

Davidse Consultancy
Energie, klimaat, milieu
Bennekom
0318 413391
hans.davidse@hetnet.nl

**ONDERZOEK NAAR HET GROEIPOTENTIEEL
VAN WARMTEKRACHTKOPPELING
IN DE NEDERLANDSE AARDOLIERAFFINAGE SECTOR
EN DE DAARMEE TE REALISEREN
BRANDSTOFBESPARING EN CO₂-EMISSIE REDUCTIE**

Hans Davidse

Bennekom, juli 2010

Samenvatting

Onderzoek:

In opdracht van de VNPI is onderzoek gedaan naar het groeipotentieel van WKK dat tussen nu en 2020 nog gerealiseerd zou kunnen worden in de raffinage sector en hoeveel brandstofbesparing en CO₂-emissie reductie daarmee behaald kan worden. Gegeven het feit dat de warmteproductie in volcontinue bedrijf moet plaats vinden is de elektriciteit uit deze WKK typisch basislast vermogen, dat op de elektriciteitsmarkt vooral met kolenvermogen concurreert. Daarom is ook onderzoek gedaan naar de rentabiliteit van deze WKK en hoe de productiekosten van WKK-electriciteit zich verhouden tot die van kolencentrales met en zonder CCS.

Dit onderzoek is ondersteund door Agentschap NL.

Huidige WKK:

De gegevens van de huidige WKK in de raffinage sector zijn weer gegeven in tabel A.

Tabel A: Huidige WKK		
Vermogen	MWe	255
E-productie	GWh/j	2078
	TJ/j	7479
W-productie	TJ/j	15870
Brandstof	TJ/j	26516
Rendement	%	88
CO₂ emissie	kt/j	1488

Voor de toekomstige WKK is vooral de ontwikkeling van de warmtevraag op de raffinaderijen van belang. Daarbij is gekeken naar twee categorieën: de stoomvraag en de proceswarmte. In het onderzoek is er vanuit gegaan dat de stoomproductie die nu nog met ondervuring in ketels plaats vindt licht zal dalen omdat meer stoom met restwarmte geproduceerd wordt en dat de vraag naar proceswarmte constant blijft.

Technisch WKK potentieel:

Uit het onderzoek op de raffinaderijen is gebleken dat er nog een substantieel WKK-potentieel aanwezig is. Het betreft zowel WKK die stoom produceert als WKK die proceswarmte genereert. In dat laatste geval wordt ook altijd stoom in combinatie met proceswarmte opgewekt om een optimaal WKK-rendement te realiseren. Het nog beschikbare technisch potentieel aan WKK is weergegeven in tabel B.

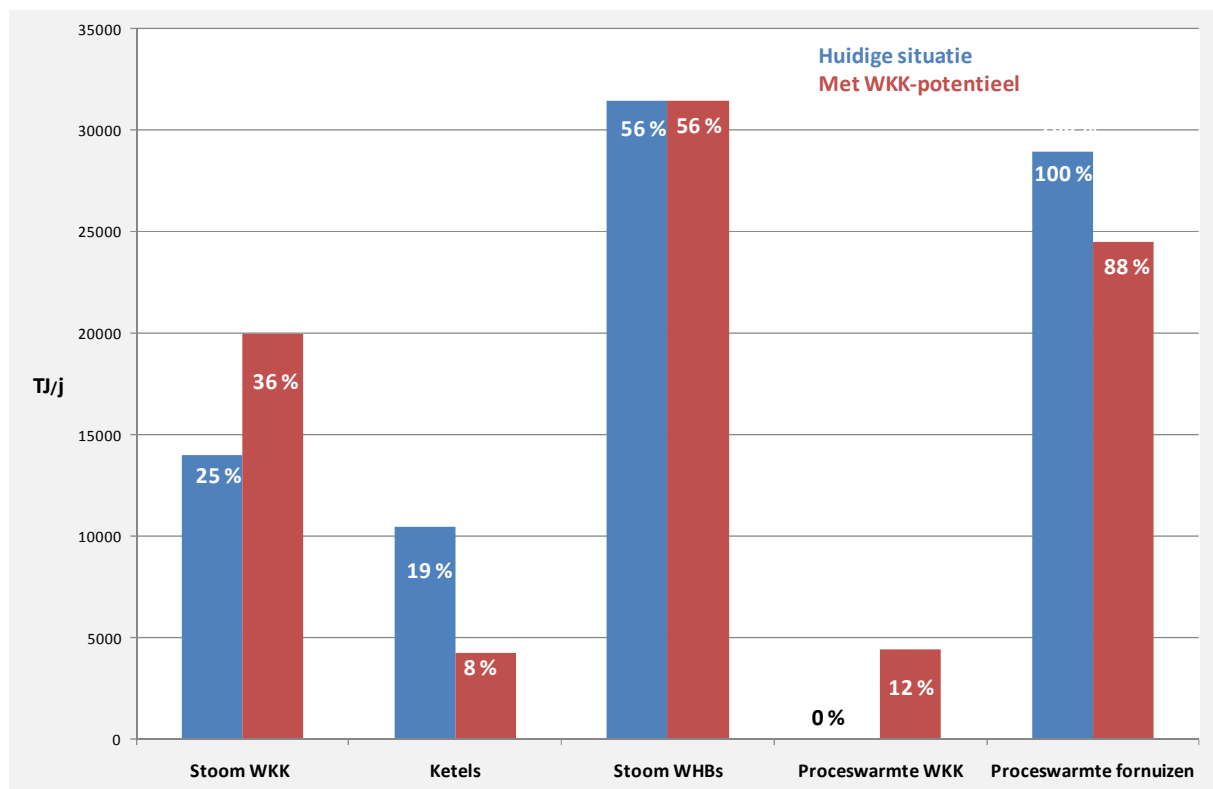
Tabel B: Technisch potentieel aan extra WKK		
Vermogen	MWe	280
Elektriciteitsproductie	GWh/j	2340
	TJ/j	8420
Warmteproductie	TJ/j	12100
Brandstof	TJ/j	24955
Totaal rendement	%	82
CO₂-emissie	kt/j	1400
Import van elektriciteit	GWh/j	45
Export van elektriciteit	GWh/j	1490

Het WKK-vermogen kan nog ongeveer verdubbelen ten opzichte van het huidig opgesteld vermogen. De limiterende factor is de stoomvraag op de raffinaderijen en de ruimte die er nog is om het aandeel van de ketels in de stoomproductie te verkleinen.

Voor een deel is dit ook vervanging van bestaand WKK-vermogen. De totale energie-opwekking (bestaande en nieuwe WKK plus ketels en bij behorende fornuizen) is weergegeven in tabel C.

Tabel C: Energie-opwekking met WKK potentieel		
WKK vermogen (bestaand + nieuw)	MWe	500
Elektriciteitsproductie WKK	GWh/j	4100
Stoomproductie huidige WKK	TJ/j	12360
Stoomproductie nieuwe WKK	TJ/j	7650
Stoomproductie ketels	TJ/j	4250
Proceswarmte met WKK	TJ/j	4450
Proceswarmte met fornuizen	TJ/j	24520
Totaal brandstof	TJ/j	80020
Totaal CO₂-emissie	kt/j	4490
Import van elektriciteit	GWh/j	45
Export van elektriciteit	GWh/j	1490

De elektriciteitsproductie van de extra WKK bedraagt 2340 GWh per jaar; 64 % hiervan wordt geëxporteerd. De verdeling van stoom- en proceswarmte-opwekking over de verschillende productiemiddelen met het extra WKK-potentieel is in figuur A weergegeven.



Figuur A: Verdeling stoom- en proceswarmte-opwekking

Brandstofbesparing en CO₂-reductie:

De WKK-opties op de raffinaderijen waaruit het WKK-potentieel is opgebouwd voldoen aan de criteria die in de EU WKK-richtlijn zijn vastgelegd om aangemerkt te kunnen worden als 'hoog rendement' WKK. Die kwalificatie is vereist om in aanmerking te komen voor eventuele nationale financiële support.

De brandstofbesparing en CO₂-emissie reductie die met dit WKK-potentieel gerealiseerd kunnen worden zijn bepaald aan de hand van de rekenregels uit het MEE convenant.

De brandstofbesparing is ca 6.5 PJ per jaar. De CO₂-emissiereductie is 0.8 mln ton per jaar.

In het onderzoek is ook een schatting gemaakt van het beschikbare WKK-potentieel indien warmte zou kunnen worden geëxporteerd en de stoomvraag op de raffinaderijen dus geen limiterende factor meer zou zijn. Het WKK-potentieel is in dat geval ca 750 MWe en het totale WKK-vermogen inclusief bestaande WKK 970 MWe. Voor het maximum WKK-potentieel, waarbij ca 8 PJ warmte geëxporteerd wordt, is de brandstofbesparing 15.5 PJ per jaar en de CO₂ reductie 2.1 mln t CO₂ per jaar.

Rentabiliteit:

De rentabiliteit van WKK in de raffinage sector is bepaald op basis van een aantal scenario's van energie- en CO₂ -prijzen. Twee daarvan ('UR-GE' en 'Nieuwe RR') zijn gebruikt door ECN en het PBL voor de actualisering van de Referentieramingen voor energie en emissies tot 2020. Daarnaast is de rentabiliteit onderzocht op basis van jaargemiddelde forward prijzen voor de jaren 2009, -10, en -11. De scenario's zijn weergegeven in tabel D.

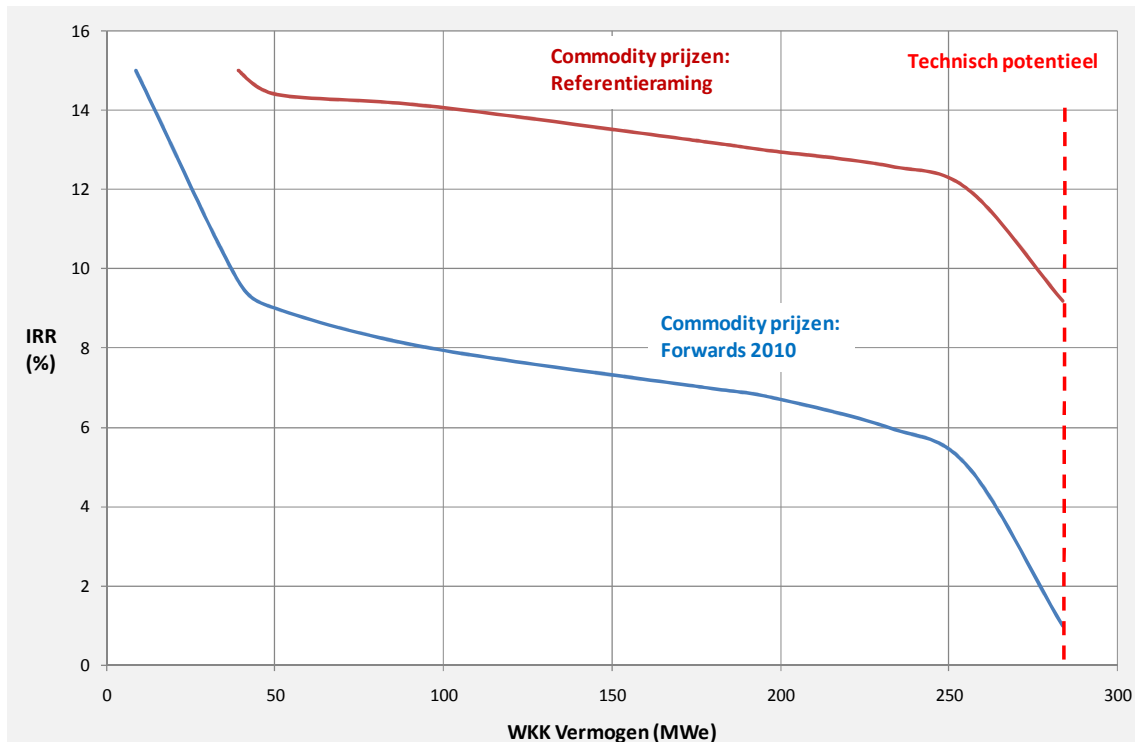
Tabel D: Energie en CO ₂ -prijsscenario's							
			UR-GE Actualisatie	Nieuwe RR	FW 2009	FW 2010	FW 2011
Elektriciteit	Basislast	€/MWh	70,4	67	74,2	64,8	66,1
	Piekuren	€/MWh	80,2	78	98,1	86,5	89,4
	Daluren	€/MWh	62,2	57	53,9	46,3	46,3
Aardgas		€/m ³	0,22	0,21	0,30	0,25	0,27
		€/GJ	6,9	6,7	9,4	7,9	8,6
CO₂		€/EUA	35,3	22,4	24,2	18,2	19,0

De terugverdientijd en de IRR van het technisch WKK-potentieel zijn weergegeven in tabel E.

Tabel E: Economisch resultaat WKK potentieel			
ECN UR-GE	S.P.O.T ^{*)}	j	7,5
	IRR	%	8 %
ECN RR 2010	S.P.O.T.	j	7,1
	IRR	%	9 %
FW 2009	S.P.O.T.	j	11,5
	IRR	%	2 %
FW 2010	S.P.O.T.	j	12,5
	IRR	%	1 %
FW 2011	S.P.O.T.	j	16,9
	IRR	%	- 3 %

*) Simple Pay-out Time

Het economisch resultaat kan dus sterk fluctueren afhankelijk van de energie- en CO₂-prijzen. Voor het prijsscenario van de Referentieramingen is de gemiddelde terugverdientijd van het WKK-potentieel 7,1 jaar en de IRR 9 %. Figuur B geeft de relatie tussen IRR en economisch haalbaar WKK-vermogen, gebaseerd op het prijsscenario van de nieuwe Referentieramingen en voor de jaargemiddelde forwardprijzen voor 2010.



Figuur B: Economisch potentieel in relatie tot IRR-criterium

Bij de commodity prijzen uit de Referentieramingen heeft het technische potentieel een IRR van 9 %. Bij de forwardprijzen 2010 is dat 1 %. Voor 90 % van het technische potentieel (ca 250 MWe) zijn deze getallen resp. 12 % en 5,5 %.

Huidige overheidsmaatregelen voor WKK:

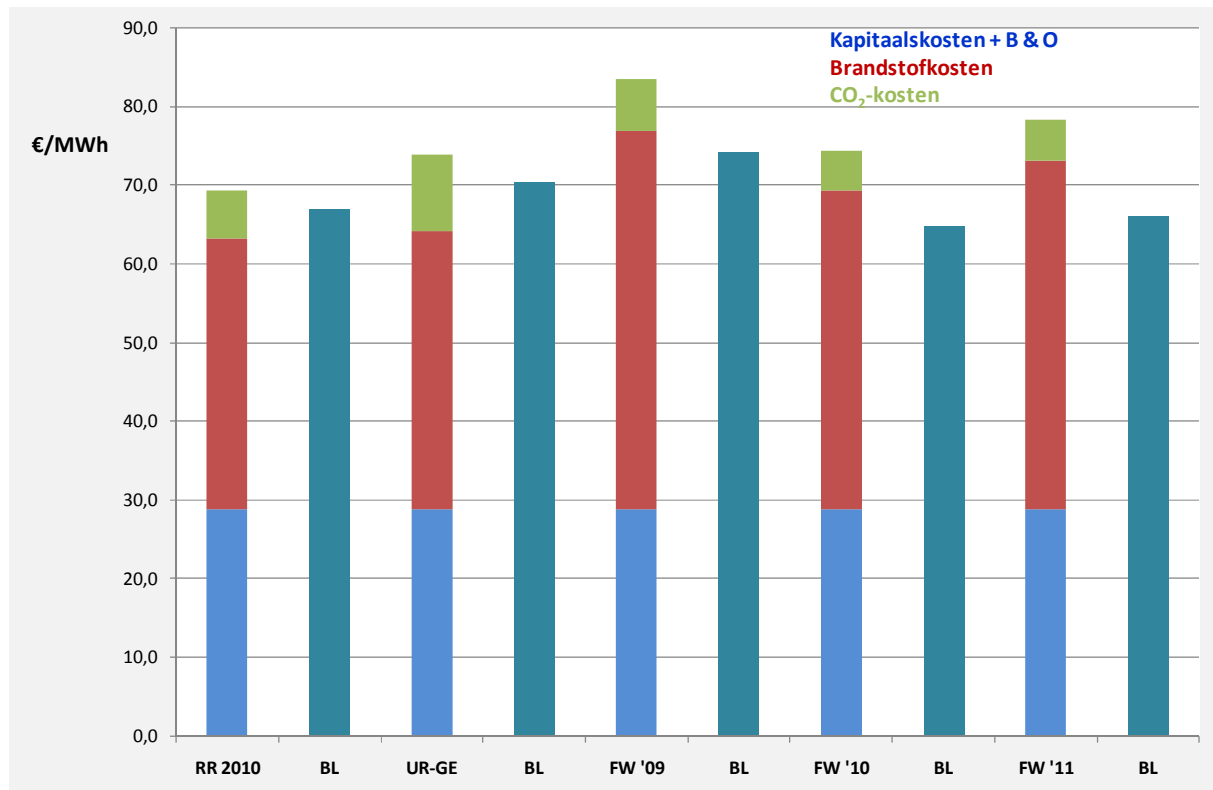
De overheid heeft in 2009 een vorm van exploitatie-ondersteuning gecreëerd voor nieuwe industriële WKK. De regeling is alleen van toepassing op één type WKK-installatie met een minimum vermogen van 150 MWe. Door deze beperking is de WKK-regeling voor de raffinaderijen niet van belang, omdat dergelijke grote WKK-installaties qua stoomproductie niet passen.

In de rentabiliteitsberekeningen is daarom geen rekening gehouden met deze WKK-regeling. WKK staat op de lijst van technologieën die in aanmerking komen voor EIA. De EIA zou resulteren in ca. 10 % lagere investeringskosten voor WKK. Industriële WKK moet daarvoor aan het volgende rendementscriterium voldoen: (El. prod. + 2/3W. prod.)/Brst. > 70 %. Dat is echter voor de meeste industriële WKK, en zeker voor de WKK in de raffinage sector, een onhaalbare eis.

Productiekosten van WKK-elektriciteit:

De integrale productiekosten van elektriciteit uit WKK zijn bepaald voor de commodity prijzen van de hiervoor beschreven prijsscenario's. Daarbij is gerekend met 15 jaar afschrijving en 12 %

kapitaalskosten. De resultaten zijn weergegeven in figuur C. Bij ieder prijsscenario is ook de basislast elektriciteitsprijs weer gegeven.



