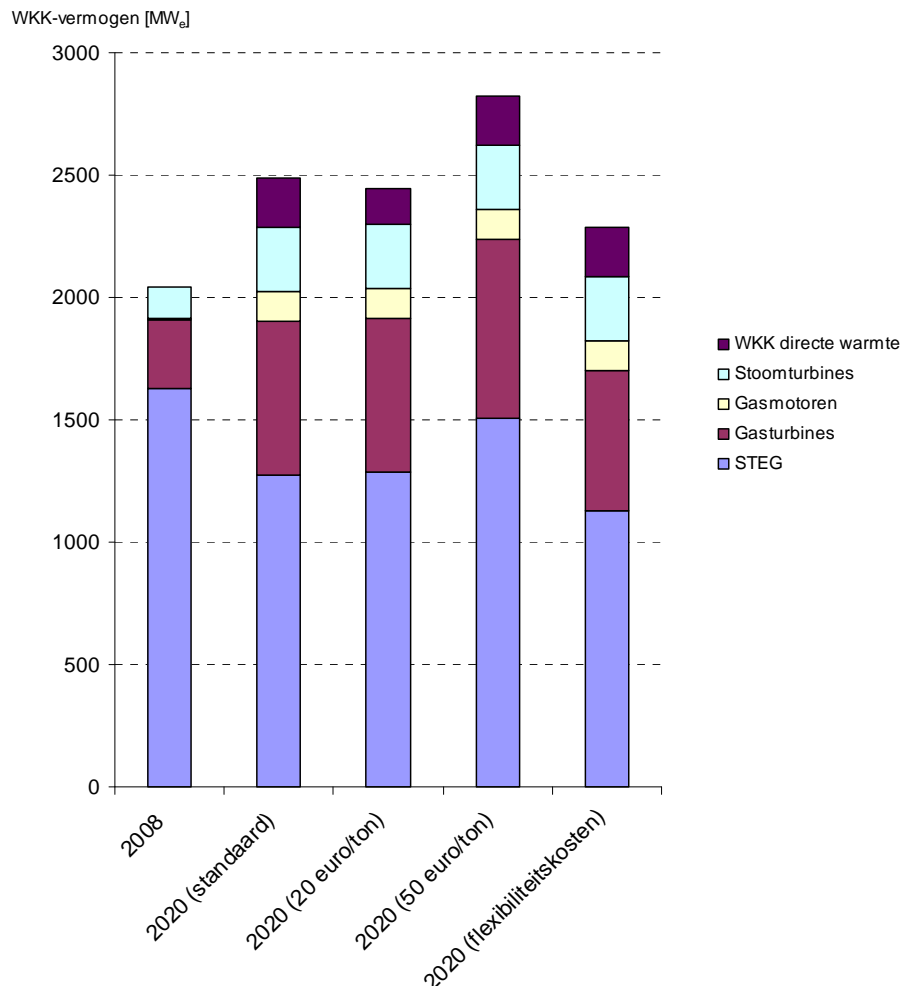
De marktprijzen voor elektriciteit in het scenario dalen sterk in de periode 2008-2010. Oorzaken hiervoor zijn de ingebruikname van nieuwe gascentrales, de NorNed kabel en de toename van WKK-productie door de glastuinbouw. Tussen 2010 en 2020 lopen de prijzen weer op door de hogere CO<sub>2</sub> prijs vanaf 2010, de gestage stijging van de aardgasprijzen en de stijging van de elektriciteitsvraag. Vooral door vervanging van oud inefficiënt fossiel gestookt vermogen door nieuwe efficiënte centrales zet na 2020 een beperkte daling van de elektriciteitsprijzen in.

Aanvullend op de berekeningen voor het scenario is een drietal onzekerheidsanalyses uitgevoerd:

- 1) Een CO<sub>2</sub>-prijs van 50 €/ton in plaats van 35 €/ton.
- 2) Een CO<sub>2</sub>-prijs van 20 €/ton in plaats van 35 €/ton.
- 3) Extra flexibiliteitskosten voor STEGs en gasturbines, waarbij wordt uitgegaan van 10% hogere investeringskosten en 20% hogere bedienings- en onderhoudskosten.

