



Potentieel voor hoogrenderende WKK in Nederland

S.J.G. Dijkstra

Verantwoording

Dit onderzoek naar het WKK-potentieel in Nederland is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken. Het doel van het project is het berekenen van de technische en economische haalbaarheid van het moderniseren en uitbreiden van het bestaande WKK-park om primaire energiebesparing en CO₂-emissiereductie te realiseren.

Voor de berekeningen zijn de voorschriften gevolgd van de Europese WKK Richtlijn en de methodologie van het CBS voor het rapporteren van hoogrenderende WKK. De resultaten zijn gerapporteerd conform het template voor rapportage aangeleverd door de Europese Commissie. De drie spreadsheets voor de scenario's zijn bijgesloten.

Het onderzoeksproject maakt deel uit van het jaarlijkse onderzoeksbudget voor WKK van het Ministerie bij ECN, geregistreerd onder nummer 5.0168. Contactpersoon voor dit onderzoek bij het Ministerie van Economische Zaken is Drs. Ir. A.J. Vermeer. Contactpersoon bij ECN is S.J.G Dijkstra, MSc (tel: 0224 - 56 4858; e-mail: s.dijkstra@ecn.nl).

Abstract

The Dutch Ministry of Economic Affairs has asked ECN to analyse the potential for high-efficiency CHP in the Netherlands. This will inform their national report on the CHP potential to the European Commission, as required by the European CHP directive (2004/8/EC). This report describes the methodology used and briefly states the main findings. The accompanying spreadsheet shows the full results.

Inhoud

Lijst van tabellen	4
Lijst van figuren	4
Samenvatting	5
1. Inleiding	6
2. Methodologie	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Bestaande WKK	8
2.3 Vernieuwing bestaande WKK	9
2.4 Nieuwe WKK	10
2.4.1 Verhouding tussen het technisch en economisch potentieel	10
2.4.2 Gebruikte bronnen voor de berekeningen	11
2.4.3 Technisch potentieel	12
2.4.4 Economisch potentieel	13
2.5 Investeringskosten van het realiseren van het WKK-potentieel	13
2.6 Primaire energiebesparing en CO ₂ -emissiereductie	14
2.7 Gevoeligheidsanalyse en CO ₂ prijsscenario's	15
3. Resultaten	16
3.1 WKK-potentieel	16
3.2 Kosten, primaire energiebesparing en CO ₂ -emissiereductie van het WKK-potentieel	16
4. Kanttekeningen bij de methodologie	18
4.1 Het rekensysteem voor de nationale energieverkenning	18
4.2 Hoogrenderende WKK	18
Referenties	19

Lijst van tabellen

Tabel 1.1	<i>CO₂-prijs scenario's gebruikt in de analyse</i>	6
Tabel 2.1	<i>Referentiewaardes voor de evaluatie van hoogrenderende WKK volgens de Europese Richtlijn 2004/8/EC en het Annual Questionnaire van Eurostat</i>	8
Tabel 2.2	<i>Aannames voor duurzame WKK voor het bepalen van elektriciteitsproductie en vermogen</i>	9
Tabel 2.3	<i>Aannames voor levensduur en modernisering voor vernieuwing bestaande WKK</i>	9
Tabel 2.4	<i>Aannames voor de elektriciteitsprijs van de drie CO₂-prijs scenario's</i>	11
Tabel 2.5	<i>Evaluatie van het mogelijke aandeel WKK in warmtelevering per sector</i>	12
Tabel 2.6	<i>Aannames voor het bepalen van de elektriciteitsproductie, het geïnstalleerde vermogen en de brandstofinzet</i>	13
Tabel 2.7	<i>Emissiefactoren en energie-inhoud per brandstof</i>	14
Tabel 2.8	<i>Invloed van CO₂-prijs op factoren voor WKK-potentieel</i>	15
Tabel 3.1	<i>Het technisch WKK-potentieel in Nederland</i>	16
Tabel 3.2	<i>Het economisch potentieel voor WKK in Nederland</i>	16
Tabel 3.3	<i>Investeringskosten nodig voor het realiseren van het economisch WKK-potentieel</i>	17
Tabel 3.4	<i>De primaire energiebesparing (PES) en CO₂-emissiereductie van het economisch WKK-potentieel</i>	17

Lijst van figuren

Figuur 2.1	<i>Stappen in de potentieelanalyse</i>	7
Figuur 2.2	<i>Relatie tussen het technisch en economisch WKK-potentieel</i>	10

Samenvatting

De Europese WKK Richtlijn (2004/8/EC) vraagt van de EU lidstaten om een analyse van het additionele potentieel voor WKK uit te voeren. Dit rapport presenteert de resultaten voor Nederland. De bijgesloten spreadsheets tonen de volledige resultaten.

De rapportage is conform de aangeleverde template van de Europese Commissie. De projecties zijn gebaseerd op de berekeningen van ECN's rekensysteem voor het Ministerie van Economische Zaken en het Ministerie van VROM, die zijn gebruikt voor de Referentieraming 2010 (ECN/PBL, 2010). Het aandeel hoogrenderende WKK is bepaald via de methode gehanteerd door het Centraal Bureau van de Statistiek (CBS).

Het rapport maakt onderscheid tussen het technisch en economisch potentieel. De geschikte warmtevraag per sector bepaalt het technisch potentieel, terwijl het economisch potentieel het aandeel daarvan dat rendabel kan opereren in de energiemarkt aangeeft.

De resultaten geven aan dat vanuit technisch oogpunt maximaal 7,7 GW_e nieuwe WKK aan de bestaande 12,9 GW_e zou kunnen worden toegevoegd in de periode tot 2020. Het economisch potentieel voor nieuwe WKK is tussen de 2,3 en 3,4 GW_e bovenop het bestaande vermogen in 2020, en varieert meer met de CO₂-prijs. De realisatie van 3,4 GW_e additionele WKK zou een primaire energiebesparing van 39 PJ en 2,2 Mt CO₂ emissiereductie opleveren, en €4,8 miljard kosten.