Figuur C: Productiekosten WKK-elektriciteit en basislast elektriciteitsprijzen

Voor alle prijsscenario's liggen de productiekosten hoger dan de basislast elektriciteitsprijs. De verschillen zijn het kleinst voor de twee ECN prijsscenario's.

Vergelijking met kosten voor CCS:

De vergelijking met de integrale productiekosten voor kolen met en zonder CCS is gemaakt voor het prijsscenario van de nieuwe Referentieramingen. Voor de kolencentrale is gerekend met 30 jaar afschrijving en 10 % kapitaalskosten.

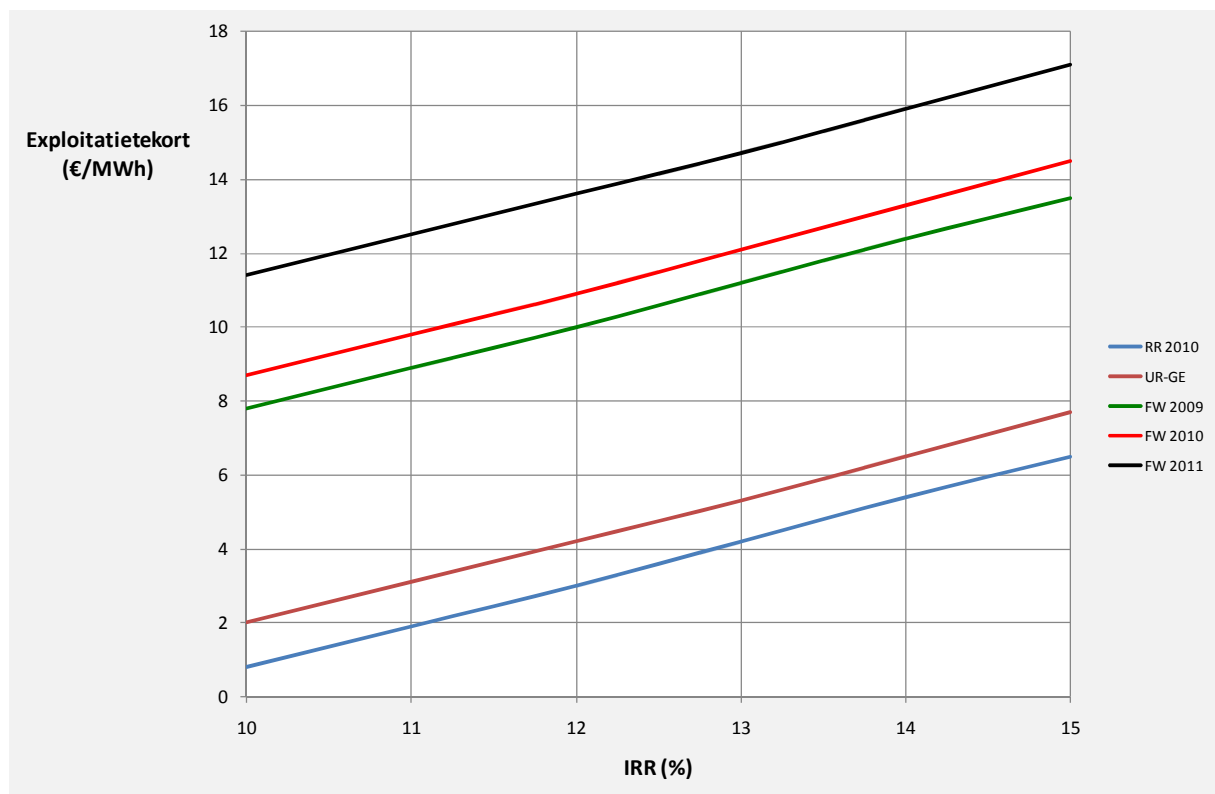
De productiekosten zijn weergegeven in tabel F.

Tabel F: Vergelijking Kolen (met CCS) en WKK				
		Kolen conv.	Kolen + CCS	WKK
Rendement	%	46	36	74
Vaste kosten	€/MWh	24,6	42,3	28,8
Milieukosten	€/MWh	1,5	1,7	
Brandstofkosten	€/MWh	19,3	24,6	34,5
CO₂-kosten	€/MWh	16,3	3,1	6,1
Totale productiekosten	€/MWh	62	72	69
Basislast El. prijs	€/MWh	67	67	67

Voor zowel WKK als kolen met CCS liggen de integrale productiekosten hoger dan de basislast commodity prijs voor elektriciteit. De kosten voor CCS worden geraamd op 55 €/t terwijl de CO₂ marktprijs in dit prijsscenario op 22,4 €/t ligt.

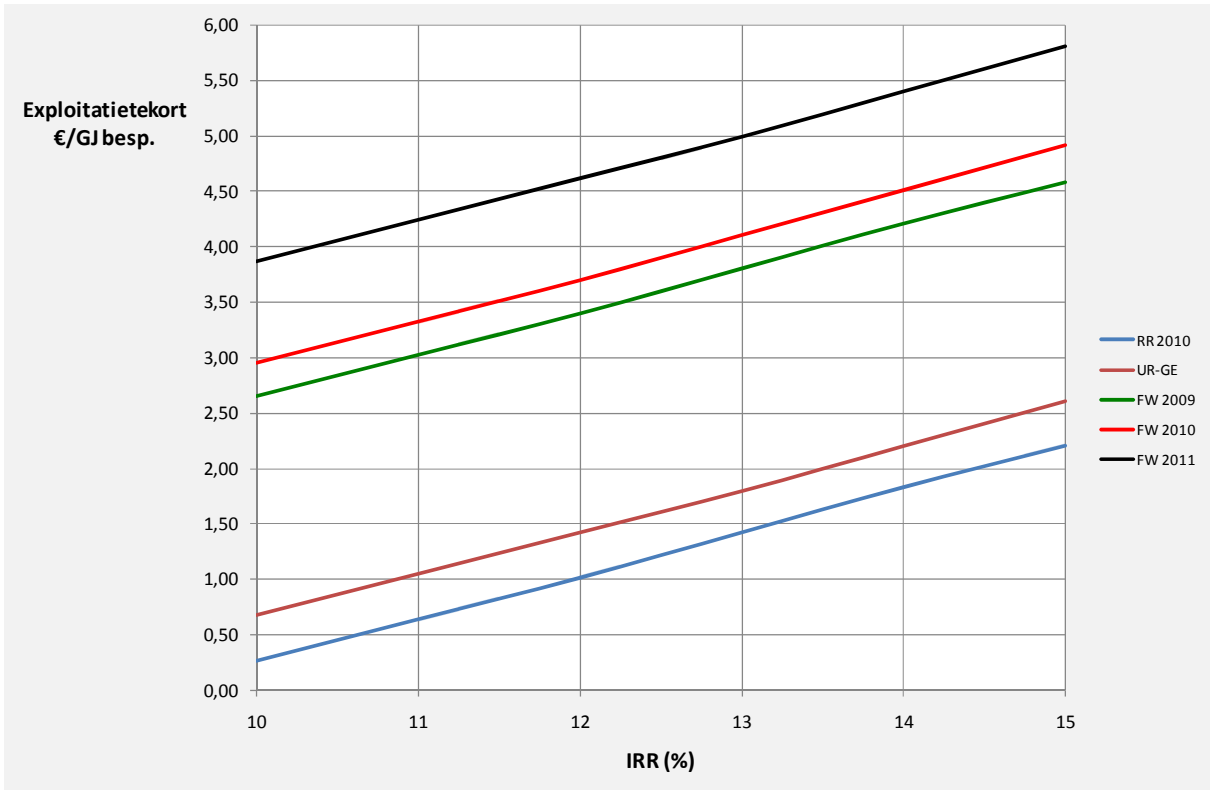
De kosten van brandstofbesparing en CO₂-emissie reductie bij WKK:

Het economisch resultaat van WKK kan gerelateerd worden aan de gerealiseerde brandstofbesparing en CO₂-emissie reductie, door het exploitatietekort voor een minimaal vereiste IRR uit te drukken als kosten per GJ besparing en per ton vermeden CO₂. Voor de vereiste IRR is een range genomen van 10 tot 15%. Figuur D geeft voor ieder van de prijsscenario's het exploitatietekort in €/MWh om een bepaalde IRR te realiseren over een projectduur van 15 jaar.

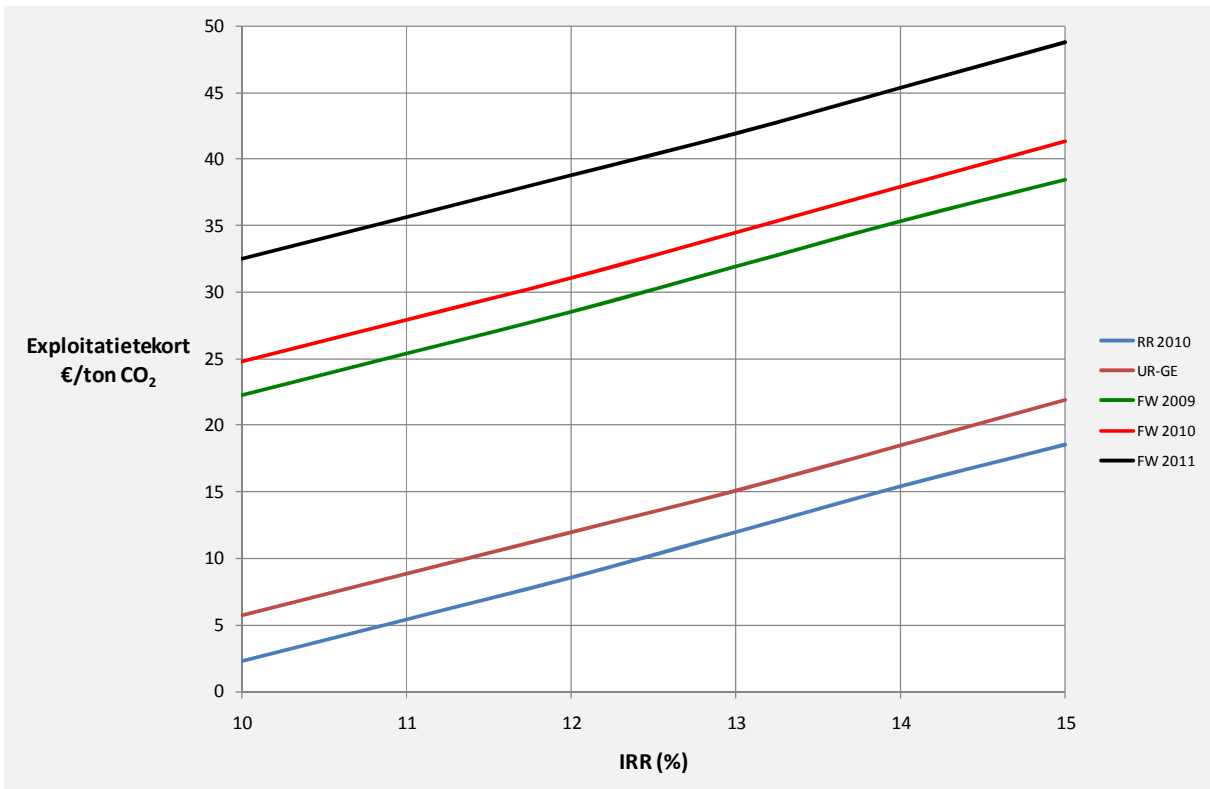


Figuur D: Exploitatietekort WKK als functie van IRR

Figuur E en F geven hetzelfde exploitatietekort in resp. € per bespaarde GJ brandstof en € per ton vermeden CO₂.



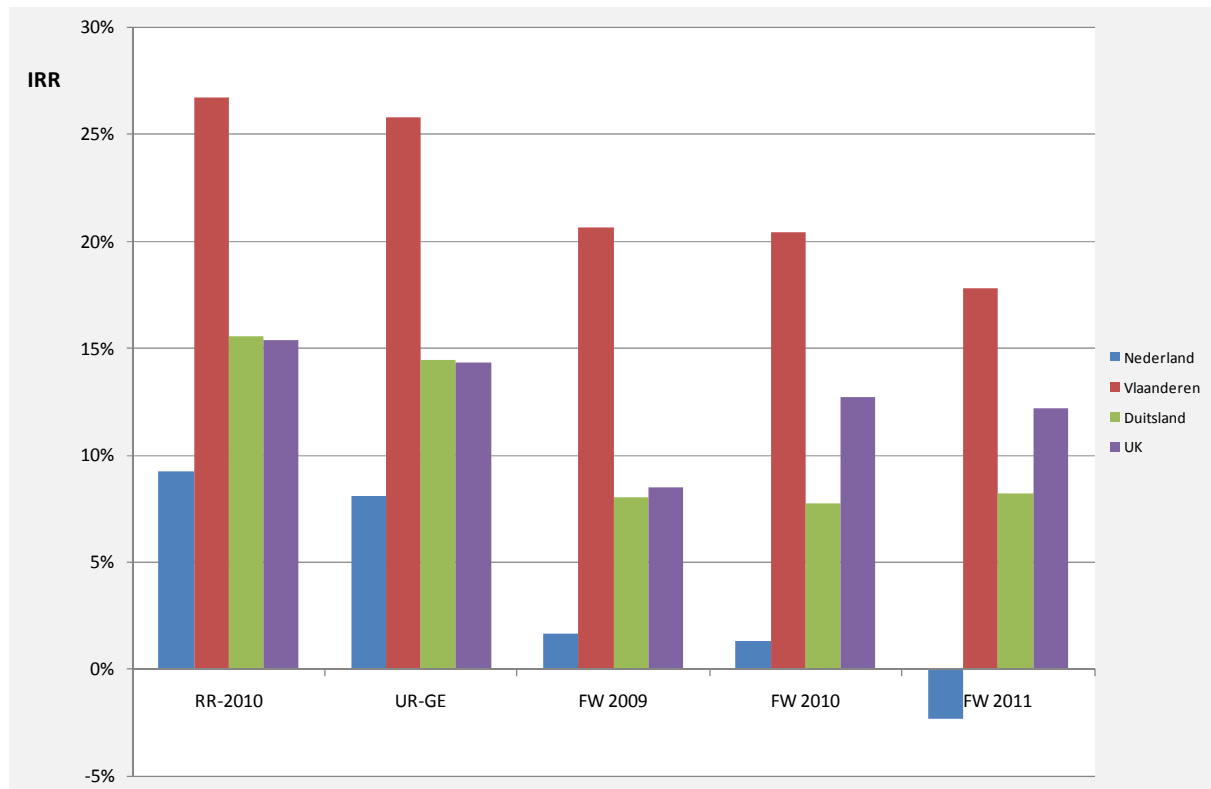
Figuur E: Exploitatietekort uitgedrukt in € per GJ bespaarde brandstof



Figuur F: Exploitatietekort uitgedrukt in € per ton vermeden CO₂

Vergelijking met WKK-regelingen in andere EU-landen:

De Nederlandse WKK-regeling is voor de raffinaderijen niet bruikbaar omdat die alleen van toepassing is op installaties van minimaal 150 MWe. In de studie is onderzocht hoe WKK-regelingen in andere EU-landen, met name Duitsland, België en Engeland, zouden uitpakken voor het WKK-potentieel van de raffinaderijen. In figuur G is het effect op de rentabiliteit van deze regelingen weergegeven ten opzichte van de rentabiliteit onder Nederlandse omstandigheden.



Figuur G: Invloed WKK-regelingen op rentabiliteit

Deze figuur illustreert het belang van een goede WKK-regeling voor investeerders, omdat daarmee de grote onzekerheid t.a.v. het economisch resultaat aanmerkelijk wordt verkleind.

De invloed van de Vlaamse certificatenregeling is het grootste. Maar ook de UK-regeling zorgt voor een flinke verbetering van het resultaat, ook bij de verschillende prijsscenario's. Dat wordt vooral veroorzaakt door het effect van het fiscale voordeel op de investeringskosten (vergelijkbaar met het effect van de Nederlandse EIA).

Welke nationale beleidsmaatregelen zijn nodig?

De belangrijkste barrière voor de realisatie van het WKK-potentieel in de raffinage sector is de grote onzekerheid ten aanzien van het economisch resultaat. Realisatie van een zo groot mogelijk deel van het potentieel is een gezamenlijk belang van de sector en de Nederlandse overheid. Het belangrijkste motief voor de raffinage sector om te investeren in WKK is dan niet in de eerste plaats economisch, maar de noodzaak om verdere energie-besparing en CO₂-emissie reductie te realiseren.

Voor de overheid is het realiseren van de besparingsdoelstelling het belangrijkste motief, maar ook de reductie van CO₂-emissie. Industriële WKK kan daar een substantiële bijdrage aan leveren tegen relatief geringe kosten. Daarvoor is vereist dat er een beter investeringsklimaat voor WKK gerealiseerd wordt. In principe zijn de twee bestaande instrumenten (EIA en WKK vangnet regeling)

daarvoor geschikt te maken. Bij de EIA gaat het in ieder geval om een aanpassing van het onrealistische rendementscriterium. De huidige vangnet regeling zou moeten worden toegepast op alle industriële WKK en ook nog na 2012 beschikbaar moeten zijn. Ook andere voorwaarden in deze regeling zouden moeten worden gewijzigd.