Bij een CO<sub>2</sub>-prijs van 20 €/ton zijn de baseload prijzen voor elektriciteit gemiddeld 5 €/MWh lager dan bij een CO<sub>2</sub>-prijs van 35 €/ton. Bij een CO<sub>2</sub> prijs van 50 €/ton zijn de prijzen gemiddeld 10 €/MWh hoger.

Figuur 7.2 toont de resultaten voor de ontwikkeling van het opgesteld WKK-vermogen in het scenario. Onder de scenario-omstandigheden neemt het WKK-vermogen in de periode 2008-2020 met ongeveer 450 MW<sub>e</sub> toe. Ongeveer 200 MW<sub>e</sub> hiervan is WKK met directe warmtebenutting, en de overige 250 MW<sub>e</sub> betreft stoomleverende WKK. Dit betekent dat van het technisch potentieel voor extra stoomleverende WKK maar ongeveer een kwart wordt gerealiseerd.



Figuur 7.2 Scenarioresultaat voor de ontwikkeling van het opgesteld WKK-vermogen in de chemische industrie

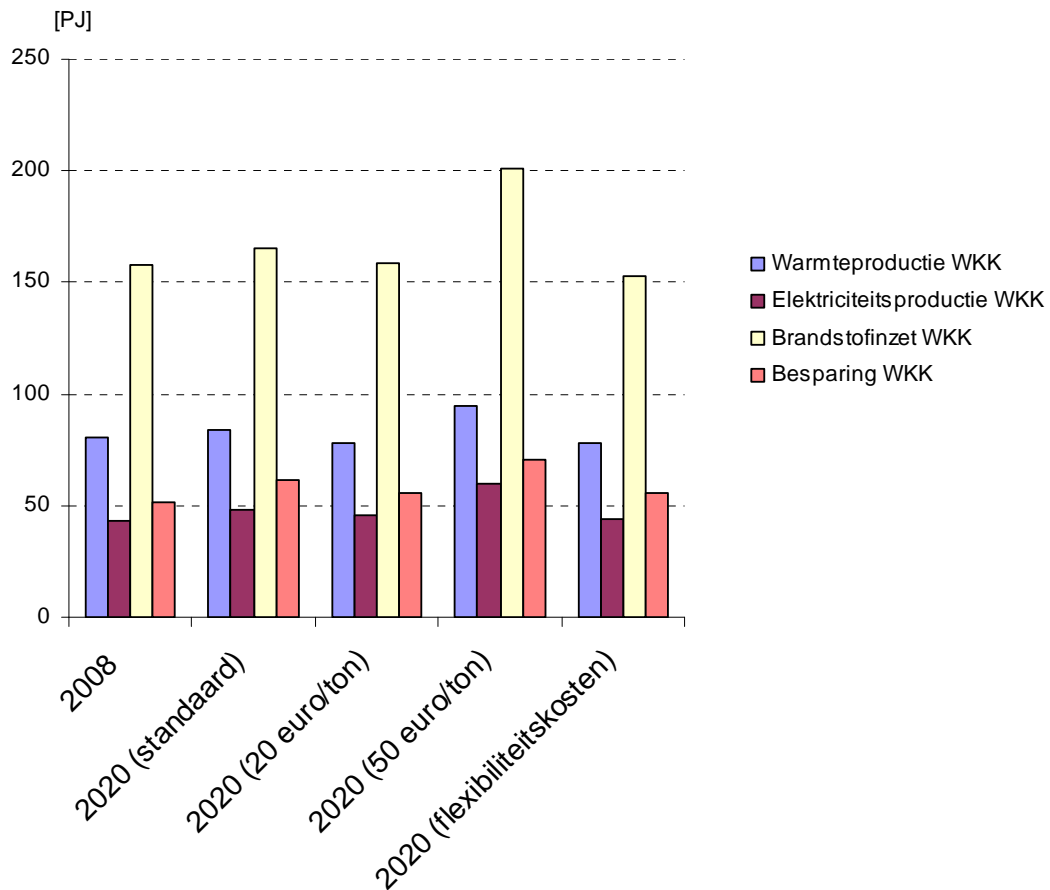
Het opgesteld STEG-vermogen daalt in het scenario, hoewel er wel locaties bestaan die geschikt zijn voor het plaatsen van grote installaties. Omdat er voor de STEG-installaties een onrendabele top bestaat zijn investeringen niet voldoende aantrekkelijk. De modelresultaten laten wel een groei zien van gasturbinevermogen. Investeren in gasturbines is mogelijk een alternatief voor investeringen in STEGs. Op één locatie kunnen ook meerdere gasturbine-installaties worden geplaatst. Door de hogere warmte-kracht verhouding van de gasturbines met bijstook zijn de opbrengsten minder gevoelig voor tegenvallende elektriciteitsprijzen.