1. Inleiding

De Europese Commissie heeft de lidstaten gevraagd drie scenario's aan te leveren voor de nationale rapportage van het potentieel voor hoogrenderende WKK¹ (zie bijgaande spreadsheets). De drie scenario's verschillen in de CO₂-prijs ontwikkeling, zie Tabel 1.1. Gevoeligheidsanalyse voor andere parameters is niet vereist.

Tabel 1.1 *CO₂-prijs scenario's gebruikt in de analyse*

	2010 [€/t]	2015 [€/t]	2020 [€/t]
Scenario 1	15	15	15
Scenario 2	15	25	25
Scenario 3	15	50	50

De scenario's moeten de volgende elementen bevatten:

- Projecties van zowel technisch als economisch potentieel.
- Projecties voor 2010, 2015 en 2020.

Deze projecties zijn opgesplitst per sector, brandstof en technologie, en er is onderscheid gemaakt tussen nieuwe installaties en modernisatie van bestaande installaties, zoals vereist.

De resulterende potentiëlen moeten gekwantificeerd worden in termen van:

- Elektrisch vermogen [GW].
- Elektriciteitsproductie [TWh].
- Thermisch vermogen [GW].
- Nuttige warmteproductie [TWh].
- Brandstofinzet [PJ].

Op verzoek van het Ministerie van Economische Zaken heeft ECN de drie CO₂-prijs scenario's doorgerekend. De waarde van CO₂-beïnvloedt het WKK-potentieel via de energievraag, elektriciteitsprijzen, en de aantrekkelijkheid van WKK vergeleken met concurrerende technologieën. Een hogere CO₂-prijs, bijvoorbeeld, kan WKK goedkoper maken dan de gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit, en leidt tot een kleine afname van de warmtevraag.

Voor elk scenario heeft ECN het technisch en economisch potentieel voor hoogrenderende WKK bepaald. De methode gebruikt door het CBS voor de rapportage van WKK-statistiek aan Eurostat² is toegepast om het aandeel hoogrenderende WKK te bepalen. De projecties zijn gebaseerd op de berekeningen van ECN's rekensysteem voor het Ministerie van Economische Zaken en het Ministerie van VROM, en welke zijn gebruikt voor de Referentieraming 2010 (ECN/PBL, 2010). De aannames over de economische ontwikkeling, het energiebeleid, elektriciteitsprijzen zijn hieruit overgenomen, aangepast voor de CO₂ prijs scenario's.

De resultaten zijn gerapporteerd in het template voor WKK-potentiëlen van de Europese Commissie. De bijbehorende spreadsheets zijn bijgesloten.

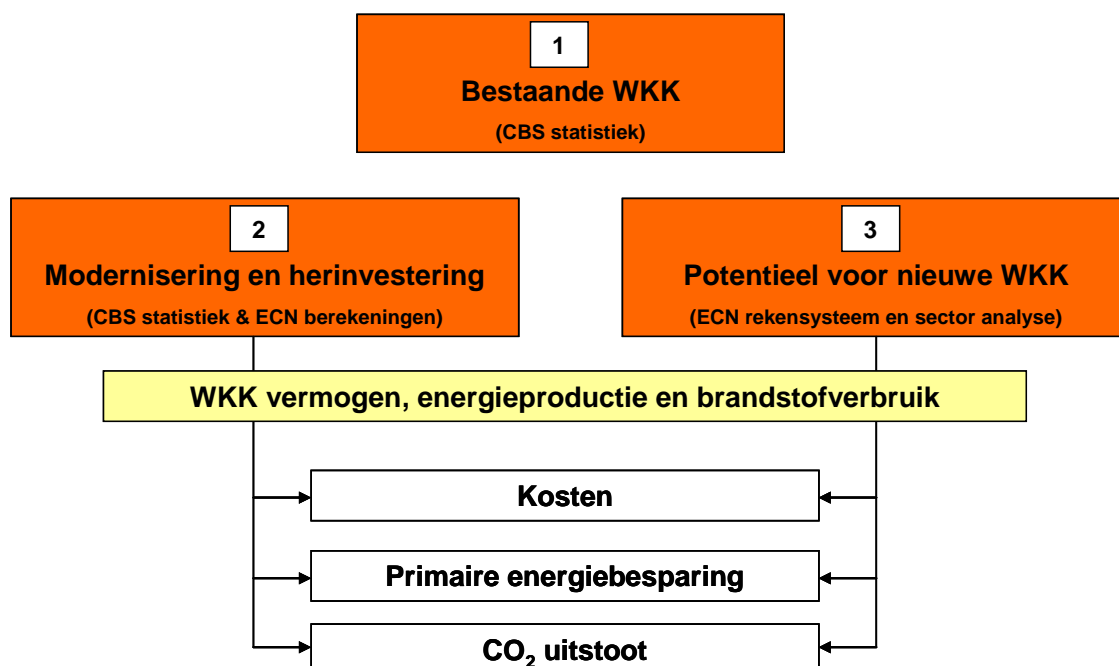
¹ Onder de Europese WKK Richtlijn kwalificeren WKK installaties die een primaire energiebesparing van minimaal 10% ten opzichte van gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit behalen als hoogrenderend.

² Zoals voorgeschreven in het Electricity and Heat Annual Questionnaire van Eurostat.

2. Methodologie

2.1 Inleiding

De potentieelanalyse voor nieuwe WKK bestaat uit drie onderdelen. Eerst is gekeken naar de bestaande WKK in Nederland, die als 'baseline' voor de uitbreiding van WKK in de toekomst fungeert. De tweede stap evalueert de mogelijkheid om bestaande WKK-installaties te moderniseren. Tenslotte is het potentieel voor nieuwe WKK-installaties geanalyseerd. Hieruit volgen de projecties voor WKK-vermogen, energieopwekking en brandstofverbruik voor 2010, 2015 en 2020 (Figuur 2.1). Voor de totale WKK potentiëlen zijn ook de primaire energiebesparing en vermeden CO₂-uitstoot berekend, en samen met de investeringskosten gerapporteerd.