Inhoudsopgave

1. Inleiding
2. Doel van het onderzoek
3. Aanpak van het onderzoek
4. Het WKK-concept en referenties voor bepaling van brandstof- en CO₂-emissie-besparing
5. Huidige WKK in de raffinage sector
6. Technisch WKK potentieel
 - 6.1. Uitgangspunten
 - 6.2. Welke WKK-concepten?
 - 6.3. Toekomstige warmtevraag als basis voor het WKK-potentieel
 - 6.4. Technisch WKK-potentieel
 - 6.5. Technisch WKK potentieel indien warmte geëxporteerd zou kunnen worden
7. Brandstofbesparing en reductie van CO₂-emissie met het WKK-potentieel
 - 7.1. Besparing volgens de EU WKK-richtlijn
 - 7.2. Besparing volgens de regels uit het MEE convenant
 - 7.3. EIA criterium
8. De rentabiliteit van WKK in de raffinage sector
 - 8.1. Introductie
 - 8.2. Invloed van financiële support vanuit de SDE-regeling voor WKK
 - 8.3. Vergelijking met het overheidsonderzoek naar de rentabiliteit van WKK
 - 8.4. Commodity prijzen voor energie en CO₂
 - 8.5. Investerings en kosten voor bediening en onderhoud
 - 8.6. Uitgangspunten voor IRR-berekening
 - 8.7. Economisch resultaat WKK potentieel (IRR, SPOT)
 - 8.8. Spark spread analyse
 - 8.9. Effect van ETS3
9. Vergelijking elektriciteitsproductiekosten van WKK met conventioneel kolen- en gasvermogen
 - 9.1. Introductie
 - 9.2. Productiekosten van elektriciteit uit WKK
 - 9.3. Vergelijking met kosten voor CSS
 - 9.4. De kosten van brandstofbesparing en reductie van CO₂-emissie bij WKK
10. Effecten van WKK-support , vergelijking met maatregelen in Duitsland, UK en Vlaanderen
 - 10.1. Introductie
 - 10.2. WKK-regeling in Duitsland
 - 10.3. WKK-regeling in Vlaanderen
 - 10.4. WKK-regeling in de UK
 - 10.5. Invloed van de verschillende regelingen op de rentabiliteit van WKK
11. Welke nationale beleidsmaatregelen zijn nodig?
12. Conclusies en aanbevelingen
13. Referenties

1. Inleiding

Bij het streven naar verdere verbetering van energie-efficiency in de industrie speelt de technologie van WarmteKracht-Koppeling (WKK) een belangrijke rol. Het WKK-principe wordt in de Nederlandse industrie reeds op grote schaal toegepast, maar voor de toekomstige energie-besparing wordt nog een belangrijke bijdrage van nieuwe WKK verwacht (1, zie Referenties). In het kader van het MEE convenant heeft de Vereniging Nederlandse Petroleum Industrie (VNPI) het initiatief genomen om onderzoek te doen naar het potentieel aan WKK dat tussen nu en 2020 nog beschikbaar is bij de Nederlandse raffinaderijen en de daarmee te realiseren brandstofbesparing en CO₂-emissie reductie. Ook is onderzocht hoe dit potentieel gerealiseerd kan worden en welke eventuele barrières daarbij overwonnen moeten worden. In dit rapport worden de resultaten van het onderzoek gepresenteerd. Dit onderzoek is ondersteund door Agentschap NL (voorheen SenterNovem).

2. Doel van het onderzoek

Het onderzoek heeft tot doel:

- 1) Inzicht te krijgen in het technisch WKK-potentieel dat tot 2020 nog beschikbaar is binnen de Nederlandse raffinagesector. Bij het technisch potentieel gaat het zowel om nieuwe WKK-installaties als renovatie van bestaande.
- 2) Een inschatting te maken van de energiebesparing en CO₂-emissiereductie die daarmee te realiseren zijn.
- 3) Inzicht te krijgen in de economische rentabiliteit van het WKK-potentieel.
- 4) Een vergelijking te maken met andere technieken om CO₂-emissie bij energieopwekking te reduceren aan de hand van de productiekosten van elektriciteit. Het gaat hier met name om een vergelijking van de kosten van WKK met die van conventionele kolen- en gascentrales met en zonder CO₂-afvang en opslag.
- 5) Noodzakelijke beleidsmaatregelen aan te geven om zoveel mogelijk van het beschikbare technisch WKK-potentieel te realiseren.
- 6) Tenslotte worden in het onderzoek de essenties van het WKK-beleid in een aantal relevante EU landen, te weten Duitsland, België (Vlaanderen) en de UK, weer gegeven.

3. Aanpak van het onderzoek

Voor de bepaling van het technisch WKK potentieel is vooral de warmtevraag die op de raffinaderijen nu nog door ondervuring in fornuizen en ketels opgewekt wordt van belang. Het volume aan elektriciteit dat met WKK gegenereerd kan worden is voor het technisch potentieel geen limiterende factor, omdat dit volume altijd op de elektriciteitsmarkt afgezet kan worden (het speelt natuurlijk wel een belangrijke rol in de economische rentabiliteit van WKK).

Als eerste stap is op ieder van de vijf raffinaderijen een onderzoek gedaan naar het mogelijk technisch WKK-potentieel op basis van de inventarisatie van de huidige en toekomstige warmtevraag en de verdere mogelijkheden van warmteterugwinning uit proceswarmte. Dat heeft geresulteerd in een deelrapport voor iedere raffinaderij betreffende het daar nog aanwezige WKK-potentieel. Op grond van deze resultaten is als tweede stap het sectorrapport van het WKK-potentieel gemaakt.

4. Het WKK-concept en referenties voor bepaling van brandstof- en CO₂-emissie-besparing

Warmtekrachtkoppeling is het gecombineerd en gelijktijdig opwekken van arbeid (meestal in de vorm van elektriciteit) en warmte (bijvoorbeeld stoom of proceswarmte) in één installatie. Vergeleken met gescheiden opwekking, zoals elektriciteitsopwekking in een centrale en stoom

generatie in een ketel, kan WKK substantieel besparen op de vereiste hoeveelheid brandstof. Deze gecombineerde opwekking van elektriciteit en warmte moet dan resulteren in een lagere energierekening en een verbetering van de totale energie-efficiency voor de raffinaderijen. Daarnaast draagt WKK bij aan de globale reductie van CO₂-emissies, ondanks dat lokaal de CO₂-uitstoot juist stijgt.

Brandstofbesparing en CO₂ emissie reductie door WKK worden dus berekend ten opzichte van referentierendementen voor separate opwekking van kracht en warmte. Er zijn verschillende referentiemethodes in gebruik voor de evaluatie van WKK:

1) De EU Richtlijn ter bevordering van WKK (2) en de daaraan verbonden Commission Decision (3). Deze definiëren brandstofspectifieke referentierendementen voor opwekking van elektriciteit en warmte. Voor nieuwe aardgasgestookte WKK-installaties zijn deze waarden: 52.5 % voor elektriciteit en 90 % voor warmte. De richtlijn definieert het begrip 'hoog rendement' WKK. Om te kwalificeren als 'hoog rendement' WKK moet een nieuwe WKK-installatie tenminste 10 % brandstof besparen ten opzichte van deze referenties. Om in aanmerking te mogen komen voor eventuele nationale support moet een WKK-installatie aan dit criterium voldoen.

2) Het MEE covenant definieert regels voor de berekening van energiebesparing door WKK. Deze staan beschreven in: 'Format opstellen Energie-efficiency plan (EEP)', en 'Toelichting 18: WKK-regels bij 2e ronde Benchmarking'. Deze referenties zijn weer anders dan van de EU richtlijn.

3) WKK is één van de technologieën die in aanmerking komen voor Energie Investerings Aftrek (EIA). Het netto effect van deze vermindering van belasting is een ca. 10 % lagere netto investering. Om in aanmerking te komen voor de EIA moet een WKK-installatie aan een rendementscriterium voldoen dat gedefinieerd is als $(Kracht + 2/3 Warmte)/Brandstof$. Dit EIA-rendement moet tenminste 70 % zijn.

In dit rapport worden de besparingen van het WKK-potentieel met alle drie de methodes gepresenteerd.

5. Huidige WKK in de raffinage sector

Onder de huidige WKK in de raffinage sector worden alle WKK-installaties verstaan die in 2009 in eigen beheer in bedrijf waren. De WKK-installaties die in JV of door derden geëxploiteerd worden zijn daar niet in opgenomen. In die situaties wordt de WKK-warmte die aan de raffinaderij geleverd wordt beschouwd als geïmporteerde warmte.

Voor het extra potentieel aan WKK is dit onderscheid in eigendom of exploitatie niet gemaakt, maar is alle nieuwe WKK aan de sector toegerekend.

De kerngegevens van de WKK die in 2009 bij de raffinage sector in bedrijf was zijn weergegeven in tabel 1.

Vermogen	MWe	255
E-productie	GWh/j	2078
	TJ/j	7479
W-productie	TJ/j	15870
Brandstof	TJ/j	26516
Rendement	%	88
CO₂ emissie	kt/j	1488

Het totaal opgesteld elektrisch vermogen bedraagt 255 MWe. De CO₂-emissie is berekend op basis van de standaard aardgasfactor van 56.1 kg CO₂ per GJ brandstof. De sector importeert nog ca. 960 GWh elektriciteit per jaar.

Deze getallen wijken nogal af van de cijfers in de CBS statistieken. De meest recente CBS-gegevens over WKK in de raffinage sector dateren van 2008 en zijn weergegeven in tabel 2.

Vermogen	MWe	428
E-productie	GWh/j	2489
	TJ/j	8961
W-productie	TJ/j	25687
Brandstof	TJ/j	44487
Rendement	%	78
CO₂ emissie	kt/j	2496

bron: CBS Statline; *Elektriciteit; productie en productiemiddelen*

De verschillen zijn voor een deel verklaarbaar uit de veranderingen in energievoorziening die vanaf 2008 in de sector hebben plaats gevonden. In deze rapportage worden verder de getallen uit het eigen onderzoek gebruikt, zoals weergegeven in tabel 1.

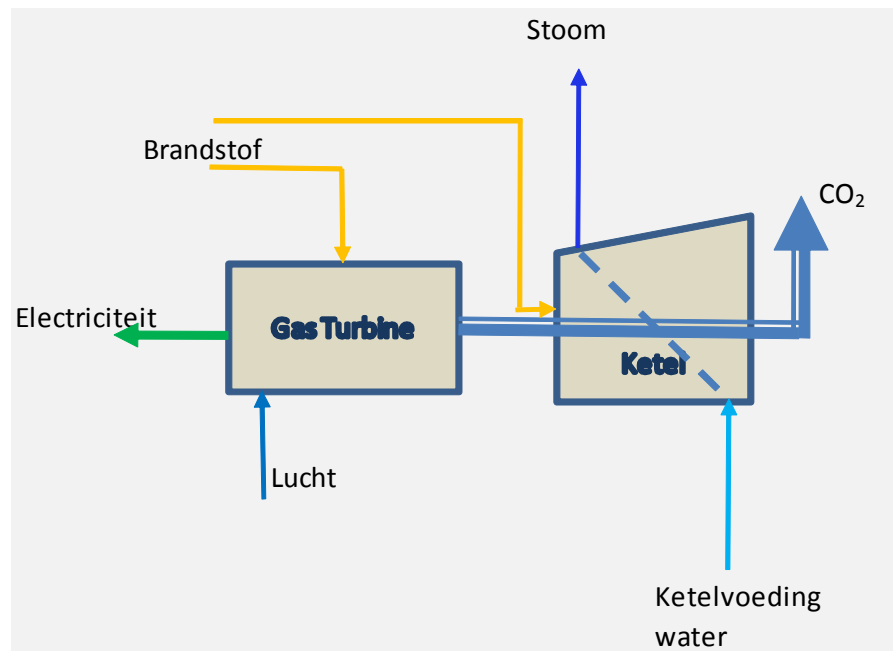
6. Technisch WKK potentieel

6.1. Uitgangspunten

Voor het potentieel aan extra WKK is vooral de ontwikkeling van de warmtevraag bij de raffinaderijen van belang. Daarbij worden twee categorieën warmte onderscheiden: 1) warmte in de vorm van stoom en 2) proceswarmte. Voor het WKK-potentieel is dan van belang hoeveel van deze warmte nog door directe ondervuring in fornuizen en stoomketels gemaakt wordt. Ook is van belang welke ontwikkeling in verdere warmteterugwinning in procesinstallaties nog mogelijk zijn. Ook hier is een vorm van Trias Energetica als uitgangspunt gehanteerd: stap 1: mogelijkheden om de energievraag te verminderen benutten, stap 2: opties om energie terug te winnen uit procesinstallaties benutten, stap 3: de nog resterende energievraag zo efficiënt mogelijk opwekken (in dit geval zoveel mogelijk met WKK).

6.2. Welke WKK-concepten?

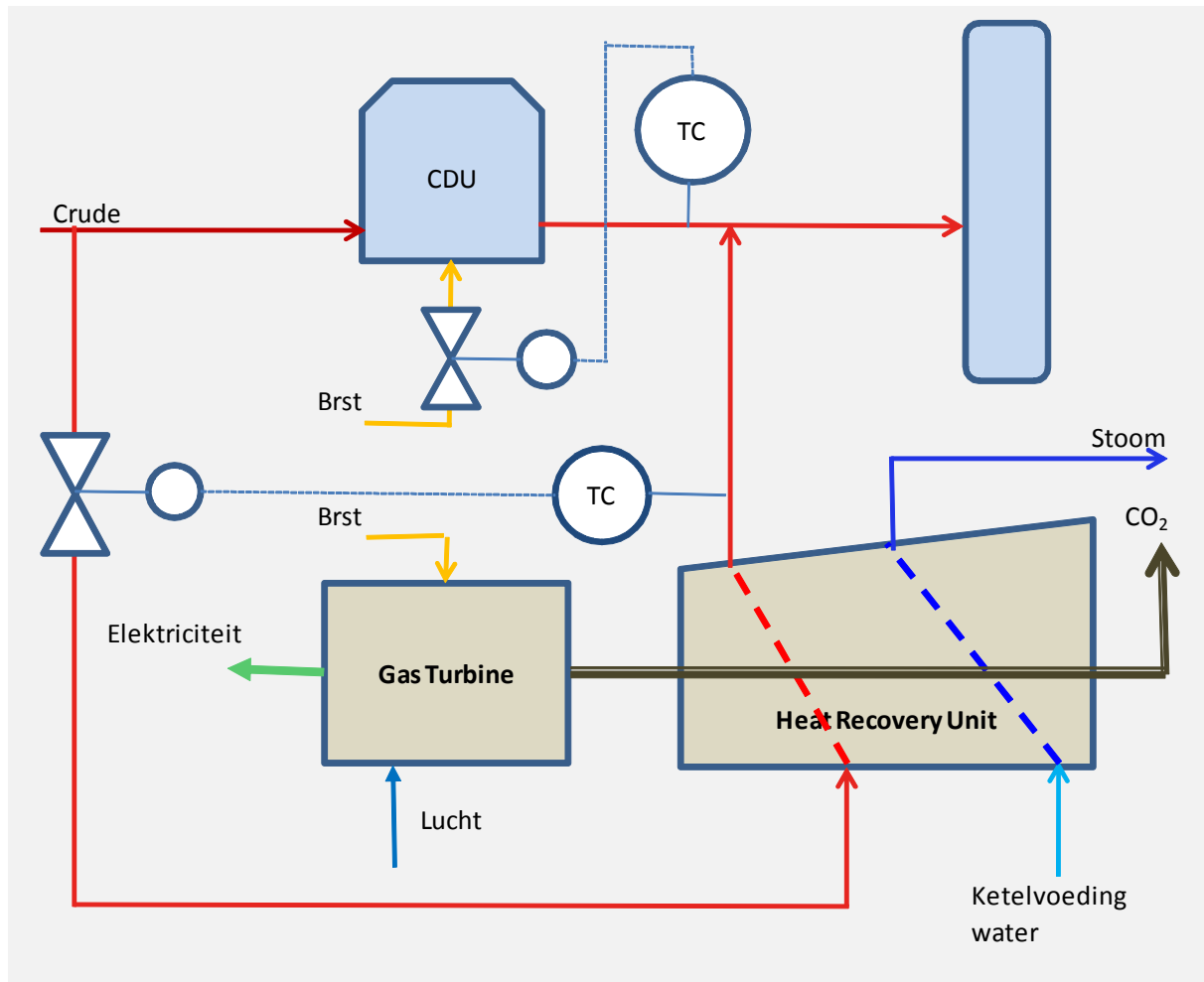
WKK kent vele technische concepten. Voor stoomproductie is het meest geëigende concept voor de raffinaderijen een gasturbine/afgasketel combinatie zoals aangegeven in figuur 1. In de afgasketel wordt in de meeste gevallen hoge druk stoom gemaakt die direct gebruikt kan worden in de bestaande stoomnetten. Op die manier sluit dit concept het beste aan bij de huidige systemen van stoomproductie en distributie.



Figuur 1: WKK concept voor stoomproductie

Bij de proceswarmte is niet alle warmte per definitie geschikt voor WKK-toepassing. Hier speelt ook het temperatuurniveau van de warmte een rol. Proceswarmte op een temperatuur niveau boven 400 C leent zich minder goed voor WKK toepassing. De warmte wordt in de WKK-installatie grotendeels via convectie van de rookgassen overgedragen aan de processtroom. Bij hoge procestemperaturen is er onvoldoende Δt voor een efficiënte en economisch haalbare WKK-installatie. Ook zijn alleen vloeistofprocesstromen geselecteerd, omdat gasvormige processtromen minder geschikt zijn voor WKK toepassing.

Het WKK-concept voor procesgeïntegreerde WKK is weergegeven in figuur 2. In dit voorbeeld wordt een deel van de opwarming van de (voorverwarmde) ruwe olie voor de atmosferische destillatie in een heat recovery unit van een WKK-installatie gedaan, die parallel geschakeld is aan het bestaande fornuis.



Figuur 2: Voorbeeld procesgeïntegreerde WKK

Behalve de opwarming van ruwe olie wordt ook stoom geproduceerd. Bij de procesgeïntegreerde WKK-installaties is er in alle gevallen nog voldoende restwarmte beschikbaar in de HRU om ook stoom te genereren. Deze additionele stoomproductie blijkt in alle gevallen een noodzakelijke toevoeging om het economisch en energetisch resultaat van dit type WKK te verbeteren. Zonder deze additionele stoomproductie zou dit type WKK economisch en energetisch onvoldoende presteren.