In het scenario worden enkele nieuwe WKK-installaties met directe warmtebenutting geplaatst. Dit is in lijn met de bevinding uit Hoofdstuk 5 dat investeringen in deze installaties rendabel zijn. De WKK-cases waar het hier om gaat zijn de gasturbine met gestookt crude fornuis en een gasturbine die wordt voorgeschakeld voor een fornuis. Met dit type WKK-installaties is weinig ervaring, wat investeringen bemoeilijkt. WKK-installaties met directe warmtebenutting zitten dicht tegen het hart van de bedrijfsvoering. Inpassingsproblemen en kosten zijn waarschijnlijk sterk locatieafhankelijk. Omdat er geen recente kosteninschattingen voor deze typen installaties



beschikbaar zijn, is bij de WKK-cases uitgegaan van dezelfde specifieke investeringskosten als bij de Grote gasturbine case. Of en hoe het potentieel voor WKK met directe warmtebenutting in de praktijk ingevuld kan worden is zeer onzeker.

Gasmotoren kunnen worden ingezet voor kleinschalige warmteproductie, en produceren warmte van lagere temperatuur. Investeringskosten lijken wel aantrekkelijk, mits de warmtebehoefte aansluit bij de schaal van gasmotoren. Bij grote energie-intensieve bedrijven lijkt dit geen geschikte optie, maar mogelijk zijn er nichemarkten binnen de chemische industrie. In het scenario is een stijging van het opgesteld gasmotorvermogen te zien, maar hierbij blijft het gaan om een zeer beperkt deel van het totale vermogen.



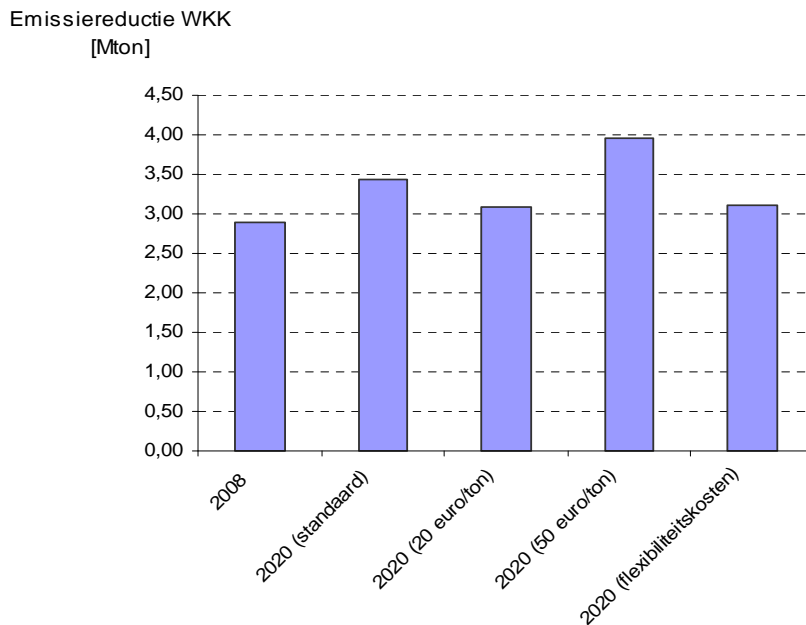
Figuur 7.3 Scenarioresultaat voor de ontwikkeling van toepassing van WKK in de chemische industrie

Figuur 7.2 geeft de ontwikkeling van de productie van warmte en elektriciteit, met daarbij de brandstofinzet voor WKK en de bijbehorende besparing (berekend conform het Protocol Monitoring Energiebesparing). De energiebesparing door WKK neemt in het scenario toe van ongeveer 50 PJ in 2008 tot ongeveer 60 PJ in 2020. De toename wordt voornamelijk veroorzaakt door het extra geplaatste WKK vermogen. Het gemiddelde aantal vollasturen van de bestaande WKK-installaties neemt over deze periode enigszins af, wat een drukkend effect heeft op de besparing. In de gevoeligheidsanalyse voor de hogere CO<sub>2</sub>-prijs blijft het aantal vollasturen beter op peil.