Figuur 2.1 *Stappen in de potentieelanalyse*

De analyse is eerst uitgevoerd voor een basisscenario voor een CO₂-prijs van €15 per ton in 2010 en €25 per ton in 2015 en 2020, gelijk aan scenario 2 in Tabel 1.1. Op basis hiervan zijn de andere twee CO₂-prijs scenario's ontwikkeld met behulp van gevoeligheidsanalyse. Secties 2.2 tot en met 2.7 bespreken de stappen in detail:

- Sectie 2.2 - rapportage van bestaande WKK volgens de CBS methodologie.
- Sectie 2.3 - methodologie voor de analyse van het potentieel voor vernieuwen bestaande WKK.
- Sectie 2.4 - methodologie voor de analyse van het potentieel voor nieuwe WKK.
- Sectie 2.5 - rapportage van de kosten voor het realiseren van het WKK-potentieel.
- Sectie 2.6 - berekening van de primaire energiebesparing en CO₂-emissiereductie van het WKK-potentieel.
- Sectie 2.7 - gevoeligheidsanalyse.

2.2 Bestaande WKK

De gegevens over de bestaande WKK in 2008 zijn gebaseerd op de data gerapporteerd door het CBS voor dat jaar (CBS, 2010a). Deze tonen het elektrisch- en warmtevermogen van WKK in 2008, evenals de elektriciteits- en warmteproductie en het brandstofverbruik.

Het CBS hanteert de volgende methode om rekening te houden met het hoogrenderende aandeel van de geïnstalleerde installaties:

1. Alle elektriciteitsproductie geldt als hoogrenderend als het gerapporteerde rendement van een installatie hoger dan 80% is voor STEG's en condenserende stoomturbines, of hoger dan 75% voor andere technologieën (conform Bijlage II van de Europese Richtlijn 2004/8/EC).
2. Als het rendement onder deze waarden zit wordt onderscheid gemaakt op basis van de verhouding tussen elektriciteits- en warmteproductie:
 - A. Als de gerealiseerde elektriciteit-warmte verhouding tussen de minimum en maximum waarden aangegeven in de Electricity and Heat Annual Questionnaire van Eurostat ligt (Eurostat, 2009), dan wordt de productie van elektriciteit volledig tot hoogrenderende WKK-stroom gerekend, omdat de nuttige warmteproductie per kWh elektriciteit groter is dan de minimaal vereiste waarde om aan de vereisten van de WKK Richtlijn te voldoen.
 - B. Als niet wordt voldaan aan A, dan wordt de standaard elektriciteit-warmte verhouding uit Bijlage III van de Europese Richtlijn 2004/8/EC gebruikt.
 - i. Als de warmteproductie vermenigvuldigd met de standaard elektriciteit-warmte verhouding groter is dan de elektriciteitsproductie, dan wordt alle geproduceerde elektriciteit volledig tot hoogrenderende WKK-stroom gerekend.
 - ii. Als niet wordt voldaan aan i, dan is de WKK-energie gelijk aan de het product van de warmteproductie en de standaard elektriciteit-warmte verhouding. De resulterende hoeveelheid WKK-stroom hangt dan af van het aandeel van de warmteproductie die nuttig gebruikt wordt.

Tabel 2.1 *Referentiewaarden voor de evaluatie van hoogrenderende WKK volgens de Europese Richtlijn 2004/8/EC en het Annual Questionnaire van Eurostat*

	Minimum rendement [%]	Elektriciteit / Warmte					
		Industrie		Stadsverwarming			
		Min	Max	Standaard	Min	Max	Standaard
STEG	80	0,5	1	0,95	0,7	1,2	0,95
Tegendruk stoomturbine	75	0,15	0,45	0,45	0,3	0,6	0,45
Condenserende stoomturbine	80	0,15	0,45	0,45	0,3	0,6	0,45
Gasturbine	75	0,2	0,6	0,55	0,35	0,75	0,55
Gasmotor	75	0,4	0,8	0,75	0,55	0,95	0,75

Het CBS rapporteert het geïnstalleerde WKK-vermogen, productie en brandstofverbruik per sector (CBS, 2010a). In een aantal gevallen heeft ECN de onderverdeling van de CBS data aangepast om aan te sluiten bij het template van de Europese Commissie (zie bijgesloten Excel spreadsheets):

- Tabblad 'Overview' - gegevens direct gerapporteerd door het CBS.
- Tabblad 'Sectors' - gegevens direct gerapporteerd door het CBS, met de volgende onderverdeling:
 - Industry: WKK-installaties in alle industriële sectoren en de energiesector (winning en raffinage).
 - District heating: WKK-installaties van distributiebedrijven en energieleveranciers (deze categorieën omvatten het overgrote deel van stadsverwarmings-WKK in Nederland)
 - Non-district heating: WKK-installaties in de gezondheidszorg, afvalverbranding en overige producenten.
 - District cooling: aanname 0 (in 2008).
 - Micro-CHP: aanname 0 (in 2008).

- Overig: WKK-installaties in de land- en tuinbouw.
- Tabblad 'Fuels' - de brandstof inzet komt direct van het CBS, terwijl de elektriciteit- en warmteproductie zijn afgeleid met behulp van het aandeel van verschillende brandstoffen per technologie. Bijvoorbeeld: als gasmotoren voor 98% aardgas gebruiken en 13,1 TWh elektriciteit produceren, dan is $13,1 * 0,98 \text{ TWh} = 12,838 \text{ TWh}$ WKK-stroom van gasmotor-WKK geproduceerd met aardgas.
- Tabblad 'Technologies' - gegevens direct gerapporteerd door het CBS.

De WKK-gegevens gerapporteerd door het CBS maken geen onderscheid tussen verschillende duurzame brandstoffen. ECN heeft de opsplitsing daarom afgeleid van de WKK-warmteproductie van duurzame brandstoffen in de CBS rapportage van duurzame energieproductie (CBS, 2010b).