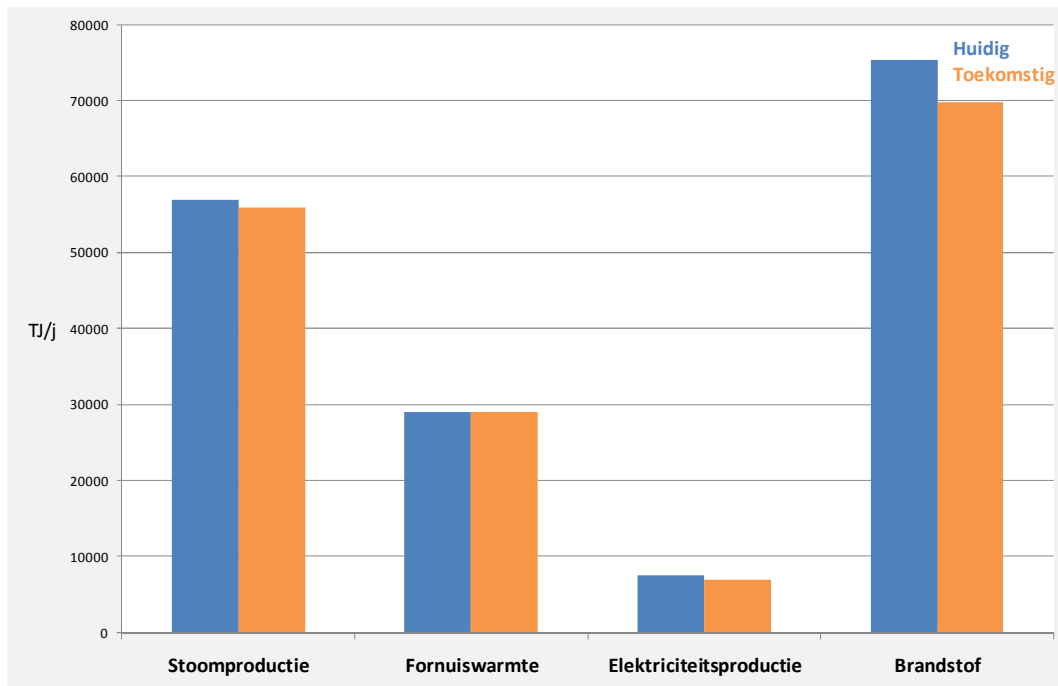
In veel gevallen heeft de procesgeïntegreerde WKK nog bijkomende voordelen. Zo wordt de warmte in de HRU voornamelijk overgedragen door convectie in plaats van door straling, zoals in een fornuis. Dat is een veel mildere vorm van warmteoverdracht waardoor er minder coking optreedt. Dat geldt ook voor het fornuis zelf, omdat dit nu op een lagere belasting werkt. In een aantal gevallen, waarbij de fornuiscapaciteit door geleidelijke upscaling te krap is geworden, realiseert deze WKK ook een vorm van debottlenecking.

6.3. Toekomstige warmtevraag als basis voor het WKK-potentieel

De ontwikkeling van de warmtevraag van zowel proceswarmte als stoom in de raffinage sector is tamelijk onzeker. Enerzijds zijn er projecten in voorbereiding die kunnen resulteren in een groter aandeel stoomproductie uit warmteterugwinning, anderzijds kunnen er ook keuzes gemaakt worden in procesuitbreidingen die de stoomvraag vergroten en daarmee het aandeel stoom uit ondervuring

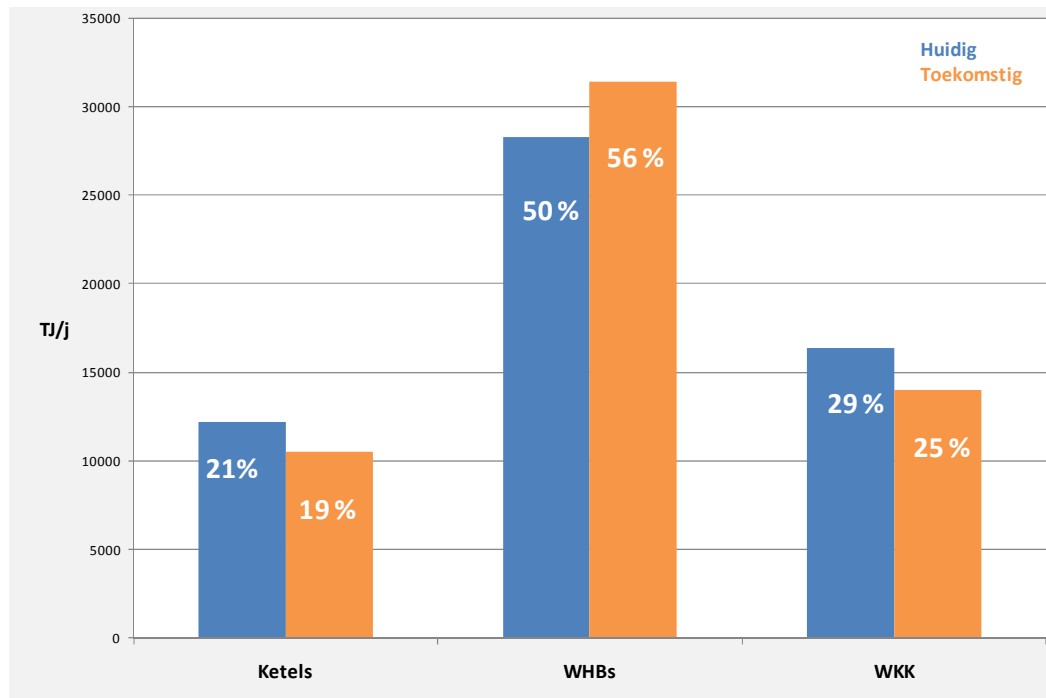
weer doen toenemen. Daarnaast zijn er op de raffinaderijen nog mogelijkheden om het stoomgebruik te verminderen door efficiency maatregelen.

Voor dit onderzoek is er vanuit gegaan dat de totale stoomproductie in de sector licht zal afnemen en de hoeveelheid proceswarmte die in principe geschikt is om in WKK op te wekken gelijk blijft. In figuur 3 is aangegeven wat dat concreet betekent in TJ/j energie. Daarin zijn de huidige en toekomstige waarden aangegeven voor: de stoomproductie, de proceswarmte opgewekt in de fornuizen die in principe in aanmerking komt voor WKK-toepassing, de hoeveelheid elektriciteit die met de huidige WKK geproduceerd wordt en de brandstofinzet voor deze hoeveelheden warmte en elektriciteit.



Figuur 3: Inzet primaire en secundaire energie

Behalve het licht dalend stoomverbruik is ook aangenomen dat de huidige WKK minder zal produceren. Dat wordt toegelicht in figuur 4, waarin de stoomproductie opgesplitst is in stoomproductie met ketels, uit warmteterugwinning ("WHBs") en met de huidige WKK.



Figuur 4: Verdeling stoomproductie

Daaruit is te zien dat op dit moment ongeveer de helft van het stoomverbruik geproduceerd wordt met warmteterugwinning in procesinstallaties en dat, naar verwachting, dit aandeel zal stijgen tot 56 %. De stoomproductie uit ketels loopt terug tot ca 19 % van het verbruik en ook het aandeel van de huidige WKK loopt iets terug naar 25 %. De totale toekomstige stoomproductie bedraagt ca. 56000 TJ/j.

De toekomstige energiewaarden die als basis genomen zijn voor bepaling van het potentieel aan extra WKK zijn weer gegeven in tabel 3.

Tabel 3: Referentie voor WKK-potentieel		
Elektrisch vermogen huidige WKK	MWe	235
Elektriciteitsproductie huidige WKK	GWh/j	1915
	TJ/j	6885
Stoomproductie huidige WKK	TJ/j	14025
Stoomproductie ketels	TJ/j	10490
Totaal stoomproductie (excl. WHBs)	TJ/j	24515
Proceswarmte fornuizen	TJ/j	28970
Totaal brandstof (ketels + WKK)	TJ/j	69777
Totaal CO₂-emissie	kt/j	3915
Import van elektriciteit	GWh/j	960
Export van elektriciteit	GWh/j	265

6.4. Technisch WKK-potentieel

Uit het onderzoek op de raffinaderijen is gebleken dat er nog een substantieel WKK-potentieel aanwezig is. Het nog beschikbare technisch potentieel aan WKK is weergegeven in tabel 4.

Tabel 4: Technisch potentieel aan extra WKK		
Vermogen	MWe	280
Elektriciteitsproductie	GWh/j	2340
	TJ/j	8420
Warmteproductie	TJ/j	12100
Brandstof	TJ/j	24955
Totaal rendement	%	82
CO₂-emissie	kt/j	1400
Import van elektriciteit	GWh/j	45
Export van elektriciteit	GWh/j	1490

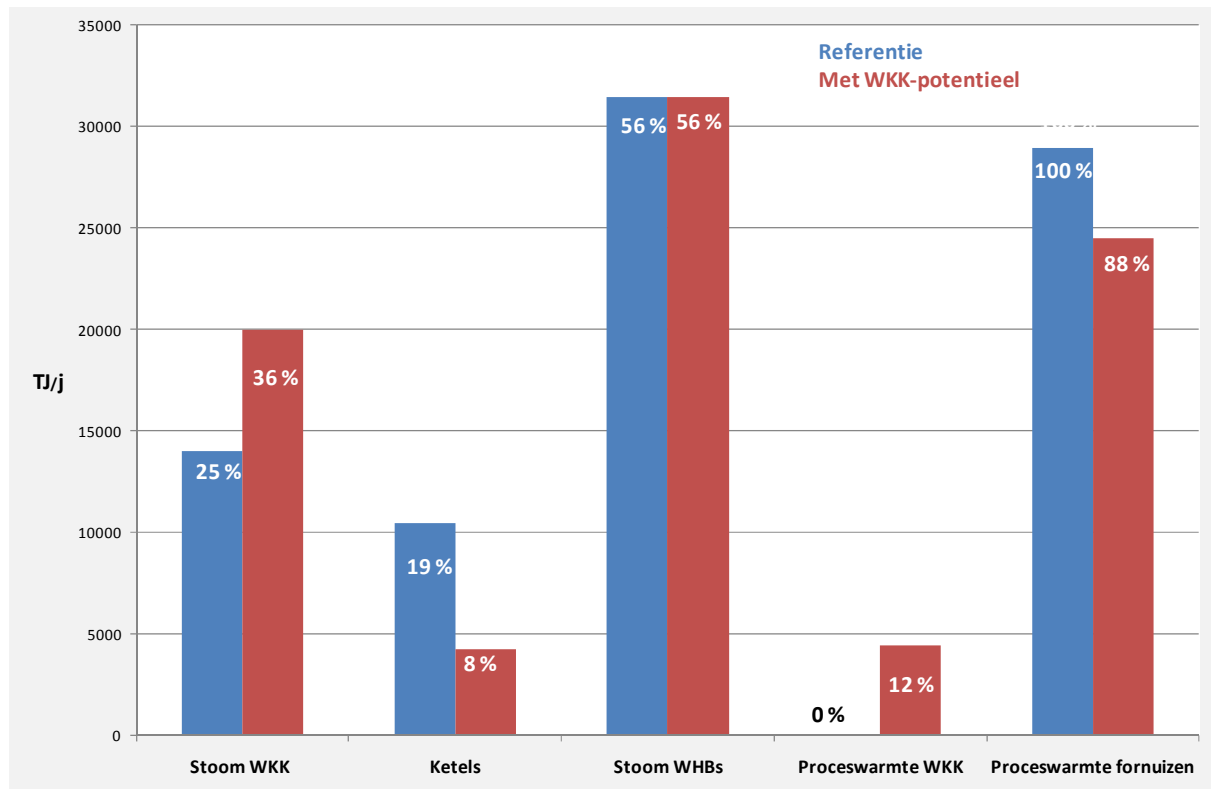
Daaruit is te zien dat het WKK-vermogen nog ongeveer kan verdubbelen ten opzichte van het huidige opgesteld vermogen. De limiterende factor is de stoomvraag op de raffinaderijen en de ruimte die er nog is om het aandeel van de ketels in de stoomproductie te verkleinen (zie figuur 4).

De elektriciteitsproductie van de extra WKK bedraagt 2340 GWh per jaar; 64 % hiervan wordt geëxporteerd. Gezien de bedrijfsvoering van de WKK-installaties zal dit vooral basislast elektriciteitsproductie zijn. Dat geldt met name voor de WKK-installaties die proceswarmte genereren. In het hoofdstuk over rentabiliteit van WKK zal verder ingegaan worden op dit aspect.

In het WKK-potentieel zit ook een deel vervanging van de bestaande WKK. De totale energie-opwekking (bestaande en nieuwe WKK) is weergegeven in tabel 5 samen met de referentie-waarden uit tabel 3.

Tabel 5: Energie-opwekking met extra WKK-potentieel			
		Totaal incl. extra WKK	Referentie
WKK vermogen (bestaand + nieuw)	MWe	500	235
Elektriciteitsproductie WKK	GWh/j	4100	1910
	TJ/j	14750	6890
Stoomproductie huidige WKK	TJ/j	12360	14025
Stoomproductie nieuwe WKK	TJ/j	7650	
Stoomproductie ketels	TJ/j	4250	10490
Totaal stoomproductie (excl. WHBs)	TJ/j	24260	24515
Proceswarmte met WKK	TJ/j	4450	
Proceswarmte met fornuizen	TJ/j	24520	28970
Totaal proceswarmte	TJ/j	28970	28970
Totaal brandstof	TJ/j	80020	69775
Totaal CO₂-emissie	kt/j	4490	3915
Import van elektriciteit	GWh/j	45	960
Export van elektriciteit	GWh/j	1490	265

De verdeling van stoom- en proceswarmte-opwekking over de verschillende productiemiddelen in de referentiesituatie en met het extra WKK-potentieel is weergegeven in figuur 5.



Figuur 5: Verdeling stoom- en proceswarmte-opwekking

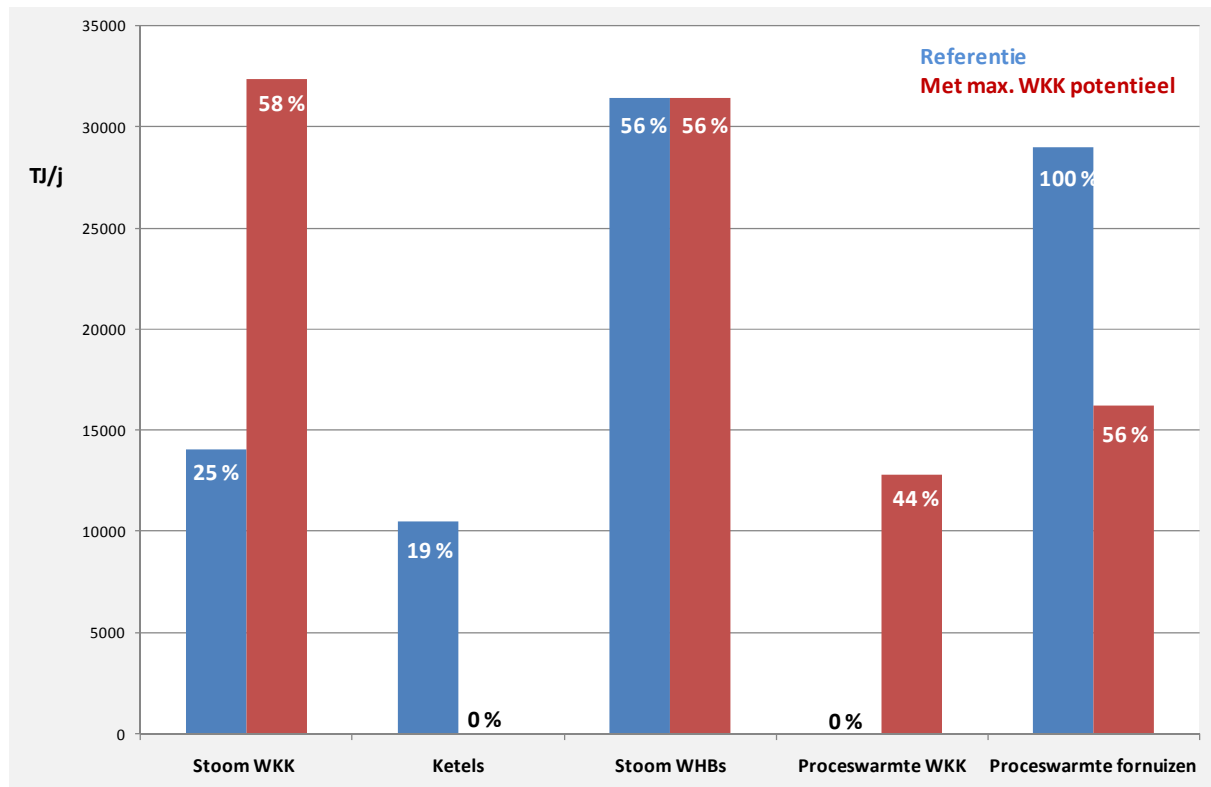
Het aandeel proceswarmte uit WKK bedraagt 12 % van de totale proceswarmte die, energetisch gezien, met WKK zou kunnen worden opgewekt. De belangrijkste limitering is de maximale hoeveelheid stoom die met deze WKK-installaties kan worden geproduceerd. Eerder is aangegeven dat dit een noodzakelijke voorwaarde is voor een efficiënte WKK-installatie.

6.5. Technisch WKK potentieel indien warmte geëxporteerd zou kunnen worden

In het onderzoek is ook een schatting gemaakt van het beschikbare WKK-potentieel indien warmte zou kunnen worden geëxporteerd en de stoomvraag op de raffinaderijen dus geen limiterende factor meer zou zijn. Daarbij is als uitgangspunt gekozen, dat de helft van de totale proceswarmte die in principe in aanmerking zou kunnen komen voor WKK-toepassing ook in WKK wordt opgewekt. De resultaten zijn in tabel 6 weergegeven.

Tabel 6: Technisch potentieel aan extra WKK bij export van warmte			
		Extra WKK	Totaal WKK
WKK vermogen	MWe	755	970
Elektriciteitsproductie	GWh/j	6195	7955
	TJ/j	22300	28630
Warmteproductie	TJ/j	32765	61320
Brandstof	TJ/j	67155	108155
Totaal rendement	%	82 %	83 %
CO₂-emissie	kt/j	3770	6065
Import van elektriciteit	GWh/j		0
Export van elektriciteit	GWh/j		5305
Export van warmte	TJ/j		8090

Figuur 6 geeft de verdeling van de warmteproductie over de verschillende productie-eenheden.



Figuur 6: Verdeling stoom- en proceswarmte-opwekking bij maximum WKK-potentieel

In deze situatie wordt 8 PJ/j aan warmte geëxporteerd. Dat komt overeen met 25 % extra stoomproductie (t.o.v. de totale stoomproductie in de referentie situatie). Het aandeel proceswarmte met WKK bedraagt 44 %.