Bij de onzekerheidsanalyse waarbij wordt uitgegaan van een CO<sub>2</sub> prijs van 50 €/ton komen hogere elektriciteitsprijzen tot stand. Dit leidt tot een hoger aantal vollasturen en meer investeringen in nieuwe WKK-installaties. De energiebesparing door WKK stijgt in deze variant tot ongeveer 70 PJ. Een scenario op basis van een wat lagere CO<sub>2</sub> prijs van 20 €/ton leidt juist tot licht minder WKK-vermogen en energiebesparing. Bij de onzekerheidsanalyse voor mogelijke extra

flexibiliteitskosten worden ook wat minder WKK gerealiseerd dan in het standaard scenario. Hierdoor is ook de energiebesparing wat lager.

De emissiereductie ten opzichte van gescheiden opwekking van elektriciteit en warmte is weer-gegeven in Figuur 7.4. Als referentie is hierbij het elektriciteitspark van 2020 uit de Actualisatie van de referentieramingen van ECN en PBL gebruikt (zie ook Paragraaf 6.1). In het scenario volgt in 2020 een emissiereductie van 3,4 Mton. Bij de gevoeligheidsanalyse voor een CO<sub>2</sub>-prijs van 50 €/ton is de emissiereductie met 4,0 Mton in 2020 een stuk hoger. Ter vergelijking is in de figuur ook aangegeven dat (wanneer dezelfde referentie wordt gebruikt) de emissiereductie van het WKK-park in 2008 ongeveer 2,9 Mton is.



Figuur 7.4 *Emissiereductie WKK in de chemie ten opzichte van gescheiden opwekking in 2020*

## 8. Conclusie

Om een beeld te geven van de marktomstandigheden voor WKK zijn in dit rapport resultaten gepresenteerd voor de sparkspreads voor een achttal WKK-cases. Hierbij is gebruik gemaakt van scenarioprijzen en forwardprijzen. Tijdens de piekuren blijken de marginale opbrengsten voor alle cases hoog genoeg om de marginale kosten te dekken. Als er warmtevraag bestaat, zullen de installaties daarom tijdens de piekuren zo veel mogelijk worden ingezet. Lage of negatieve sparkspreads gedurende de daluren kunnen bij sommige cases (met name de STEG cases) echter wel aanleiding geven om installaties uit te zetten of terug te regelen.

De onrendabele top kan gebruikt worden als maatstaf voor de rentabiliteit van investeringen in nieuw WKK-vermogen. Voor vier van de acht cases bestaat er een onrendabele top (wanneer wordt uitgegaan van de scenarioprijzen, de ETS3 allocatiemethode voor emissierechten en een warmtekorting). Als een case een positieve onrendabele top heeft, betekent dit dat de opbrengsten van WKK-exploitatie onvoldoende zijn om een rendement op eigen vermogen van 15% te realiseren.

Door flexibel inzetbare WKK-installaties te bouwen kunnen mogelijke verliezen in de daluren worden beperkt. Ook kunnen de risico's worden verminderd door voor installaties met een hogere warmte/krachtverhouding te kiezen. Beide strategieën leiden echter wel tot een lagere energiebesparing in absolute zin.

Gebruikmakend van scenario-aannames over de groei van de chemische industrie wordt ingeschat dat er een aanzienlijk technisch potentieel bestaat voor nieuwe WKK tot 2020. Het potentieel voor nieuw WKK-vermogen dat kan voorzien in de stoomvraag wordt ingeschat op 1100 MW<sub>e</sub>. Voor nieuwe WKK met directe warmtebenutting wordt het potentieel ingeschat op 400 MW<sub>e</sub>. Daarnaast bestaat er ook technisch potentieel voor een betere benutting van de bestaande WKK-capaciteit. Er moet hierbij wel opgemerkt worden dat het belang van de technische potentiëlen beperkt is en dat de rol en het aandeel van WKK sterk contextafhankelijk zijn. Met WKK met directe warmtebenutting bestaat nog weinig ervaring, waardoor de onzekerheden vooral voor dit type WKK groot zijn.