Aannames over de elektriciteit-warmte verhouding en het jaarlijkse aantal draaiuren zijn gebruikt om de duurzame WKK-elektriciteitsproductie en het vermogen te bepalen (Tabel 2.2). Deze aannames zijn gebaseerd op historische gegevens van het CBS (CBS, 2010b) en ECN's projecties van de referentieraming, en houden dus rekening met zowel de technische parameters van de installaties als de marktomstandigheden. Ze zijn lager dan het aantal draaiuren in de onrendabele top berekening voor biomassa en biogas, omdat die ook betrekking hebben op periodes waarin de installaties alleen elektriciteit produceren.

Tabel 2.2 *Aannames voor duurzame WKK voor het bepalen van elektriciteitsproductie en vermogen*

Toepassing	Elektriciteit/warmte	Indicatieve draaiuren per jaar
Vuilverbranding	5,0	4.800
Afvalwaterzuivering	1,5	4.000
Rioolwaterzuivering	1,5	4.100
Vergisting	1,5	4.000
Stortgas	1,5	4.000
Biomassa - klein	4,0	5.300
Biomassa - groot	4,0	5.300

2.3 Vernieuwing bestaande WKK

ECN heeft een projectie gemaakt van het aantal installaties dat vernieuwd kan worden op basis van het toegevoegde WKK-vermogen per jaar sinds 1980. Hiervoor zijn twee bronnen gebruikt:

- De ECN Basislijst van WKK-installaties - deze geeft informatie over alle decentrale WKK-installaties die in gebruik genomen zijn van 1980 tot 2003, inclusief informatie over de gebruikte technologie en het verwachte jaar van uitgebruikname.
- CBS statistiek over de verandering in WKK-vermogen per technologie sinds 1998.

Tabel 2.3 *Aannames voor levensduur en modernisering voor vernieuwing bestaande WKK*

Technologie	Levensduur	Technisch potentieel	Economisch potentieel		
			15 €/tCO ₂	25 €/tCO ₂	50 €/tCO ₂
Gasmotor	15 jaar	100%	85%	90%	95%
Stoomturbine	25 jaar	100%	20%	40%	60%
STEG	20 jaar	100%	80%	85%	90%
Gasturbine	20 jaar	100%	80%	85%	90%
Overig	20 jaar	100%	70%	80%	90%

De projectie van het aantal installaties dat vervangen moet worden en de verwachte levensduur, gespecificeerd per technologie, vormt de basis van het potentieel voor vernieuwing van be-

staande WKK. Voor het technisch potentieel is aangenomen dat alle WKK-installaties vervangen kunnen worden, terwijl voor het economisch potentieel slechts bij een gedeelte van de installaties modernisatie plaatsvindt, afhankelijk van de hoogte van de CO₂-prijs. Tabel 2.3 toont het percentage bestaande installaties waarbij herinvestering plaatsvindt in de verschillende scenario's. Projecties voor het bestaande WKK-park uit de referentieraming en ECN's onrendabele top berekeningen voor deze technologieën zijn de leidraad voor deze aannames.

Zowel het technisch als economisch potentieel voor vernieuwing van bestaande WKK zijn gerapporteerd, beiden uitgedrukt in het elektrisch- en thermisch vermogen, de energieproductie en de brandstofinzet.

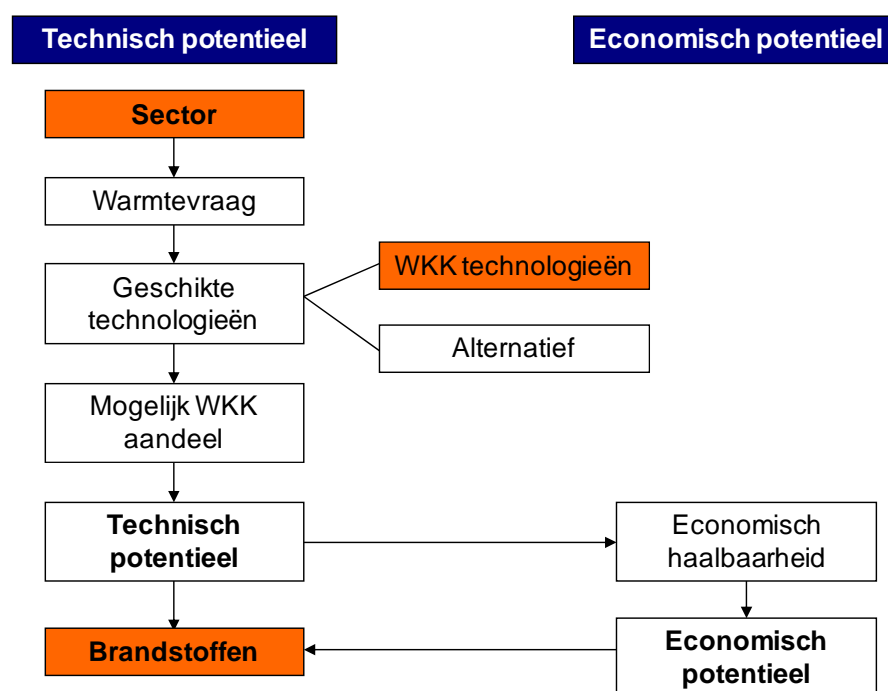
2.4 Nieuwe WKK

2.4.1 Verhouding tussen het technisch en economisch potentieel

Het technische potentieel plafonneert de mogelijkheden voor uitbreiding van het WKK-park. Hiervoor is de warmtevraag de bepalende factor, samen met het maximale productie-aandeel dat vanuit technisch oogpunt met WKK-technologieën kan worden ingevuld. Het technisch potentieel is afgeleid uit projecties van de warmtevraag per sector uit het ECN rekensysteem voor de nationale energieverkenning, waaronder:

- Save-Productie - projecties voor energieontwikkelingen in industrie en landbouw, inclusief alle decentrale WKK (Daniëls & Van Dril, 2007).
- POWERS model (Seebregts et al., 2005) - gebruik van WKK voor stadsverwarming.
- Save-Utiliteit (Volkers, 2006) - warmte- en koudegebruik in utiliteitsgebouwen.
- SAWEC - Simulatie en Analyse model van het Woninggebonden Energieverbruik en CO₂-emissies (Boerakker, Menkveld & Volkers, 2005).