7. Brandstofbesparing en reductie van CO₂-emissie met het WKK-potentieel

7.1. Besparing volgens de EU WKK-richtlijn

De EU WKK-richtlijn en de daarmee verbonden Commission Decision definiëren brandstofspectifieke referentierendementen ten opzichte waarvan tenminste 10 % besparing moet worden gerealiseerd om aangemerkt te worden als 'hoog rendement' WKK. Voor nieuwe aardgasgestookte WKK-installaties zijn de referenties: 52,5 % voor elektriciteit, 90 % voor stoom en 82 % voor directe warmtebenutting. Voor WKK-installaties die raffinaderijgas verstoken gelden lagere waarden, nml. 44,2 % voor elektriciteit, 89 % voor stoom en 81 % voor directe warmte. Op deze referentierendementen wordt nog een correctie toegepast voor afwijkende buitenluchttemperatuur t.o.v. 15 C en voor vermeden netverliezen. In dit onderzoek zijn de ongecorrigeerde referenties voor aardgas gebruikt.

Daarnaast geldt de eis dat de elektriciteit alleen als WKK-elektriciteit aangemerkt mag worden als het totaal rendement van de WKK-installatie, gedefinieerd als $(E + W)/Brst$, tenminste 80 % is. Is dat niet het geval dan wordt een deel van de elektriciteitsproductie beschouwd als conventioneel opgewekte elektriciteit. De gemiddelde resultaten van het totale WKK-potentieel, zoals beschreven in par. 6.4, zijn weergegeven in tabel 7.

Tabel 7: Brandstofbesparing volgens EU WKK richtlijn		
E-productie	TJ/j	8420
W-productie	TJ/j	12100
Brandstof	TJ/j	24955
Totaal rendement extra WKK	%	82
Referentie brandstof	TJ/j	29485
Besparing	TJ/j	4530
	%	15

De extra WKK in de raffinagesector voldoet dus aan de criteria om zich te kwalificeren als 'hoog rendement' WKK. Zowel het totaal rendement als de procentuele brandstofbesparing liggen boven de drempelwaarden van de richtlijn. Ook de individuele WKK-opties op de raffinaderijen voldoen aan deze criteria.

7.2. Besparing volgens de regels uit het MEE convenant

De regels voor de berekening van de brandstofbesparing en reductie van CO₂-emissie zijn gespecificeerd in de volgende documenten: 'Format opstellen Energie-efficiëncy plan (EEP)' en 'Toelichting 18: WKK-regels bij 2e ronde Benchmarking'. Het EEP Format specificeert brandstoffactoren voor de omrekening van elektriciteit en warmte naar primaire energie. Deze waarden zijn resp. 2.38 GJbrst/GJE voor elektriciteit (≡ 42 % rendement) en 1.11 GJbrst/GJW voor warmte (≡ 90 % rendement). De CO₂-emissie factor voor elektriciteit is 0,626 t/MWh. Het 2e document (WKK regels) geeft de rekenregels voor WKK-warmte en -elektriciteit. Deze WKK-regels wijken op enkele punten af van het EEP Format. De belangrijkste afwijking is het gebruik van een apart elektrisch rendement voor export van elektriciteit, nml 50 %.

Voor de berekening van de besparing in het kader van het MEE convenant zijn de volgende referenties gebruikt:

- Elektriciteit import: 2,38 GJ/GJE (≡ 42 % rendement);
- Elektriciteit export: 2 GJ/GJE (≡ 50 % rendement, conform de WKK-regels)
- Warmte: 1,11 GJ/GJW (≡ 90 % rendement);
- CO₂ elektriciteitsopwekking: 0,626 t/MWh;
- CO₂ warmteproductie: 0,062 t/GJW.

De brandstofbesparing en vermeden CO₂-emissie op basis van de MEE rekenregels zijn weer gegeven in de tabellen 8 en 9.

Tabel 8: Brandstofbesparing met WKK-potentieel obv MEE regels			
		Referentie	WKK
Brandstof bestaande WKK	TJ/j	24285	21605
Brandstof nieuwe WKK	TJ/j		24955
Brandstof ketels	TJ/j	11800	4780
Brandstof fornuizen	TJ/j	33700	28680
Totaal brandstof	TJ/j	69775	80020
Elektriciteit import	GWh/j	958	45
Brst equivalenten E import	TJ/j	+ 8210	+ 375
Sub totaal Brst. equivalenten	TJ/j	77985	80395
Elektriciteit export	GWh/j	265	1490
Brst equivalenten E export	TJ/j	- 1890	- 10735
Totaal Brst equivalenten	TJ/j	76095	69660
Besparing met extra WKK	TJ/j		6435
	%		8 %

Tabel 9: CO ₂ -emissie reductie met WKK-potentieel obv MEE regels			
		Referentie	WKK
CO ₂ bestaande WKK	kt/j	1302	1210
CO ₂ ketels/fornuizen	kt/j	2550	1875
CO ₂ nieuwe WKK	kt/j		1400
CO ₂ import elektriciteit	kt/j	+ 600	+ 25
CO ₂ export elektriciteit	kt/j	- 165	- 935
Totaal CO ₂ equivalenten	kt/j	4350	3585
CO ₂ reductie met extra WKK	kt/j		765
	%		18 %

Met het WKK-potentieel kan ca 6.5 PJ/j aan brandstof bespaard worden. De CO₂-emissie reductie bedraagt ca. 0.8 mln ton per jaar.

Voor het maximum WKK-potentieel, waarbij ca 8 PJ warmte geëxporteerd wordt, zijn deze getallen resp. 15.5 PJ/j brandstofbesparing en 2.1 mln t CO₂ reductie per jaar.

7.3. EIA criterium

De EIA is een belastingvoordeel dat resulteert in ca 10 % lagere investeringskosten voor WKK. WKK-installaties tot een maximum vermogen van 150 MWe komen in principe in aanmerking voor EIA. WKK-installaties moeten daarvoor voldoen aan een rendementscriterium dat gedefinieerd is als: $(\text{Kracht} + 2/3 \text{ Warmte})/\text{Brandstof}$. Dit EIA-rendement moet tenminste 70 % zijn.

Het gerealiseerde EIA-rendement van het WKK-potentieel bedraagt 66 %. Ook de individuele WKK-opties bij de raffinaderijen voldoen geen van alle aan het EIA-criterium.

Dit rendementscriterium is in feite een onrealistisch hoge eis aan WKK-installaties die hoge temperatuur proceswarmte en/of processtoom moeten genereren.

Het maximaal haalbare rendement is sterk afhankelijk van het temperatuurniveau van de warmte. Wellicht dat voor WKK die lage temperatuur warmte moet maken, zoals bijvoorbeeld heet water, dit criterium nog enigszins haalbaar is, maar voor industriële WKK is dit vrijwel uitgesloten.

Toch voldoet het WKK-potentieel aan de criteria van de EU richtlijn en worden fikse besparingen gerealiseerd op basis van de regels van het MEE convenant. Daarom zou een aanpassing van het EIA-criterium, waarbij rekening gehouden wordt met het niveau van de gevraagde warmte, op z'n plaats zijn

8. De rentabiliteit van WKK in de raffinage sector

8.1. Introductie

De rentabiliteit van een WKK-installatie wordt vooral bepaald door de marktprijzen voor brandstof, elektriciteit en CO₂-emissierechten (EUAs) en de investeringen.

In dit onderzoek worden de volgende economische parameters gepresenteerd:

- Simple Pay Out Time (S.P.O.T.), gedefinieerd als: *investering/jaarlijkse bruto opbrengst*.
- Internal Rate of Return (IRR), gedefinieerd als het rentepercentage dat over een looptijd van 15 jaar gerealiseerd wordt waarbij de contante waarde van alle jaarlijkse kasstromen nul is. Soms gebruiken bedrijven de gewijzigde IRR (MIRR). Daarbij wordt onderscheid gemaakt in de financieringsrente (kosten van kapitaal) over de negatieve cashflows en de herinvesteringsrente (het ontvangen rentepercentage) over geheerinvesteerde cashflows. De MIRR geeft een meer "gedempt" resultaat dan de IRR. Bij een IRR die hoger is dan de herinvesteringsrente zal de MIRR meestal wat lager zijn, en omgekeerd.
- De Spark Spread op elektriciteitsproductie in de basislast en in de daluren. De Spark Spread is gedefinieerd als:

elektriciteitsopbrengst – brandstofkosten voor elektriciteit – CO₂ kosten voor elektriciteit.

'Brandstof voor elektriciteit' is het totale brandstofverbruik van de WKK-installatie minus de brandstof die nodig zou zijn om de warmtehoeveelheid van de WKK-installatie te produceren in een ketel of fornuis met een rendement van 90 %.

De CO₂-kosten voor elektriciteit zijn gekoppeld aan de brandstof voor elektriciteit. In dit onderzoek is verondersteld dat een WKK-installatie EUAs moet kopen voor dit deel van de total WKK-brandstof en dat CO₂ emissie-rechten voor warmteproductie gratis verstrekt worden op basis van een 90 % rendement warmtebenchmark.

De spark spread geeft inzicht in de economische inzetbaarheid van een WKK-installatie op basis van variabele kosten en opbrengsten.

8.2. Invloed van financiële support vanuit de SDE-regeling voor WKK

De overheid heeft in oktober vorig jaar een bepaalde vorm van exploitatie-ondersteuning gecreëerd voor nieuwe industriële WKK in het kader van de regeling Stimulering Duurzame Energie (SDE-regeling) (4). De WKK-regeling is een vangnetregeling, die de exploitatie van WKK-installaties subsidieert in periodes waarin de opbrengst uit elektriciteit te laag is. De looptijd van de regeling voor een individuele WKK-installatie is 12 jaar. De regeling is alleen van toepassing op één type WKK-installatie, nml een Stoom En Gasturbine (STEG) installatie van tenminste 150 MWe elektrisch vermogen, die stoom produceert. De regeling is opengesteld tot 2013, met het argument dat vanaf 2013 ETS3 in werking treedt en daarmee de CO₂-kosten geïnternaliseerd zijn. Door deze beperkingen is de WKK-regeling voor de raffinaderijen niet van belang, omdat dergelijke grote WKK-installaties qua stoomproductie niet passen en de periode dat de regeling opengesteld is veel te kort is. In het rentabiliteitsonderzoek is daarom geen rekening gehouden met deze WKK-regeling.

8.3. Vergelijking met het overheidsonderzoek naar de rentabiliteit van WKK

In het kader van het gevoerde WKK-beleid heeft de overheid regelmatig onderzoek laten doen naar de rentabiliteit van WKK op basis van prognoses van de marktprijzen voor energie. Dit onderzoek wordt uitgevoerd door ECN. Daarbij wordt de zgn Onrendabele Top (ORT) berekend van een aantal standaard WKK-concepten. De ORT is de extra inkomsten per MWh elektriciteit die nodig zijn om een IRR van 7 % op het eigen vermogen te realiseren. Daarbij wordt er in de berekening vanuit gegaan dat de investering in WKK voor 20 % met eigen vermogen gefinancierd wordt en voor 80 % met vreemd vermogen, waarbij het vreemd vermogen tegen 6 % rente geleend wordt.

In deze studie is niet de ORT-methode gevolgd, maar is onderzocht wat de intrinsieke rentabiliteit van de WKK-investering is, omdat dat het belangrijkste beslissingscriterium is voor de realisatie van een project. Aspecten zoals verschillen in eigendom of verschillende financieringsvormen zijn daar in eerste instantie meestal niet in betrokken.

8.4. Commodity prijzen voor energie en CO₂

De rentabiliteit van WKK in de raffinage sector is bepaald op basis van het scenario van energie- en CO₂-prijzen dat door ECN en het PBL gebruikt is voor de actualisering van de Referentieramingen voor energie en emissies tot 2020 (UR-GE Scenario) (5). Daarnaast is de rentabiliteit onderzocht op basis van jaargemiddelde forward prijzen voor energie en CO₂ voor de jaren 2009, -10, en -11. Deze prijsscenario's zijn eerder ook door ECN gebruikt voor een onderzoek naar de rentabiliteit van WKK in de chemische industrie (6).

Inmiddels zijn door ECN en PBL nieuwe Referentieramingen gepubliceerd, met een aangepast scenario voor energie- en CO₂-prijzen (7). Dit nieuwe prijsscenario is ook betrokken in het rentabiliteitsonderzoek. De gehanteerde energie- en CO₂-prijzen zijn weergegeven in tabel 10.

Tabel 10: Energie en CO ₂ -prijsscenario's			UR-GE Actualisatie	Nieuwe RR	FW 2009	FW 2010	FW 2011
Elektriciteit	Basislast	€/MWh	70,4	67	74,2	64,8	66,1
	Piekuren *)	€/MWh	80,2	78	98,1	86,5	89,4
	Daluren *)	€/MWh	62,2	57	53,9	46,3	46,3
Aardgas		€/m ³	0,22	0,21	0,30	0,25	0,27
		€/GJ	6,9	6,7	9,4	7,9	8,6
CO₂		€/EUA	35,3	22,4	24,2	18,2	19,0

*) Piekuren: gedurende werkdagen van 07 tot 23 uur, daluren: alle overige uren

8.5. Investerings en kosten voor bediening en onderhoud

Voor de specifieke investeringen (€/MW elektrisch vermogen) zijn de getallen gebruikt uit het reguliere onderzoek naar de rentabiliteit van WKK dat ECN uitvoert in opdracht van de overheid ten behoeve van de subsidie-afweging in het kader van de SDE-regeling. In de rentabiliteitsberekening is er vanuit gegaan dat met de investering in WKK geen andere noodzakelijke investeringen worden vermeden. Tevens is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op +/- 20 % verandering van de investeringskosten.

Voor bediening en onderhoud zijn alleen kosten meegenomen die betrekking hebben op de WKK-installatie. B & O-kosten zijn opgevoerd als €/MWh geproduceerde elektriciteit.

De gehanteerde specifieke investeringskosten bedragen 1055 € per kWe elektrisch vermogen. Voor bediening en onderhoud is gerekend met 8 € per MWh geproduceerde elektriciteit.

8.6. Uitgangspunten voor IRR-berekening

Voor de IRR-berekening worden de jaarlijkse kasstromen bepaald. De jaarlijkse bruto marge van WKK bestaat uit de opbrengst uit elektriciteit minus de gaskosten en CO₂-kosten voor elektriciteitsproductie en minus de kosten voor bediening en onderhoud. Figuur 7 geeft het schema van de berekening.

Jaarlijkse bruto marge:	
Opbrengst elektriciteit:	$E\text{-productie} \times E\text{-prijs BL}$
Af: Brandstofkosten elektriciteit:	$\text{Brandstof elektriciteit}^{1)} \times \text{gasprijs}$
Af: CO ₂ -kosten elektriciteit:	$\text{CO}_2 \text{ elektriciteit}^{2)} \times \text{CO}_2\text{-prijs}$
Af: Bediening & onderhoud:	$Y \text{ €/MWh} \times E\text{-productie}$
	<u>Bruto marge</u> –
1) Brandstof elektriciteit: Brst WKK - Referentie Brst Warmte Referentie Brst Warmte: Warmteproductie (GJ)/0,9	
2) CO ₂ elektriciteit: Brandstof elektriciteit (GJ) x CO ₂ -factor CO ₂ -factor (aardgas): 56,1 kg/GJ	

Figuur 7: Schema berekening jaarlijkse bruto marge

Hierbij is verondersteld dat de WKK-installaties basislast elektriciteit produceren. De geproduceerde warmte komt in de bruto marge niet voor, omdat de warmte voor “intern” gebruik is en het brandstofaandeel (tegen 90 % rendement) al in mindering gebracht is op de WKK-brandstof. Ook is aangenomen, zoals eerder vermeld, dat voor warmte-opwekking geen extra EUA's gekocht hoeven te worden.

De opbrengst uit elektriciteit bestaat uit de vermeden inkoop plus inkomsten uit eventuele export. Voor beide is gerekend met dezelfde basislast elektriciteitsprijs; vermeden import en export worden dus samen gevoegd en zijn gelijk aan de elektriciteitsproductie. De IRR is berekend over 15 jaar. De investering is verdeeld over de eerste twee jaren. De productie start in het 3^e jaar. De jaarlijkse kasstromen waarmee de IRR berekend wordt zijn weergegeven in figuur 8.

Jaar	Kasstroom
1	- 0,5 x Inv.
2	- 0,5 x Inv.
3	+ bruto marge
..	+ bruto marge
..	+ bruto marge
15	+ bruto marge

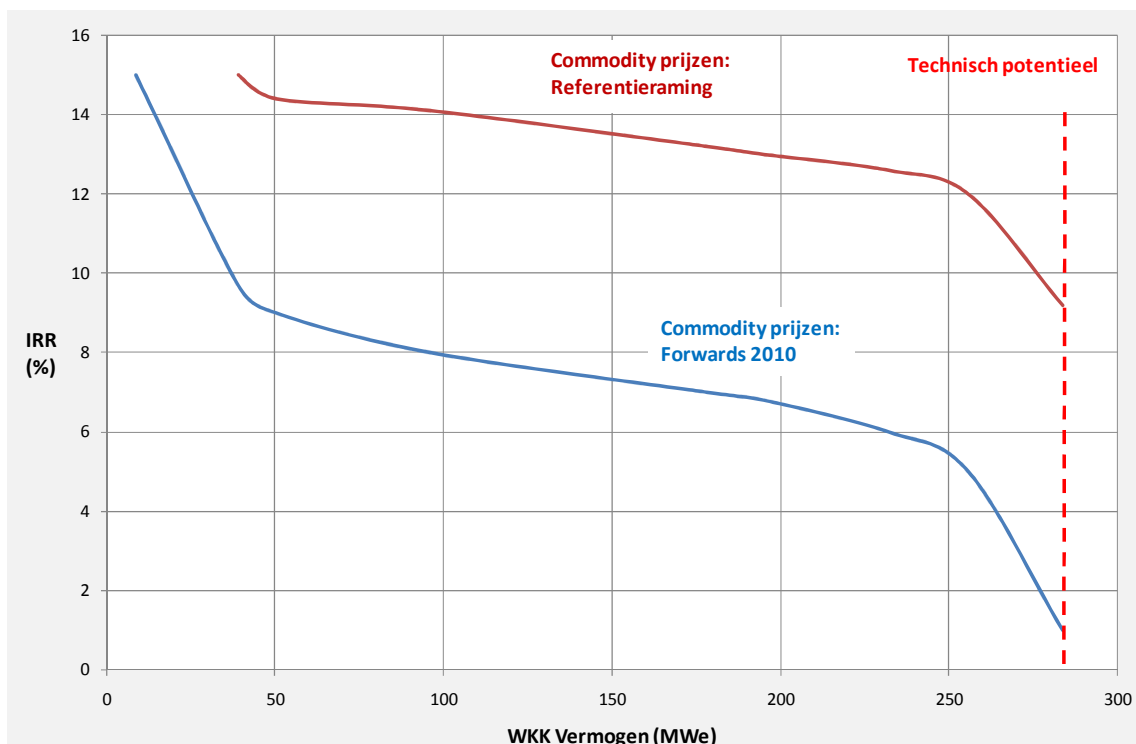
Figuur 8: Jaarlijkse kasstromen

8.7. Economisch resultaat WKK potentieel (IRR, SPOT)

De economische resultaten van het technisch WKK-potentieel zijn weergegeven in tabel 11. De tabel geeft per prijsscenario de SPOT en de IRR voor de WKK met de gemiddelde investering van 1055 €/kWe en voor de varianten waarbij de investeringen 20 % hoger en lager zijn.