## Referenties

- Boonekamp, P.G.M., W. Tinbergen, H.H.J. Vreuls, B. Wesselink (2001): *Protocol Monitoring, 2001*.
- Centraal Bureau voor de Statistiek (2009): [www.cbs.nl](http://www.cbs.nl).
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS): *Standaard Bedrijfsindeling 2008, Structuur*.
- CPB, ECN, SenterNovem en RIVM: *Energiebesparing*. ECN-C--01-129, Petten, 2001.
- Daniëls, B.W., et al. (2009): *Actualisatie referentieramingen Energie en Emissies 2008-2020*, ECN-C--09-010, Petten, 2009.
- Dril, A.W.N. van, H.E. Elzenga (2005): *Referentieramingen energie en emissies 2005-2020*, ECN-C--05-018/MNP-773001031, Petten/Bilthoven, 2005.
- Dril, A.W.N. van, coörd. (2009): *Verkenning Schoon en Zuinig, Effecten op energiebesparing, hernieuwbare energie en uitstoot van broeikasgassen*. ECN-E--09-022, Petten, 2009.
- Europese Commissie DG TREN (2006): *Analysis and Guidelines for Implementation of the CHP Directive 2004/8/EC Reference Values – Matrix*. Interim version, 2 January 2006.
- Europese Commissie (2008): *European Energy and Transport - Trends to 2030 Update 2007*. Directorate-General for Energy and Transport, Office for Official Publications of the European Communities, 8 april 2008.
- Hers, J.S., W. Wetzels (2009): *Onrendabele top berekeningen voor nieuw WKK vermogen 2009*. ECN-E--08-082, Petten, februari 2009.
- Marel, J. van der, E. Goudappel, B. Ebbinge Wubbe (2008): *Techno-economische parameters SDE WKK 2008*. Jacobs Consultancy, Leiden, 31 maart 2008.
- Point Carbon (2009): *Carbon 2009- Emission trading coming home*, Tvinneheim, E., Roine K, and Heimdal, C (eds.), 2009.
- PricewaterhouseCoopers (2009): *Het potentieel van WKK in de Chemie, Enquête onder leden van de VNCI*. 29 mei 2009.
- Rotterdam Climate Initiative (2009): *CO<sub>2</sub> Capture, Transport and Storage in Rotterdam - Report 2009*. DCMR, Schiedam, september 2009.
- Seebregts, A., H. Groenenberg (2009): *How may CCS technology affect the electricity market in North-Western Europe*. Energy Procedia 1, 4181-4191, 2009.
- Seebregts A.J., C.H. Volkers (2005), *Monitoring Nederlandse elektriciteitscentrales 2000-2004*. ECN-C-05--090, Petten, 2005.
- Sijm, J.P.M., S.J.A. Bakker, Y. Chen, H.W. Harmsen, W. Lise (2005): *CO<sub>2</sub> price dynamics: the implications of EU emissions trading for the price of electricity*. ECN-C-05--081, Petten, 2005.

## Bijlage A Energie-investeringsaftrek (EIA)

Uitgaande van de kapitaallasten uit de onrendabele top berekeningen kan het effect van de energie-investeringsaftrek worden bepaald. De grote STEG komt niet in aanmerking voor EIA, omdat installaties met een vermogen groter dan 150 MW<sub>e</sub> daarop geen aanspraak kunnen maken. De gasturbine met gestookt crude fornuis en de voorgeschakelde gasturbine voldoen niet aan de eis om van een Senterrendement van ten minste 70%. In Tabel A.1 is aangegeven wat de hoogte van de energie-investeringsaftrek voor de zes cases is.

Tabel A.1 *Hoogte van de energie-investeringsaftrek voor de WKK-cases*

	Grote STEG	Kleine STEG	Grote gasturbine	Kleine gasturbine	Grote gasmotor	Kleine gasmotor	GT gestookt crude fornuis	Voorgeschakelde GT
Kapitaallasten met EIA [ct/kWh]	2,50	3,22	1,93	2,99	1,79	3,22	1,69	1,69
Kapitaallasten zonder EIA [ct/kWh]	2,50	3,37	2,06	3,12	1,91	3,47	1,69	1,69
Toename kapitaallasten in afwezigheid EIA [ct/kWh]	0,00	0,15	0,13	0,13	0,12	0,25	0,00	0,00
Investering in aanmerking voor EIA [€mln.]	0	36	27	4,8	0,7	0,24	0	0
Energie investeringsaftrek [€mln.]	0	15,8	11,9	2,11	0,308	0,106	0	0