Het economisch potentieel volgt uit het technisch potentieel na een economische haalbaarheidsanalyse per technologie, uitgevoerd binnen het rekensysteem (Figuur 2.2). De oranje cellen vertegenwoordigen de vereiste opsplitsing van het potentieel voor de rapportage aan de Europese Commissie.



Figuur 2.2 Relatie tussen het technisch en economisch WKK-potentieel

2.4.2 Gebruikte bronnen voor de berekeningen

De projecties voor de ontwikkeling van nieuwe WKK-installaties zijn gebaseerd op de berekeningen van ECN's rekensysteem voor het Ministerie van Economische Zaken en het Ministerie van VROM, en welke zijn gebruikt voor de Referentieraming 2010 (ECN/PBL, 2010). De beleidsvariant inclusief Schoon en Zuinig en Voorgesteld beleid (RR2010 VV) is gebruikt als basisscenario, aangezien deze variant rekening houdt met bestaand en voorgenomen beleid en daarmee de meest recente beleidsinformatie bevat. Tabblad 6 van de bijgesloten spreadsheets beschrijft de gemaakte aannames voor beleidsinstrumenten in dit basisscenario.

ECN heeft de aannames integraal overgenomen, met uitzondering van de aannames voor elektriciteitsprijzen. De elektriciteitsprijzen in de Referentieraming zijn gebaseerd op lange termijn projecties; het RR2010 VV scenario gebruikt b.v. een CO₂-prijs van €13 per ton in 2010 oplopend tot €20 in 2020. Daarom zijn bestaande projecties van het RR2010 VV scenario aangepast om de scenario's voor een CO₂-prijs van €15, €25 en €50 per ton te ontwikkelen door middel van een gevoeligheidsanalyse van bestaande CO₂-prijs scenario's van de Referentieraming 2010. Dit beïnvloedt ook de elektriciteitsprijs die gebruikt is voor de berekening van het economisch potentieel (Tabel 2.4).

Tabel 2.4 Aannames voor de elektriciteitsprijs van de drie CO₂-prijs scenario's

CO ₂ -prijs scenario [€/t] 2010-2015-2020	2010		2015		2020	
	Piek [€/MWh]	Dal [€/MWh]	Piek [€/MWh]	Dal [€/MWh]	Piek [€/MWh]	Dal [€/MWh]
15 - 15 - 15	58	42	55	37	58	40
15 - 25 - 25	58	42	58	42	59	43
15 - 50 - 50	58	42	62	51	64	55

De resultaten van de Referentieraming 2010 voor de volgende parameters zijn direct gebruikt:

- Warmte-, elektriciteits- en koudevraag per sector.
- Koudevraag en penetratie van koudeleverende technologieën.
- Warmteproductie, elektriciteitsproductie en brandstofinzet van WKK per sector, technologie en brandstof.
- Geïnstalleerd WKK-vermogen per sector, per technologie en per brandstof.
- Jaarlijks aantal draaiuren van WKK-systemen.

Voor micro-WKK energieproductie en vermogen zijn de resultaten van de Referentieraming 2010 aangevuld met technologie-specifieke projecties uit de 2008 update van het energie- en CO₂-besparingspotentieel van micro-WKK in Nederland van ECOFYS, ECN en andere organisaties (ECOFYS et al, 2008).

De rapportage van de resultaten is aangepast voor vereisten van de rapportage aan de Europese Commissie. ECN heeft de resultaten ook vergeleken met resultaten van bestaande eerdere analyses van WKK-potentieel in Nederland, waarmee ze consistent bleken:

- Daniëls, B.W. et. al. *High-efficiency cogeneration in the Netherlands*. ECN. November 2007
- ECOFYS, ECN, Cogen Projects, Gasunie, TNO, CE Delft. *Energie- en CO₂-besparingspotentieel van micro-WKK in Nederland (2010 - 2030)*. Update 2008.
- PriceWaterhouseCoopers. *Het potentieel van WKK in de Chemie • Enquête onder leden van de VNCI*. Mei 2009 (vertrouwelijk).
- Wetzels, W. et al. *WKK-potentieel in de chemische industrie*. ECN. November 2009 (nog niet gepubliceerd).

2.4.3 Technisch potentieel

De evaluatie van het technische potentieel voor WKK maakt gebruik van de verwachte warmtevraag in verschillende sectoren van de economie, direct uit de Referentieraming 2010. Deze kwantitatieve output is aangevuld met kwalitatieve analyse om de geschiktheid van WKK voor verschillende toepassingen vast te stellen.

De kwalitatieve analyse maakt onderscheid per sector, aangezien de geschiktheid voor inzet van WKK per sector varieert. Er kan bijvoorbeeld onderscheid worden gemaakt naar de eigenschappen van de benodigde warmte (bijvoorbeeld de temperatuur en de druk), de beschikbaarheid van geschikte WKK-technologieën en de vertrouwdheid van de sector met WKK. Samen met het aandeel van het totale potentieel dat al is ingevuld door WKK bepalen deze factoren de grootte van het additionele technische potentieel. Vervolgens zijn aan elke sector scores toegekend (zie Tabel 2.5). Bestaande studies van ECN en andere organisaties over het potentieel van diverse sectoren voor verschillende WKK-toepassingen zijn hiervoor geraadpleegd (zie Paragraaf 2.4.1).