Tabel 11: Economisch resultaat WKK					
Energie- & CO ₂ -prijs scenario			WKK Basis	WKK + 20 % investering	WKK – 20 % investering
ECN UR-GE	S.P.O.T	j	7,5	9,1	6,0
	IRR	%	8 %	5 %	12 %
ECN RR 2010	S.P.O.T.	j	7,1	8,5	5,7
	IRR	%	9 %	6 %	13 %
FW 2009	S.P.O.T.	j	11,5	13,8	9,2
	IRR	%	2 %	- 1 %	5 %
FW 2010	S.P.O.T.	j	12,5	15,0	10,0
	IRR	%	1 %	- 2 %	4 %
FW 2011	S.P.O.T.	j	16,9	20,3	13,5
	IRR	%	- 3 %	- 5 %	- 1 %

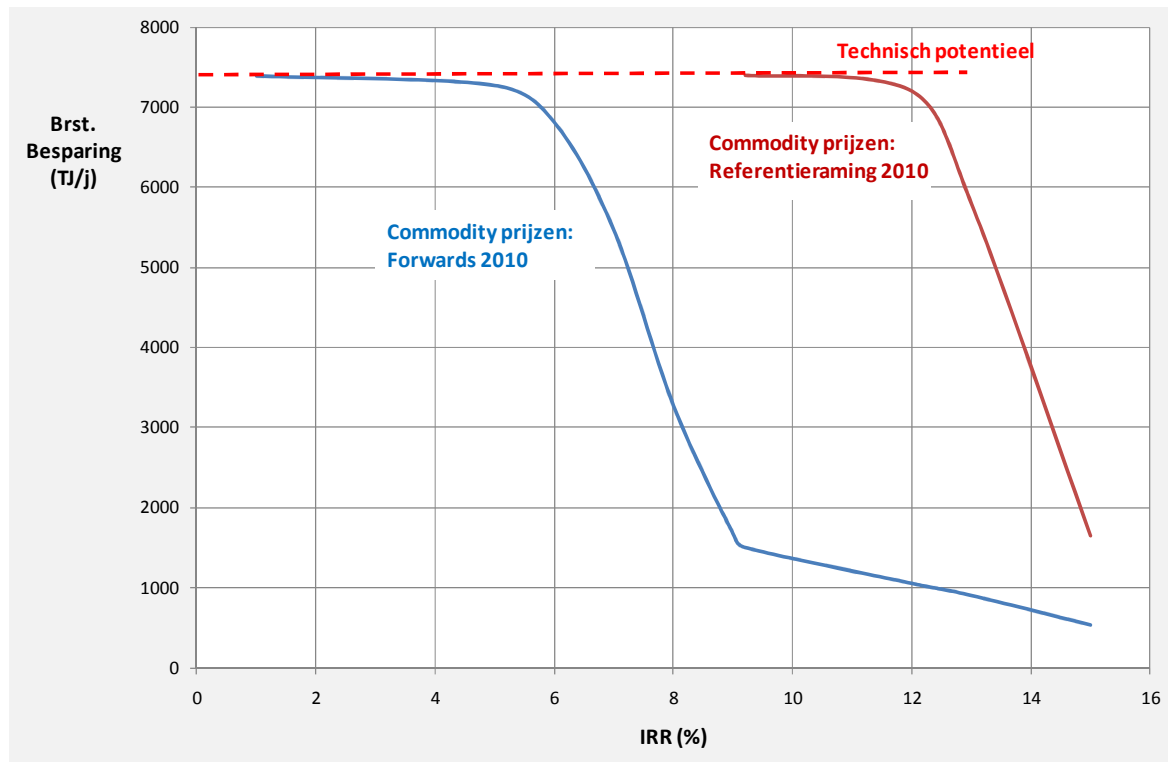
Voor het prijsscenario van de Referentieramingen is de gemiddelde terugverdientijd van het WKK-potentieel 7,1 jaar en de IRR 9 %. Figuur 9 geeft de relatie tussen IRR en economisch haalbaar WKK-vermogen, gebaseerd op het prijsscenario van de nieuwe Referentieramingen en voor de jaargemiddelde forwardprijzen voor 2010.



Figuur 9: Economisch potentieel in relatie tot IRR-criterium

Bij de commodity prijzen uit de Referentieramingen heeft het technisch potentieel een IRR van 9 %. Bij de forwardprijzen 2010 is dat 1 %. Voor 90 % van het technisch potentieel (ca 250 MWe) zijn deze getallen resp. 12 % en 5,5 %.

Figuur 10 geeft de relatie tussen IRR en brandstofbesparing voor de twee prijsscenario's.



Figuur 10: Besparings potentieel in relatie tot IRR-criterium

Ook hier zijn er grote verschillen tussen de prijsscenario's. Bij een IRR van 12 % wordt bij het prijsscenario uit de Referentieramingen vrijwel het volledige besparingspotentieel van 6.5 PJ/j gerealiseerd. Bij de forwards 2010 is dat ca 1 PJ/j.

Het realiseerbaar economisch WKK-potentieel is dus sterk afhankelijk van de gehanteerde commodity prijzen voor elektriciteit, brandstof en CO₂. Voor de ECN prijsscenario's (RR-2010 en UR-GE) liggen de resultaten beduidend hoger dan bij de gemiddelde forward-prijzen.

8.8. Spark spread analyse

De spark spread is een maat voor de variabele inkomsten uit de elektriciteitsproductie. Deze parameter geeft inzicht in de rendabele inzetbaarheid van WKK-installaties. Gezien het patroon van de warmteproductie met WKK (grotendeels constant gedurende 24 uur per dag, 7 dagen per week) is de elektriciteitsproductie typisch basislast vermogen. Inzet in de basislast is economisch gezien alleen zinvol als ook in de daluren, met lage elektriciteitsprijzen, de spark spread nog positief is, anders zijn de variabele kosten hoger dan de variabele opbrengsten uit elektriciteit.

In tabel 12 is de gemiddelde spark spread van het WKK-potentieel voor de basislast, de piekuren en de daluren weergegeven.

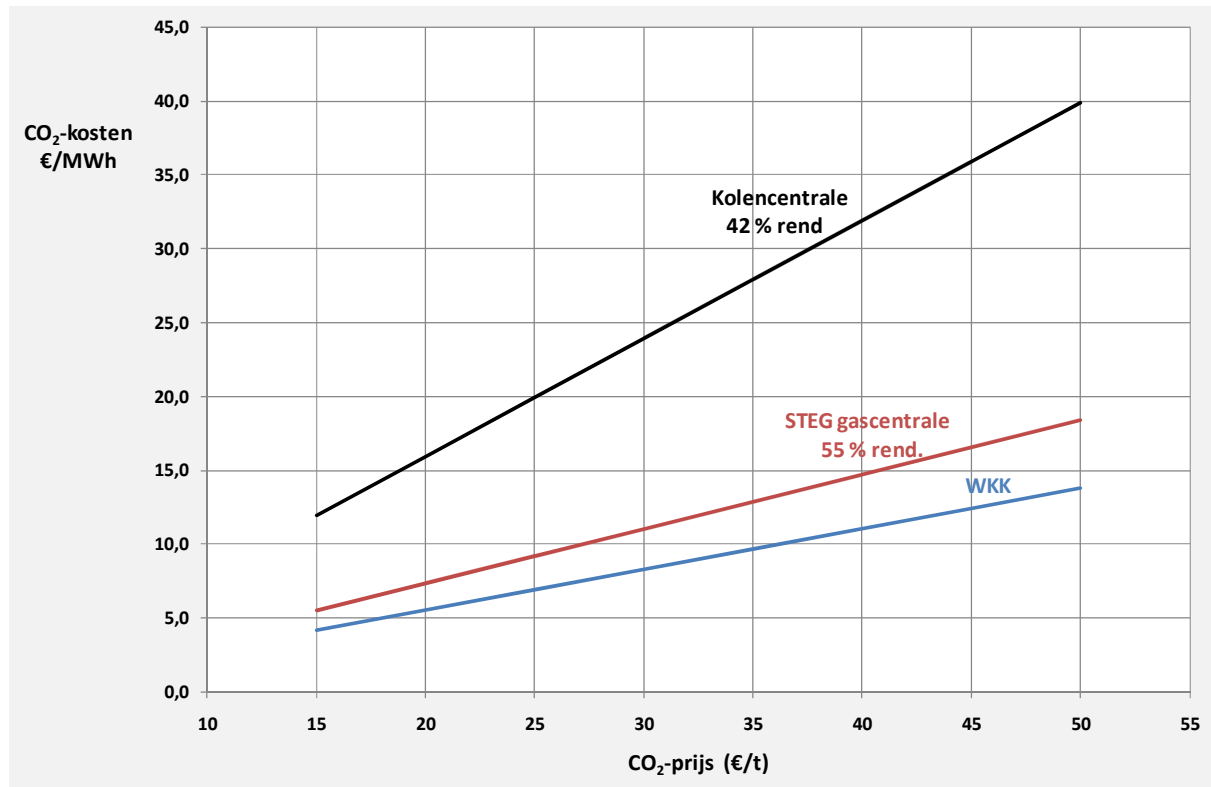
Tabel 12: Spark spread WKK					
Scenario:		E-opbrengst (€/MWh)	- Brst-kosten (€/MWh)	- CO ₂ -kosten (€/MWh)	= Spark spread (€/MWh)
UR-GE Actualisatie	B L	70	35	10	25
	Piek	80	35	10	35
	Dal	62	35	10	17
RR 2010	B L	67	35	6	26
	Piek	78	35	6	37
	Dal	57	35	6	16
FW-2009	B L	74	48	7	19
	Piek	98	48	7	43
	Dal	54	48	7	- 1
FW-2010	B L	65	41	5	19
	Piek	87	41	5	41
	Dal	46	41	5	0
FW-2011	B L	66	45	5	16
	Piek	89	45	5	40
	Dal	46	45	5	-4

Daaruit is te zien dat de spark spread sterk kan fluctueren afhankelijk van de energie- en CO₂-prijzen. Bij de jaargemiddelde forward-prijzen voor 2009 en 2011 zou de spark spread in de daluren negatief zijn. Onder die omstandigheden zouden de WKK-installaties beter stil gezet kunnen worden. Dat is echter veelal geen reële optie vanwege de vereiste betrouwbaarheid van warmtelevering. Het zou er dus op neer komen dat onder die omstandigheden in de daluren verlies wordt geleden.

8.9. Effect van ETS3

De veranderingen in het CO₂ emissiehandelssysteem vanaf 2013 leiden tot hogere productiekosten voor WKK, omdat tenminste de extra rechten voor de elektriciteitsproductie gekocht moeten worden. In dit onderzoek is verondersteld dat de CO₂-rechten voor de warmteproductie gratis verstrekt worden op basis van een 90 % rendement warmtebenchmark.

Industriële WKK-installaties moeten op de elektriciteitsmarkt vooral concurreren met de kolencentrales, omdat ze beide basislast elektriciteit produceren. Ten opzichte van conventionele kolen- en gascentrales hoeven WKK-installaties minder rechten te kopen, omdat ze elektriciteit produceren met minder brandstof. Dit wordt geïllustreerd in figuur 11. Daarin is voor het gemiddelde van het WKK-potentieel in de raffinage sector aangegeven wat de kosten per MWh geproduceerde elektriciteit zijn voor de aankoop van CO₂-rechten in vergelijking met de CO₂-kosten per MWh voor een kolen- en een gascentrale.



Figuur 11: Kosten van aankoop EUA's per MWh geproduceerde elektriciteit

Bij hogere CO₂-prijs stijgen de CO₂-kosten voor de kolencentrale harder dan voor een WKK-installatie. Daardoor zal de relatieve marktpositie van WKK verbeteren bij hogere CO₂-prijzen.

9. Vergelijking elektriciteitsproductiekosten van WKK met conventioneel kolen- en gasvermogen

9.1. Inleiding

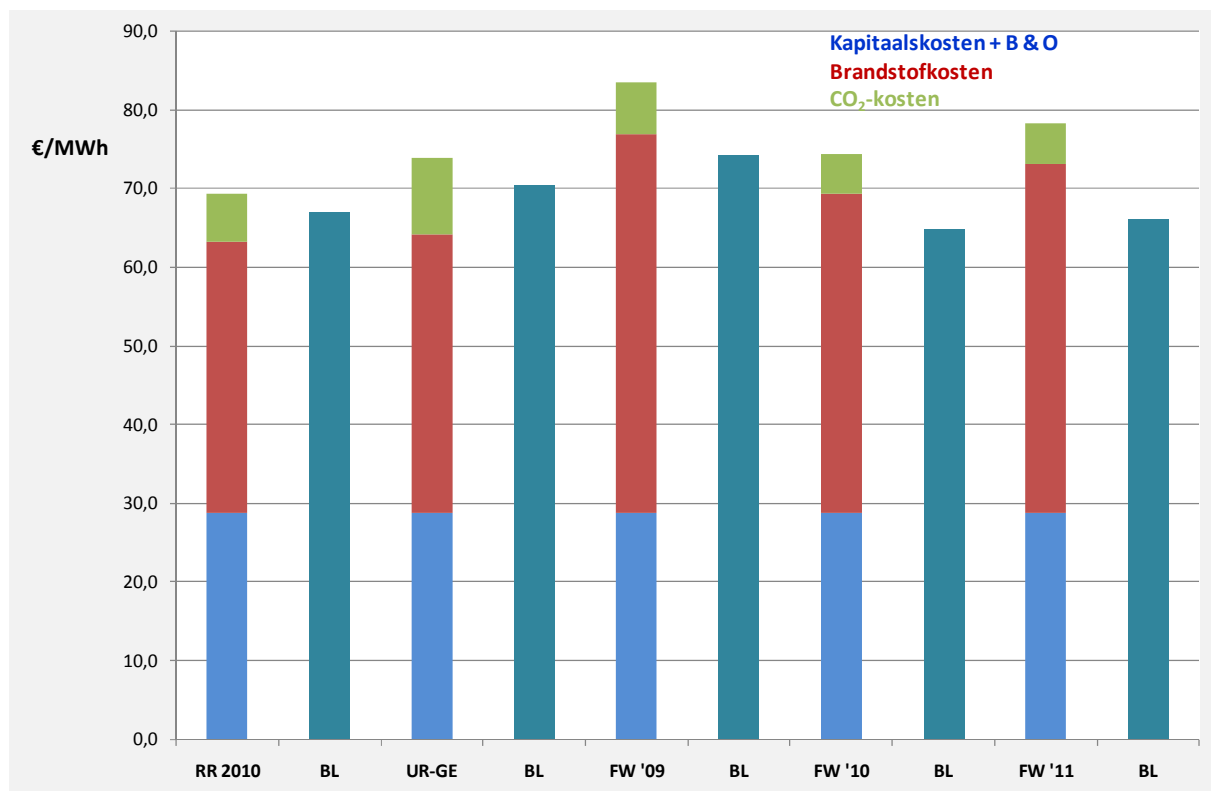
Het potentieel aan WKK in de raffinage sector kan een substantiële bijdrage leveren aan CO₂-emissie reductie en brandstofbesparing, maar heeft een matig economisch resultaat, met een grote mate van onzekerheid vanwege de mogelijkheid van sterk fluctuerende energie- en CO₂-prijzen. In de energievoorziening zijn vooral WKK en CCS de belangrijke opties om CO₂-emissies uit fossiele energie terug te dringen. In dit hoofdstuk wordt geanalyseerd hoe de economische positie van WKK op de elektriciteitsmarkt zich verhoudt tot die van conventionele elektriciteitsopwekking met en zonder CCS, door de opwekkingskosten van beide technieken te vergelijken met de voorziene marktprijzen voor elektriciteit tot 2020.

9.2. Productiekosten van elektriciteit uit WKK

De integrale productiekosten van WKK-elektriciteit bestaan uit kapitaalkosten, kosten voor bediening en onderhoud, brandstofkosten en CO₂-kosten. In tabel 13 zijn de uitgangspunten weergegeven die voor de berekening van deze kosten gebruikt zijn.

Tabel 13: Uitgangspunten berekening productiekosten WKK-elektriciteit		
Beschikbaarheid	% v.d. tijd	94 %
	uren/ jaar	8234
Rendement elektriciteitsproductie	%	74 %
Brandstof	kJ/kWh	4885
Realisatietijd	maanden	24
Kosten kapitaal	%/jaar	12 %
Investering	€/kWe	1055
Investering incl. bouwrente	€/kWe	1183
Afschrijving	jaren	15
Jaarlijkse kapitaalskosten	€/kWe/j	174
Bediening & onderhoud	% v.d. inv.	6
	€/kWe/j	63
Totaal vaste kosten	€/kWe/j	237
	€/MWh	28,78

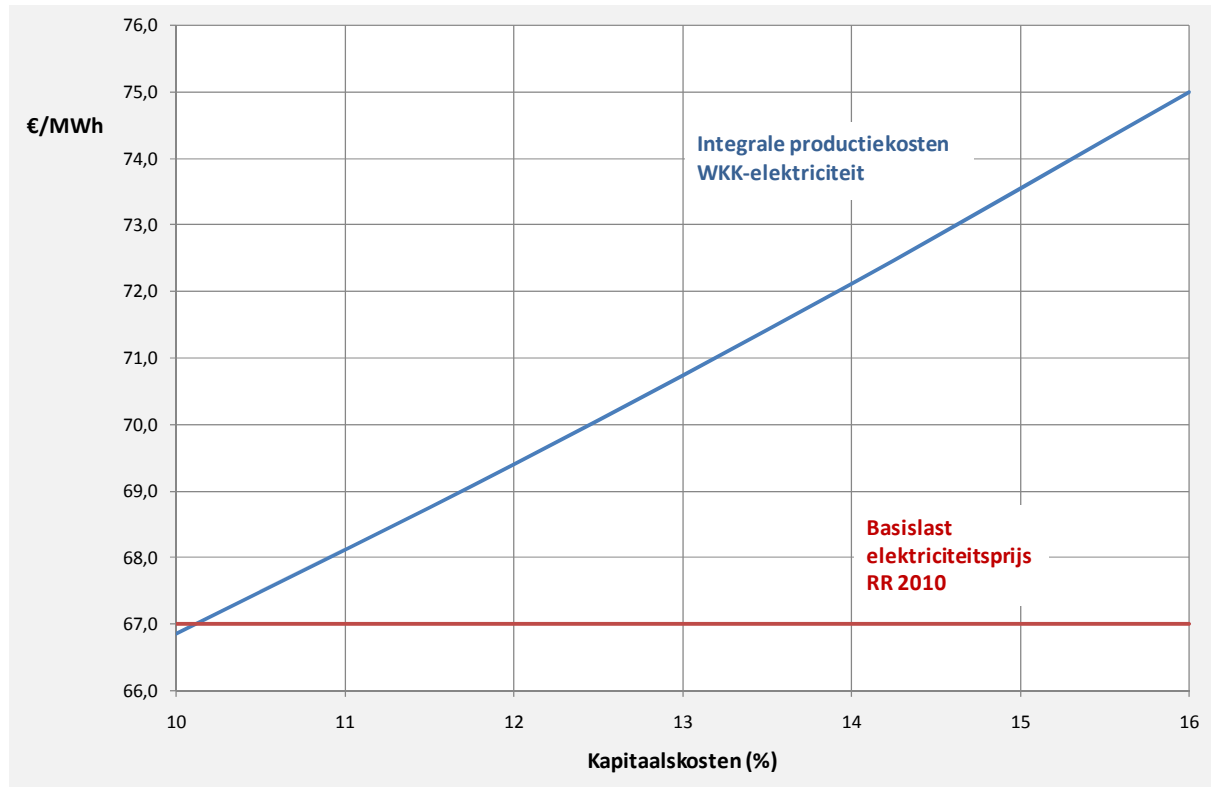
De integrale productiekosten zijn bepaald voor de commodityprijzen van de scenario's uit par. 8.4. De resultaten zijn weergegeven in figuur 12. In de figuur is ook bij ieder prijsscenario de basislast elektriciteitsprijs weer gegeven (BL).



Figuur 12: Productiekosten WKK-elektriciteit en basislast elektriciteitsprijzen

Voor alle prijsscenario's liggen de productiekosten hoger dan de basislast elektriciteitsprijs. De verschillen zijn het kleinst voor de twee ECN prijsscenario's.

In de uitgangspunten zijn de kapitaalkosten op 12 % gesteld. In figuur 13 is aangegeven hoe de productiekosten veranderen bij andere percentages. Hier is het prijsscenario uit de Referentieramingen als basis genomen.



Figuur 13: Productiekosten WKK-elektriciteit als functie van kapitaalkosten

9.3. Vergelijking met kosten voor CSS

CCS verkeert nog in de demonstratiefase. De kostenschattingen van CCS hebben daarom nog een grote mate van onzekerheid. Recent zijn schattingen gemaakt door het IEA (8) en McKinsey (9). Deze onderzoeken komen op kosten voor CCS bij een kolencentrale in de orde grootte van 50 € per ton vermeden CO₂. De gemiddelde marktprijs voor EUA's tot 2020 wordt door ECN geraamd op 22 €/ton. Tot 2020 is het dus niet erg waarschijnlijk dat CCS economisch rendabel toegepast kan worden. In het ECN prijsscenario van de Referentieramingen zitten ook nog geen kolen- of gascentrales met CCS.

In figuur 14 zijn de integrale productiekosten van elektriciteit gegeven voor een kolen centrale met en zonder CCS, een STEG gascentrale zonder CCS en voor de WKK in de raffinage sector (zie voor de WKK-kosten par. 9.2.). De elektriciteitsproductiekosten zijn berekend met de energie- en CO₂-prijzen uit de nieuwe Referentieraming 2010-2020 (zie par. 8.4). De gemiddelde kolenprijs is 2,46 €/GJ. De afschrijvingstermijn van de kolen- en gascentrale zijn ontleend aan het IEA rapport (8). Daarin wordt voor de berekening van de 'Levelised Cost of Electricity' een levensduur gehanteerd van 40 jaar voor een kolencentrale en 30 jaar voor een gascentrale. Op basis daarvan zijn in dit onderzoek afschrijvingstermijnen van resp. 30 jaar en 25 jaar aan gehouden.

		Kolen conv	Kolen+CCS	STEG	WKK
Brandstof		Kolen	Kolen	Gas	Gas
Beschikbaarheid	% tijd	90	90	90	94
	uren/jaar	7884	7884	7884	8234
Rendement	%	46	36	60	73,7
CO ₂ emissie z. afvang	t/MWh	0,728	0,930	0,337	0,274
Realisatietijd	maanden	54	54	30	24
Kosten kapitaal	%/j	10	10	10	12
Investeringsbedrag	€/kWe	1200	2040	600	1056
Inv.kosten incl.bouwtijd	€/kWe	1487	2528	676	1183
Afschrijvingstermijn		30	30	25	15
Jaarlijkse kapitaalskosten	€/kW per j	158	268	74	174
Onderhoud & bediening	% v. inv/j	3	3,2	3,75	6
	€/kW per j	36	65	23	63
Vaste kosten	€/kW per j	194	333	97	237
Vaste kosten per MWh	€/MWh	24,6	42,3	12,3	28,8
Milieukosten	€/MWh	1,5	1,7		
Brandst. kosten	€/MWh	19,3	24,6	42,4	34,5
CO ₂ -kosten	€/MWh	16,3	3,1	7,5	6,1
Totale productiekosten	€/MWh	62	72	62	69

Figuur 14: Overzicht productiekosten elektriciteit

De gemiddelde basislast elektriciteitsprijs in het prijsscenario van de nieuwe Referentieraming bedraagt 67 €/MWh (dalprijs 57 €/MWh). De productiekosten van kolen+CCS liggen daar boven, terwijl conventioneel kolenstoken de grootste marge heeft t.o.v. de basislast elektriciteitsprijs. De kosten van CO₂-afvang, transport en opslag zijn weergegeven in figuur 15.

		Kolen conv.	Kolen+CCS
CO ₂ emissie	kg/MWh	720	920
CO ₂ afvang	kg/MWh		782
CO ₂ emissie na afvang	kg/MWh	720	138
Netto CO ₂ reductie	kg/MWh		582
CCS kosten:			
afvang	€/ton		40
transport	€/ton		5
opslag	€/ton		10
totaal	€/ton		55

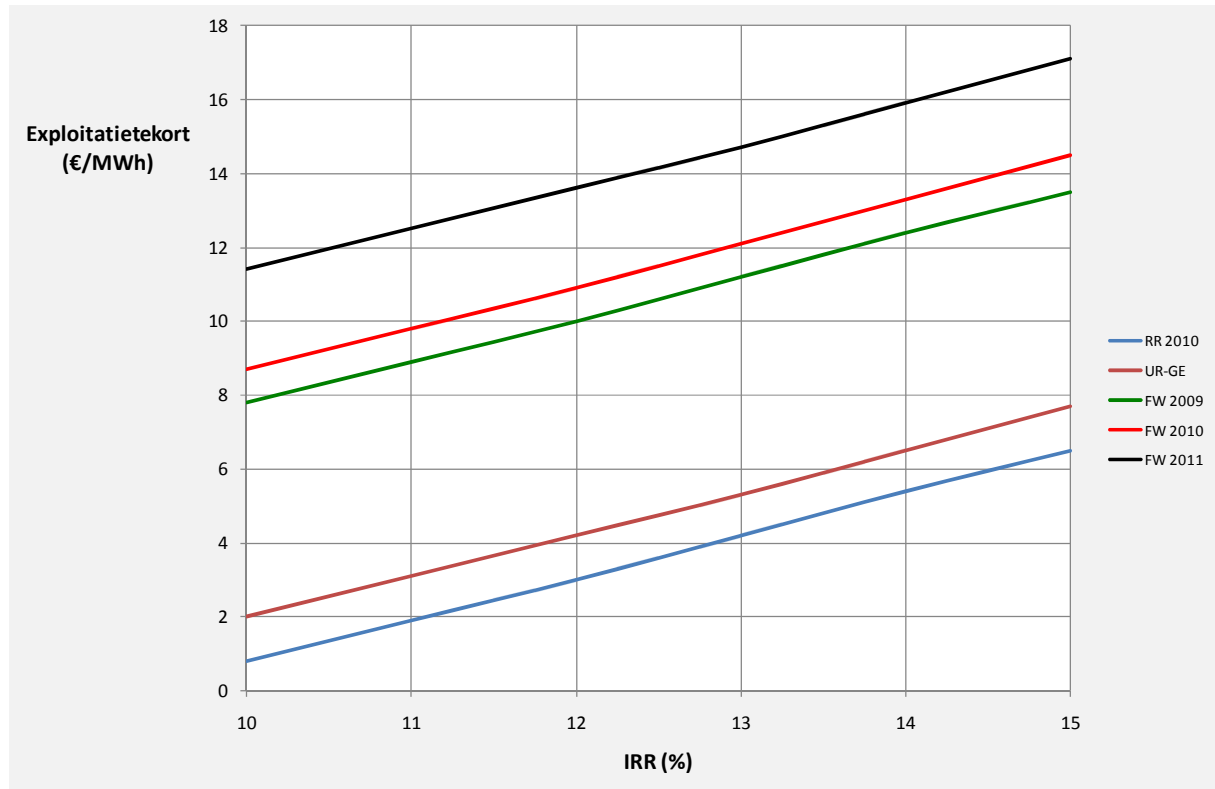
Figuur 15: Kosten van CCS

(De kosten van afvang zijn inclusief compressiekosten voor CO₂)

9.4. De kosten van brandstofbesparing en reductie van CO₂-emissie bij WKK

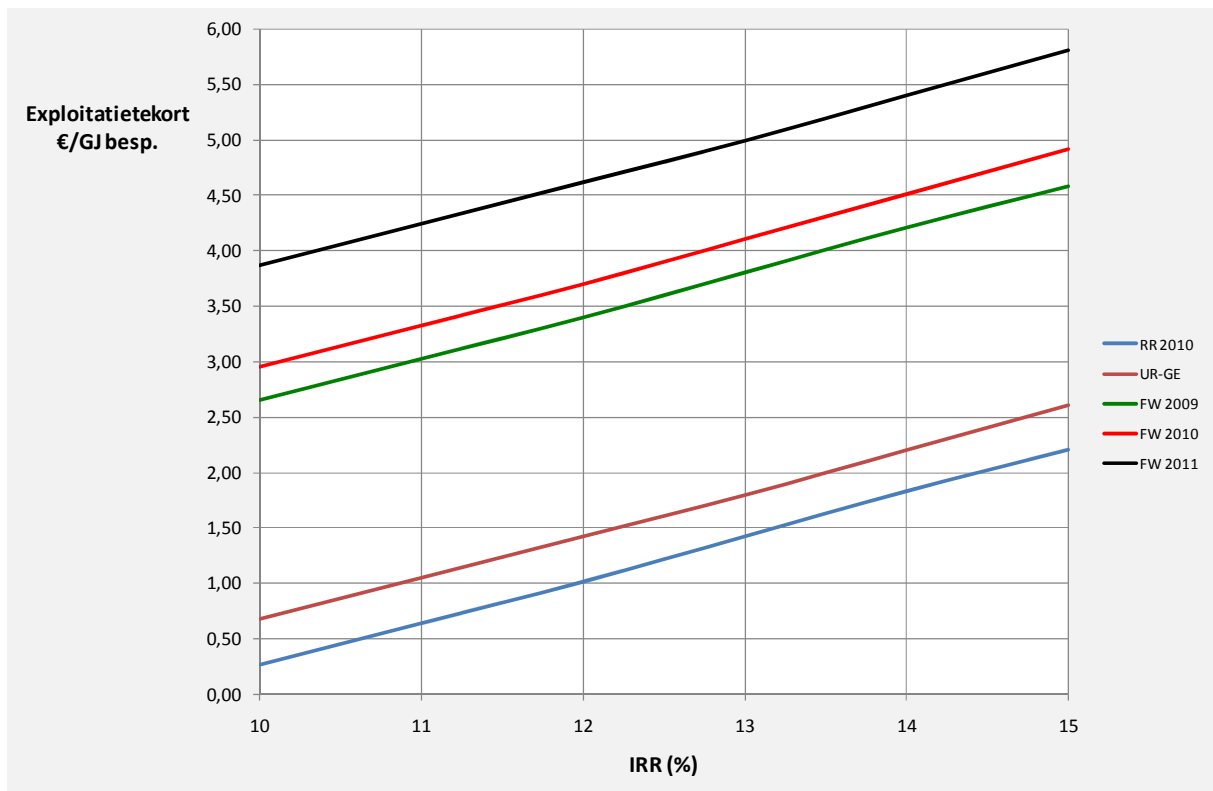
In par. 7.2. zijn de brandstofbesparingen en reductie van CO₂-emissies door WKK bepaald. In deze paragraaf wordt het economisch resultaat van WKK gerelateerd aan deze brandstofbesparing en CO₂-emissie reductie, door het exploitatietekort voor een minimaal vereiste IRR uit te drukken als kosten per GJ brandstofbesparing en per ton vermeden CO₂. Voor de vereiste IRR is een range genomen van 10 tot 15 %. De kosten zijn bepaald voor de prijsscenario's die beschreven zijn in par. 8.4.

Figuur 16 geeft voor ieder van de prijsscenario's het exploitatietekort in €/MWh om een bepaalde IRR te realiseren over een projectduur van 15 jaar.

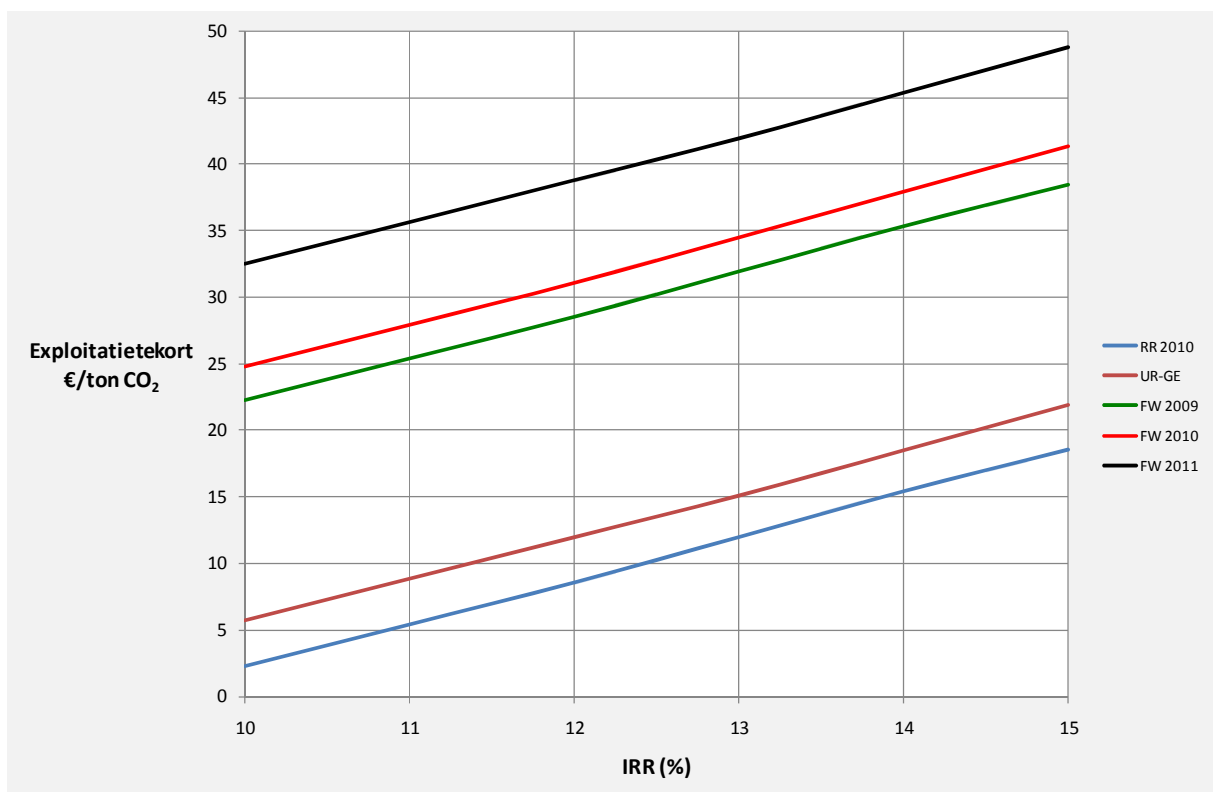


Figuur 16: Exploitatietekort als functie van IRR

Figuur 17 en 18 geven hetzelfde exploitatietekort in resp. € per bespaarde GJ-brandstof en € per ton bespaarde CO₂.



Figuur 17: Exploitatietekort uitgedrukt in € per GJ bespaarde brandstof



Figuur 18: Exploitatietekort uitgedrukt in € per ton bespaarde CO₂

In tegenstelling tot CCS combineert WKK CO₂-emissie reductie met brandstofbesparing. Mede door deze combinatie is WKK een veel kosteneffectievere methode dan CCS.

10. Effecten van WKK-support , vergelijking met maatregelen in Duitsland, UK en Vlaanderen

10.1. Introductie

In par. 8.2 is de Nederlandse 'vangnet' regeling voor WKK besproken. In deze par. worden de WKK-regelingen in Duitsland, Vlaanderen en de UK besproken en vergeleken met de Nederlandse WKK-regeling voor industriële WKK. De vergelijking wordt gemaakt door de verschillende regelingen toe te passen op het technisch WKK-potentieel in de raffinage sector. De kerngegevens per MWh elektriciteit van het WKK-potentieel in de raffinage sector zijn weergegeven in tabel 14.