Tabel 2.5 *Evaluatie van het mogelijke aandeel WKK in warmtelevering per sector*

Sector	Geschiktheid warmtevraag	Beschikbaarheid WKK-systemen	Vertrouwdheid met WKK	Bestaande invulling van WKK-potentieel
Industrie				
Voedings-middelen	Hoog	Hoog	Hoog	Laag / gemiddeld
Papier	Zeer hoog	Hoog	Hoog	Hoog
Chemie	Hoog	Hoog	Hoog	Gemiddeld / hoog
Metaal	Gemiddeld	Hoog	Gemiddeld	Laag
Overig	Variabel ³	Hoog	Variabel	Laag
Energie				
Winning	Laag	Gemiddeld	Laag	Laag
Raffinage	Hoog	Hoog	Hoog	Hoog
Gebouwde omgeving				
Diensten	Gemiddeld / Hoog	Hoog	Gemiddeld	Gemiddeld
Huishoudens	Laag / gemiddeld	Laag	Laag	Laag
Stads-verwarming	Hoog	Hoog	Hoog	Gemiddeld
Land- en tuinbouw	Hoog	Hoog	Zeer hoog	Hoog

De technisch maximale warmtelevering van WKK volgt uit de totale warmtevraag en potentiële aandeel van WKK per sector. Het vermogen, de elektriciteitsproductie en de brandstofinzet zijn berekend onder de veronderstelling dat de elektriciteit-warmte verhouding, het rendement en het aantal draaiuren gelijk zijn aan de gebruikte waarden in het ECN rekensysteem (Tabel 2.6).

³ Afhankelijk van de industriële toepassing.

Tabel 2.6 *Aannames voor het bepalen van de elektriciteitsproductie, het geïnstalleerde vermogen en de brandstofinzet*

Sector	Maximaal aandeel warmtevraag	Elektriciteit / Warmte	Elektrisch rendement	Draaiuren per jaar (indicatief) ⁴
Industrie				
Voedingsmiddelen	60%	0,37	21%	3.900
Papier	90%	0,50	26%	4.900
Chemie	55%	0,50	27%	4.700
Metalen	10%	0,39	23%	2.400
Overig	10%	0,31	20%	2.600
Energie				
Winning	10%	0,45	26%	6.100
Raffinage	25%	0,61	19%	6.400
Gebouwde omgeving				
Diensten	20%	0,74	31%	3.900
Huishoudens	5%	0,50	25%	4.700
Stadsverwarming	NA ⁵	2,16	43%	4.000
Land- en tuinbouw	80%	0,71	35%	3.500

2.4.4 Economisch potentieel

Onder het economisch potentieel voor WKK zijn de installaties die zowel technisch mogelijk als rendabel zijn gerekend. De projecties hiervoor zijn berekend met gebruikmaking van het rekensysteem voor de Nationale Energieverkenning (Volkers, 2006). De resultaten voor het technisch potentieel zijn als validatie gebruikt, omdat deze het plafond van het economisch potentieel bepalen.

De modelberekeningen geven het WKK-vermogen dat binnen de bestaande technische, economische en beleidsmatige randvoorwaarden en condities ontwikkeld kan worden, en de hoeveelheid elektriciteit en warmte welke deze WKK-eenheden tijdens het jaar op economische basis kunnen produceren. Hiervoor is rekening gehouden met factoren zoals energieprijzen, CO₂-prijzen, overige operationele kosten, en de ontwikkeling van alternatieve bronnen van elektriciteit en warmte, zoals nieuwe kolencentrales en warmtepompen.

Het geïnstalleerde vermogen, de energieproductie en de brandstofinzet zijn gerapporteerd voor de berekende potentiëlen (zie bijgaande Excel spreadsheets). Ze zijn gevalideerd met andere studies (zie Paragraaf 2.4.1).

2.5 Investeringskosten van het realiseren van het WKK-potentieel

De Europese Commissie vraagt een rapportage van de investeringskosten voor het realiseren van het WKK-potentieel. Deze zijn afgeleid van de projecties per technologie met behulp van de karakteristieke investeringskosten van de verschillende systemen. De technische parameters van Jacobs Consultancy voor de onrendabele top berekening (Jacobs Consultancy, 2009) zijn de bron van deze kosten, die gespecificeerd zijn in de bijgesloten spreadsheet. Voor micro-WKK-

⁴ Het rekensysteem gebruikt precieze draaiuren voor alle soorten installaties, met kleine variaties tussen scenario's. Die getallen zijn gebruikt in de berekeningen van de potentiëlen. Hier zijn de indicatieve getallen gerapporteerd omdat de exacte toekomstige cijfers minder nauwkeurig te voorspellen zijn.

⁵ Stadsverwarmingsinstallaties hebben geen eigen warmtevraag, maar voorzien een deel van de gebouwde omgeving (utiliteit, huishoudens en industrie) met warmte. De productie is daarom gebaseerd op de vraag van deze eindgebruikers.

technologieën zijn projecties van de bestaande potentieelstudie⁶ en data van producenten van deze systemen gebruikt.

2.6 Primaire energiebesparing en CO₂-emissiereductie

De rapportage aan de Europese Commissie moet ook de verwachte primaire energiebesparing en CO₂-emissiereductie van het WKK-potentieel bevatten. De primaire energiebesparing is berekend met de definitie uit Bijlage III van de Europese Richtlijn 2004/8/EC:

$$PES = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_{heat}(CHP)}{\eta_{heat}(REF)} + \frac{\eta_{electr}(CHP)}{\eta_{electr}(REF)}} \right) \times 100\%$$

Waarbij:

- PES : de primaire energiebesparing.
- $\eta_{heat}(CHP)$: het rendement van de warmteproductie van de installatie.
- $\eta_{heat}(REF)$: de referentiewaarde voor het rendement van de warmteproductie.
- $\eta_{electr}(CHP)$: het rendement van de elektriciteitsproductie van de installatie.
- $\eta_{electr}(REF)$: de referentiewaarde voor het rendement van de elektriciteitsproductie.

Deze methode gebruikt andere referentiewaarden dan het Protocol Monitoring Energiebesparing (PME). Het PME vergelijkt WKK met het gemiddelde rendement van de Nederlandse elektriciteitsvoorziening in 1995, terwijl de Europese richtlijn de best beschikbare commerciële elektriciteitscentrale als vergelijking heeft. Hierdoor valt de besparing volgens de Europese Richtlijn lager uit dan volgens de PME methode.

De CO₂-emissiereductie is vervolgens afgeleid van de primaire energiebesparing:

$$CO_2\text{besparing} = PES \times \text{Emissiefactor}(\text{brandstof})$$

Voor de emissiefactoren voor de gebruikte brandstoffen zijn de standaard waarden van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) gebruikt, zoals aangeraden door de Association of Issuing Bodies, waaronder Certiq, bij de toepassing van de Europese Richtlijn voor de berekening van Garanties van Oorsprong voor WKK. Tabel 2.7 toont deze voor de relevante brandstoffen.

Tabel 2.7 *Emissiefactoren en energie-inhoud per brandstof*

Brandstof	Emissiefactor [kg CO ₂ /GJ]	Energie-inhoud
Steenkool	94,6	24,5 MJ/kg
Biomassa en biogas	0	15,1 MJ/kg
Olie	77,4	38,79 MJ/l
Aardgas	56,1	31,65 MJ/m ³
Afval	0	15,1 MJ/kg
Raffinage gas	66,7	21,12 MJ/m ³

⁶ ECOFYS, ECN, Cogen Projects, Gasunie, TNO, CE Delft. Energie- en CO₂-besparingspotentieel van micro-WKK in Nederland (2010 - 2030). Update 2008.

2.7 Gevoeligheidsanalyse en CO₂ prijsscenario's

De projecties zijn uitgevoerd voor verschillende CO₂-prijzen, overeenkomend met de scenario's in Tabel 1.1. Hiervoor heeft ECN de belangrijkste primaire effecten van de CO₂-prijs op verschillende relevante factoren voor de economische exploitatie van WKK geïdentificeerd, en de gevoeligheid getest met het SaveProductie model uit het rekensysteem (Tabel 2.8).

Tabel 2.8 *Invloed van CO₂-prijs op factoren voor WKK-potentieel*

Factor	Effect van stijgende CO ₂ -prijs
Elektriciteitsprijs	Toename
Warmtevraag	Afname
Elektriciteitsvraag	Neutraal
WKK Vermogen	
Industrie	Sterke toename
Energie	Afname
Utiliteit	Toename
Land en tuinbouw	Sterke toename
Huishoudens	Neutraal
Brandstof WKK	
Steenkool	Afname
Olie	Afname
Aardgas	Sterke toename
Duurzaam	Toename

3. Resultaten

3.1 WKK-potentieel

De bijgaande spreadsheets bevatten de volledige resultaten voor het WKK-potentieel, en hier worden alleen de hoofdpunten besproken.

De resultaten geven aan dat vanuit technisch oogpunt maximaal 7,7 GW_e nieuwe WKK aan de bestaande 12,9 GW_e zou kunnen worden toegevoegd in de periode tot 2020, bij een CO₂-prijs van €15 per ton (Tabel 3.1). De CO₂-prijs beïnvloedt dit resultaat alleen door een verandering in warmtevraag - een hogere prijs leidt tot meer besparing en daarom een lagere warmtevraag en minder WKK. De verschillen tussen de scenario's zijn relatief klein.

Tabel 3.1 *Het technisch WKK-potentieel in Nederland*

CO ₂ -prijs scenario [€/t]	2010		2015		2020	
	Modern. [GW _e]	Nieuw [GW _e]	Modern. [GW _e]	Nieuw [GW _e]	Modern. [GW _e]	Nieuw [GW _e]
15 - 15 - 15	0,6	10,5	2,0	7,7	3,8	7,7
15 - 25 - 25	0,6	10,5	2,0	7,4	3,8	7,6
15 - 50 - 50	0,6	10,5	2,0	7,6	3,8	7,5

Het economisch potentieel voor nieuwe WKK is tussen de 2,3 en 3,4 GW_e bovenop het bestaande vermogen in 2020, en varieert meer met de CO₂-prijs (Tabel 3.2, laatste kolom). Een hogere CO₂-prijs resulteert in hogere elektriciteitsprijzen. Dit maakt het voor bedrijven aantrekkelijk om eigen stroom op te wekken met WKK, waardoor het aantal investeringen in de ontwikkeling van nieuwe WKK en de modernisatie van bestaande installaties toeneemt. Een hoge CO₂-prijs is daarom belangrijk voor het realiseren van het bestaande potentieel.

Tabel 3.2 *Het economisch potentieel voor WKK in Nederland*

CO ₂ -prijs scenario [€/t]	2010		2015		2020	
	Modern. [GW _e]	Nieuw [GW _e]	Modern. [GW _e]	Nieuw [GW _e]	Modern. [GW _e]	Nieuw [GW _e]
15 - 15 - 15	0,5	2,0	1,6	2,4	3,0	2,3
15 - 25 - 25	0,5	2,0	1,8	2,2	3,2	2,6
15 - 50 - 50	0,5	2,0	1,9	3,4	3,4	3,4

3.2 Kosten, primaire energiebesparing en CO₂-emissiereductie van het WKK-potentieel

De kosten voor het realiseren van het economisch WKK-potentieel in 2020 zijn geraamd op €3,5 miljard in het scenario met de laagste CO₂-prijs, en op €4,8 miljard in het hoogste CO₂-prijs scenario (Tabel 3.3). In het hoge CO₂-prijs scenario, kan dit aan een primaire energiebesparing van 39 PJ en een CO₂-emissiereductie van 2,2 Mt bijdragen (Tabel 3.4).

Tabel 3.3 *Investeringskosten nodig voor het realiseren van het economisch WKK-potentieel*

CO ₂ -prijs scenario [€/t]	2010 [mld €]	2015 [mld €]	2020 [mld €]
15 - 15 - 15	2,2	3,0	3,5
15 - 25 - 25	2,2	3,8	3,9
15 - 50 - 50	2,2	4,1	4,8

Tabel 3.4 *De primaire energiebesparing (PES) en CO₂-emissiereductie van het economisch WKK-potentieel⁷*

CO ₂ -prijs scenario [€/t]	2010		2015		2020	
	PES [PJ]	Em. red. [Mt CO ₂]	PES [PJ]	Em. red. [Mt CO ₂]	PES [PJ]	Em. red. [Mt CO ₂]
15 - 15 - 15	17	0,7	27	1,5	26	1,5
15 - 25 - 25	17	0,7	20	0,9	30	1,7
15 - 50 - 50	17	0,7	39	2,2	39	2,2

⁷ De PES is berekend volgens de formule van de EU WKK Richtlijn, en daarom lager dan als het Protocol Monitoring Energiebesparing gebruikt was.