Tabel 14: Kerngegevens WKK potentieel		
Elektriciteitsproductie	1	MWh
Warmteproductie	1,44	MWh
Brandstofverbruik	2,96	MWh
Totaal rendement	82	%
Rendement elektriciteit	34	%
Rendement warmte	48	%

10.2. WKK-regeling in Duitsland

De Duitse WKK-regeling is beschreven in de Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz van 19 maart 2002 en de wijziging van 25 oktober 2008 (10). Nieuwe WKK met een vermogen boven 2 MWe, die voldoet aan de criteria in de EU WKK-richtlijn voor hoog rendement WKK, ontvangt gedurende maximaal 6 jaar na ingebruikname over maximaal 30 000 vollastbedrijfsuren een toeslag van 15 € per netto geproduceerde MWh elektriciteit. De toeslag (per MWe elektrisch vermogen) op de jaarlijkse cashflows in de rentabiliteitsberekening van de WKK in de raffinage sector is weergegeven in tabel 15. In dit geval worden de 30 000 vollasturen in het 4^e productiejaar bereikt (o.b.v. de 94 % beschikbaarheid van de WKK-installatie).

Tabel 15: Jaarlijkse toeslagen per MWe elektriciteit		
Productiejaren	Cum. vollasturen	€/MWe/jaar
Jaar 1	8230	123450
2	16460	123450
3	24690	123450
4	32920	79650
5	41150	0
6	49380	0

10.3. WKK-regeling in Vlaanderen

In Vlaanderen zijn de elektriciteitsdistributiebedrijven verplicht een bepaald percentage van hun geleverde elektriciteit van WKK-installaties te betrekken. Dat wordt geregeld middels een systeem van WKK-certificaten (11). Deze certificaten worden door een overheidsinstantie verstrekt aan WKK-bedrijven die aan de daarvoor geldende criteria voldoen. Eén WKK-certificaat komt overeen met één MWh brandstofbesparing. De WKK-bedrijven verkopen de certificaten aan de distributiebedrijven, die jaarlijks het vereiste aantal certificaten (afgeleid van hun totale elektriciteitslevering) moeten overleggen aan de toezichthoudende instantie. Voor 2013 e.v. is het vereiste aantal certificaten 5,23 % van de geleverde elektriciteit. De marktprijs van de WKK-certificaten ligt op ca 90 % van de boete

voor de distributiebedrijven bij niet nakomen van hun verplichting. Deze boete bedraagt € 45 per certificaat (vanaf 2007).

Op basis van de kerngegevens uit tabel 14 zou het WKK-potentieel per MWh elektriciteit ca 0,55 MWh brandstofbesparing realiseren en dus 0,55 WKK-certificaten ontvangen.

De effecten van de Vlaamse certificatenregeling (in k€ per jaar per MWe elektrisch vermogen) op de jaarlijkse cashflows in de rentabiliteitsberekening van de WKK in de raffinage sector is weergegeven in tabel 16. De regeling hanteert een geleidelijke degressie van het aantal certificaten, afhankelijk van het rendement van de WKK-installatie.

Tabel 16: Jaarlijkse toeslag certificatenregeling (per MWe elektriciteit)			
Productiejaren	Certificaten/MWe	Opbrengst	
		€/MWh el.	k€/MWe/jaar
1	0,55	22	182
2	0,55	22	182
3	0,55	22	182
4	0,55	22	182
5	0,49	19	160
6	0,42	17	139
7	0,36	14	117
8	0,29	12	96
9	0,22	9	74
10	0,16	6	52
11	0,09	4	31
12	0,03	1	9
13	0,00	0	0

Daarnaast is een Energie Investerings Aftrek (EIA) van toepassing (12). België gebruikt het zelfde rendementscriterium als Nederland ($E + 2/3 W$)/ B , alleen is hier de drempel 50 % ipv 70 %. De WKKs in de raffinage sector zouden dan ook in aanmerking komen voor EIA, wat neerkomt op ca. 10 % lagere investering.

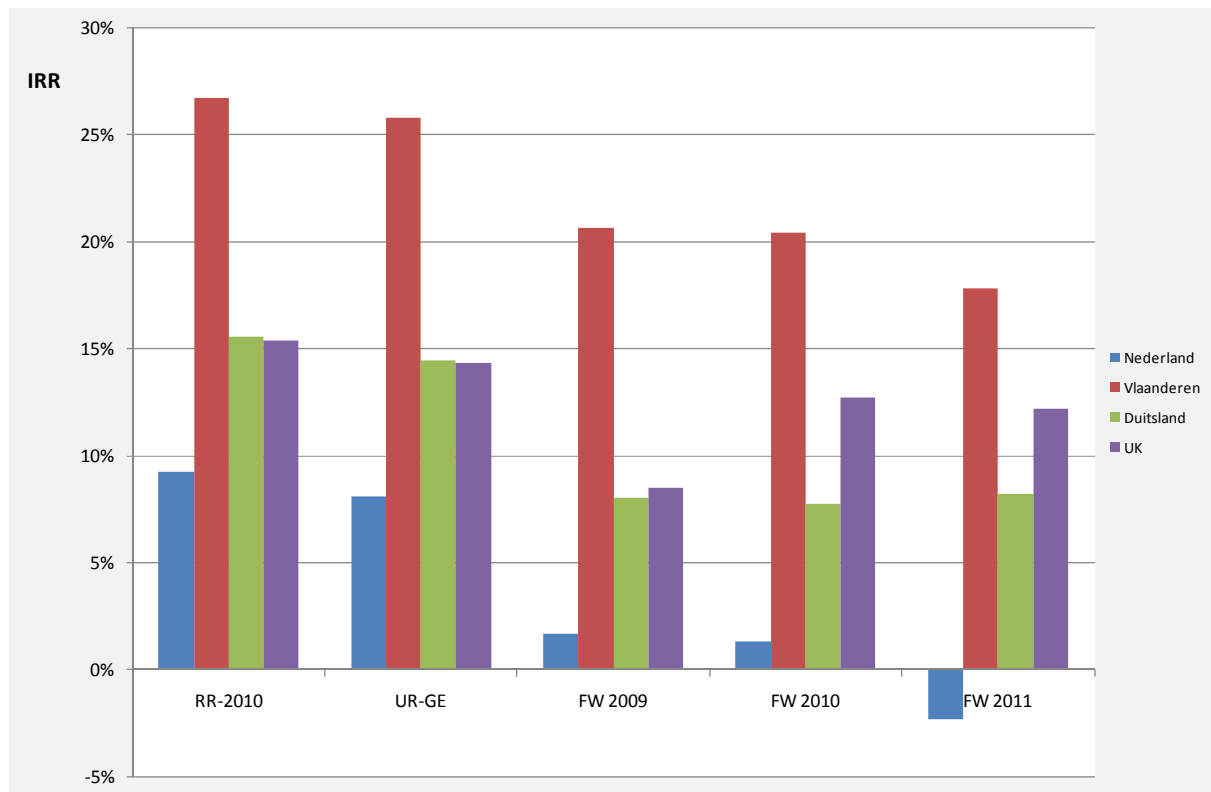
10.4. WKK-regeling in de UK

De Uk heeft twee WKK-maatregelen in gebruik. Ten eerste is zowel de brandstof als de geproduceerde elektriciteit van WKK vrijgesteld van de Climate Change Levy (CCL) (13, 14, 15). De WKK-installatie moet daarvoor voldoen aan de kwaliteitseisen die gedefinieerd worden in het CHP Quality Assurance (CHPQA) Programme. Het WKK-potentieel in de raffinage sector voldoet aan deze eisen. De CCL tarieven voor 2008 bedragen 4,56 £/MWh voor elektriciteit en 1,59 £/MWh voor aardgas. Bedrijven die deelnemen aan een energiebesparingsconvenant betalen 20 % van deze tarieven. Voor het WKK-potentieel in de raffinage sector zou de vrijstelling van CCL neerkomen op een voordeel van ca. 4,50 € per MWh geproduceerde elektriciteit.

Ten tweede is er de Enhanced Capital Allowance (ECA) (16). Die is enigszins vergelijkbaar met de Nederlandse EIA voor WKK. Het belastingvoordeel komt neer op ca. 10 % lagere investering voor WKK. Deze is ook alleen van toepassing op WKK die voldoet aan de criteria van het CHPQA programme.

10.5. Invloed van de verschillende regelingen op de rentabiliteit van WKK

Het effect van deze regelingen op de rentabiliteit van het WKK-potentieel in de raffinage sector is weergegeven in figuur 19.



Figuur 19: Invloed WKK-regelingen op rentabiliteit

Daarbij is de eerder berekende rentabiliteit onder Nederlandse omstandigheden als uitgangspunt genomen (zie par. 8.7.) en is vervolgens het effect van de individuele regelingen op de cashflows mee genomen. Deze vergelijking blijft een benadering omdat de marktomstandigheden in de verschillende landen niet helemaal gelijk zijn. Toch illustreert figuur 19 het belang van een goede WKK-regeling voor investeerders, omdat daarmee de grote onzekerheid t.a.v. het economisch resultaat aanmerkelijk wordt verkleind.

De invloed van de Vlaamse certificatenregeling is het grootste. Maar ook de UK-regeling zorgt voor een flinke verbetering van het resultaat, ook bij de verschillende prijsscenario's. Dat wordt vooral veroorzaakt door het effect van de ECA-regeling (lagere investeringen door eenmalige afschrijving à la EIA).

11. Welke nationale beleidsmaatregelen zijn nodig?

De belangrijkste barrière voor de realisatie van het WKK-potentieel in de raffinage sector is de grote onzekerheid ten aanzien van het economisch resultaat. Realisatie van een zo groot mogelijk deel van het potentieel is een gezamenlijk belang van de sector en de Nederlandse overheid. Het belangrijkste motief voor de raffinage sector om te investeren in WKK is dan niet in de eerste plaats het economisch resultaat, maar de noodzaak om verdere energie-besparing en CO₂-emissie reductie te realiseren om daarmee de CO₂ footprint te verkleinen en de basis voor de "licence to operate" voor de toekomst te verstevigen. Daarvoor is vereist dat ook een correcte toerekening van de brandstofbesparing en CO₂-emissie reductie door deze WKK aan de raffinerijen plaatsvindt.

Voor de overheid is het realiseren van de besparingsdoelstelling het belangrijkste motief, maar ook de reductie van CO₂-emissie. Industriële WKK kan daar een substantiële bijdrage aan leveren tegen relatief geringe kosten. Daarvoor is vereist dat er een beter investeringsklimaat voor WKK gerealiseerd wordt. In principe zijn er nu al twee instrumenten beschikbaar die daarvoor geschikt gemaakt kunnen worden, te weten: de EIA en de huidige WKK vangnetregeling. Bij de EIA is het in ieder geval nodig dat het te hoge rendementscriterium wordt aangepast. De huidige vangnetregeling zou moeten worden toegepast op alle industriële WKK en ook nog na 2012 beschikbaar moeten zijn. Ook andere voorwaarden in deze regeling zouden moeten worden gewijzigd. Zo is nu een voorwaarde dat alle vergunningen voor de realisatie van de WKK-installatie verleend zijn voor een aanvraag ingediend mag worden. Een dergelijke eis betekent in feite dat de investeringsbeslissing al genomen is zonder de effecten van de regeling daarin te betrekken. Dan is de regeling eigenlijk meer een free riders bonus. Het goede in de regeling is dat bij de hoogte van de exploitatie-steun rekening gehouden wordt met de ontwikkeling van de energieprijzen.

12. Conclusies en aanbevelingen

1. Op dit moment is het WKK vermogen in de raffinage sector ca. 255 MWe. Daarmee wordt 2078 GWh/j elektriciteit geproduceerd.
2. In de raffinage sector is tot 2020 nog een WKK-potentieel van ca. 280 MWe beschikbaar. De extra elektriciteitsproductie bedraagt 2340 GWh/j. Daarvan wordt 1490 GWh/j via het openbare net geëxporteerd. Deze elektriciteitsproductie is vooral basislast vermogen vanwege de vereiste continue warmteproductie en concurreert op de elektriciteitsmarkt vooral met kolenvermogen.
3. Deze nieuwe WKK bestaat uit WKK voor stoomopwekking en WKK waarin proceswarmte wordt gegenereerd die nu nog voornamelijk in fornuizen wordt opgewekt.
4. Het WKK-potentieel wordt gelimiteerd door de stoomvraag op de raffinaderijen en de ruimte die er nog is om stoomproductie door ondervuring te vervangen door stoomproductie met WKK. Ook bij WKK waarin proceswarmte opgewekt wordt zal altijd ook stoom geproduceerd worden om een zo goed mogelijk totaal rendement te realiseren. Daarom is de ruimte in de stoomvraag de limiterende factor. Als er mogelijkheden komen om warmte te exporteren kan het potentieel nog substantieel stijgen.
5. Het technisch potentieel voldoet aan de criteria in de EU WKK-richtlijn om zich te kwalificeren als hoog rendement WKK.
6. De brandstofbesparing en CO₂-reductie die daarmee gerealiseerd kunnen worden in het kader van het MEE convenant bedragen resp. 6435 TJ en 765 kt CO₂ per jaar.
7. Het economisch resultaat van dit WKK-potentieel is sterk afhankelijk van de gehanteerde energie- en CO₂-prijzen. Dat maakt dat investeringen in WKK risicovol zijn.
8. De WKK-regeling die door de overheid in 2009 in het leven is geroepen biedt daarbij geen soelaas, omdat ze alleen geldt voor één type WKK, dat op de raffinaderijen niet toepasbaar is. Ook de EIA-regeling voor WKK is niet bruikbaar vanwege het onrealistisch hoge rendementscriterium.
9. Voor het terugdringen van CO₂-emissie uit fossiele energie zijn vooral CCS en industriële WKK de aangewezen technologieën. WKK is daarvan, zeker tot 2020, de meest kosten-effectieve methode en combineert CO₂-reductie met brandstofbesparing. Gezien de zeer onzekere economische resultaten van WKK is het niet waarschijnlijk dat CCS tot 2020 wel economisch te exploiteren zou zijn.
10. Voor industriële WKK zou daarom door de overheid een goede stimuleringsregeling gecreëerd moeten worden die meer zekerheid geeft dat een investering in WKK ook binnen een redelijke termijn terugverdiend kan worden. In andere EU-landen, zoals Duitsland, België en Engeland,

bestaan dergelijke regelingen. Uit een vergelijking van deze regelingen blijkt dat ze aanzienlijk bijdragen aan meer stabiele economische resultaten.

Aanbevelingen voor vervolgstappen:

1. Met dit resultaat kan de VNPI met de 5 raffinaderijen een WKK-policy bepalen. Deze WKK-policy zou moeten inhouden, dat de raffinaderijen in principe bereid zijn in WKK te investeren als meer zekerheid gegeven wordt betreffende het realiseren van een redelijk economisch rendement. Een redelijk economisch rendement ligt in de orde van ca 11 - 12 % IRR. Meer zekerheid voor investeerders moet komen uit een langjarig nationaal beleid gericht op realisatie van nieuwe WKK in de industrie, zoals beschreven in hoofdstuk 11.
2. Deze WKK-policy kan afgestemd worden met de VNCI, waarvoor een zelfde onderzoek naar WKK-mogelijkheden is gedaan.
3. Vervolgens kunnen deze resultaten besproken worden met de ministeries van EZ en VROM gezien de belangrijke bijdrage die dit WKK-potentieel kan leveren aan de nationale doelstelling voor verbetering van energie-efficiency en CO₂-emissie reductie. Daarbij is de vraag aan de orde welke beleidsmaatregelen de overheid bereid is te treffen om te helpen zoveel mogelijk van dit potentieel te realiseren door het scheppen van een gunstiger investeringsklimaat voor industriële WKK.
4. De belangrijkste argumenten voor een nationale WKK-regeling zijn:
 - Ondanks alle inspanningen om het aandeel duurzame energie-opwekking te vergroten blijven Nederland en Europa nog decennia lang voor een groot deel afhankelijk van fossiele energie.
 - Daarom is het van belang fossiele energie zo efficiënt mogelijk te gebruiken.
 - WKK, en zeker industriële WKK, is één van de meest efficiënte technieken om dat te doen.
 - Het economisch resultaat van industriële WKK is echte te onzeker voor investeerders.
 - Daarom zou de overheid een vorm van zekerheid moeten creëren zoals kort beschreven in hoofdstuk 11.
5. Afhankelijk van dit overleg kunnen dan verdere stappen genomen worden.
6. In aansluiting op artikel 2.2b van het MEE Convenant “zo spoedig mogelijk de randvoorwaarden opstellen, waaraan moet worden voldaan om het potentieel aan energiebesparing door bestaande en nieuw ten bouwen industriële Warmte Kracht Koppeling (WKK) te realiseren.”

13. Referenties

- 1) VROM (2007): *Nieuwe energie voor het klimaat- werkprogramma Schoon en Zuinig*.
- 2) Directive 2004/8/EC, Febr. 2004 *On the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending Directive 92/42/EEC*.
- 3) Commission Decision (2007/74/EC), 21 December 2006 *Establishing harmonised efficiency reference values for separate production of electricity and heat in application of Directive 2004/8/EC of the European Parliament and of the Council*.
- 4) Brief ministerie EZ aan Tweede Kamer van 16 oktober 2009.
- 5) ECN-E-09-010: *Actualisatie referentieramingen energie en emissies 2008 – 2010*.
- 6) W. Wetzels, ECN-E-09-064: *WKK-potentieel in de chemische industrie*.
- 7) ECN-E-10-004: *Referentieramingen energie en emissies 2010 – 2020*.
- 8) International Energy Agency, samen met NEA en OECD: *Projected Costs of Generating Electricity*, 2010 Edition.
- 9) McKinsey&Company: *Carbon Capture & Storage: Assessing the Economics*, September 2008.

- 10) *Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) dd 19-3- 2002 (BGBl. I 2002 S. 1092) en 25-10-2008 (BGBl. I S. 2101).*
- 11) *Besluit van de Vlaamse Regering ter bevordering van de elektriciteitsopwekking in kwalitatieve warmtekrachtinstallaties.*
- 12) *Agentschap Ondernemen: Subsidieleidraad voor het bedrijfsleven. U werkt energie- en milieubewust, versie april 2010.*
- 13) *Notice CCL1: A general guide to Climate Change Levy, July 2009.*
- 14) *Notice CCL 1/2: Combined heat and power schemes, July 2009.*
- 15) *Guidance Note 41: Use of CHPQA to obtain CCL exemption, 2007.*
- 16) *Guidance Note 42: Use of CHPQA to obtain enhanced capital allowances, 2008.*