4. Kanttekeningen bij de methodologie

4.1 Het rekensysteem voor de nationale energieverkenning

De berekeningen van het rekensysteem voor de nationale energieverkenning analyseren WKK in de context van overige ontwikkelingen in de energiemarkt. Hierdoor wordt rekening gehouden met, bijvoorbeeld, een toename in de elektriciteitsproductie van (nieuwe) kolencentrales en nieuwe gascentrales, en de invloed op elektriciteitsprijzen. Zulke factoren bepalen in werkelijkheid de investeringsbeslissingen van bedrijven, zodat ze zeer relevant zijn voor het bepalen van de economische haalbaarheid. De resultaten van het rekensysteem zijn nationaal geaggregeerd, wat in sommige gevallen kan leiden tot simplificatie voor specifieke technologieën of individuele installaties. Voor micro-WKK, bijvoorbeeld, is het totale effect op de elektriciteitsproductie klein, waardoor het lastig is onderscheid te maken tussen individuele technologieën en toepassingen. ECN heeft oversimplificatie proberen te voorkomen door de resultaten te vergelijken met bestaande potentieelberekeningen en, waar nodig, aan te passen. Gegevens van de ontwikkelaars van WKK-technologieën en analyse van een beperkt aantal individuele installaties zijn ook als validatie gebruikt.

4.2 Hoogrenderende WKK

De Referentieraming 2010 bevat alle installaties die zowel warmte als stroom leveren, maar deze zijn niet volledig hoogrenderend als slechts een deel van de warmte nuttig gebruikt wordt⁸. De potentieelanalyse voor de Europese Commissie beperkt zich echter tot hoogrenderende WKK. In dit onderzoek is daarom de stroomproductie van installaties met onvolledig nuttig warmtegebruik terugschaald tot de productie die als hoogrenderend geldt. De totale elektriciteitsproductie van WKK-centrales kan hierdoor groter uitvallen dan in de resultaten van dit onderzoek.

ECN verwacht dat het aantal WKK-centrales die slechts gedeeltelijk hoogrenderend zijn, zal toenemen door stijgende elektriciteitsprijzen en een groeiend aandeel van onregelbare energiebronnen, zoals windenergie. Hoge elektriciteitsprijzen zijn namelijk een stimulans om de elektriciteitsproductie te vergroten, met een afname van de warmteproductie als gevolg. Een groot aanbod van onregelbare elektriciteit kan tot grotere fluctuaties tussen piek- en dalprijzen leiden. WKK-exploitanten kunnen door deze financiële prikkel de inzet van installaties beperken tot piekuren op de elektriciteitsmarkt, zodat het jaarlijks aantal draaiuren afneemt.

De Referentieraming 2010 en dit onderzoek houden rekening met deze trend, maar voor stadsverwarming leidde dit tot negatieve resultaten, die meer het gevolg zijn van de geaggregeerde benadering van het rekensysteem dan van werkelijke ontwikkelingen. ECN heeft daarom voor stadsverwarming het thermisch vermogen als leidraad gebruikt voor de evaluatie van het economisch potentieel, omdat de nuttige warmtetoepassing van deze installaties (contractueel) vastligt in afspraken met klanten, en daarom bepalend is.

⁸ Deze terugschaling is een direct resultaat van de voorgeschreven methodologie volgens de WKK Richtlijn en de benadering gehanteerd door het CBS.

Referenties

- Boerakker, Y.H.A, M. Menkveld, C.H. Volkers (2007): *Een blik op de toekomst met SAWEC*. ECN. Juli 2007.
- Buck, A. de, *et al.* (2009): *Rentabiliteit van WKK - Second opinion op modelberekening ECN en Ministerie EZ, ten behoeve van de Tweede Kamer*. ECN. September 2009.
- Centraal Bureau voor de Statistiek (2010a). *Productiemiddelen elektriciteit en warmte*. Statline databank. Maart 2010.
- Centraal Bureau voor de Statistiek (2010b): *Duurzame energie productie, verbruik en capaciteit*. Statline databank. Maart 2010.
- Commission of the European Communities (2008): *Commission decision establishing detailed guidelines for the implementation and application of Annex II to Directive 2004/8/EC of the European Parliament and the Council*. 19 November 2008.
- Daniëls, B.W. *et. al.* (2007): *High-efficiency cogeneration in the Netherlands*. ECN. November 2007.
- ECN. *Basislijst WKK*. April 2007 (vertrouwelijke spreadsheet).
- ECN/PBL (2010): *Referentieramingen Energie en Emissies 2010-2020*. ECN en PBL, Petten/Bilthoven, ECN-E-010-004, april 2010 (nog niet gepubliceerd).
- ECOFYS, ECN, Cogen Projects, Gasunie, TNO, CE Delft. *Energie- en CO₂-besparingspotentieel van micro-WKK in Nederland (2010 - 2030)*. Update 2008.
- European Parliament and the Council of the European Union. *Directive 2004/8/EC on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market*. 11 februari 2004.
- Eurostat (2009): International Energy Agency en UN Economic Commission for Europe. *Electricity and Heat Annual Questionnaire 2008 and Historical Revisions*. Juli 2009.
- Jacobs Consultancy (2009): *Techno-economische parameters SDE 2009*. 3 september 2009.
- PriceWaterhouseCoopers. *Het potentieel van WKK in de Chemie • Enquête onder leden van de VNCI*. Mei 2009 (vertrouwelijk).
- Volkers, C.H. *NEV-RekenSysteem. Technische Beschrijving*. ECN. November 2006.
- Wetzels, W. *et al.* *WKK-potentieel in de chemische industrie*. ECN. November 2009 (nog niet gepubliceerd).