

MOGELIJKE EFFECTEN VAN NO_x-BELEID OP HET WARMTEKRACHPOTENTIEEL

**Een analyse van de invloed van bestrijdingskosten op de
rentabiliteit van warmtekracht**

P. Kroon
F.A.M. Rijkers
M. Beeldman

Verantwoording

Dit rapport bevat de resultaten van het project 'Effecten van NO_x-beleid op warmtekracht' dat door ECN Beleidsstudies is uitgevoerd in opdracht van VROM (DGM zaaknummer 99140104). Het project is bij ECN geregistreerd onder een tweetal projectnummer 7.7247 en een aanvullende opdracht onder projectnummer 7.7313.

Abstract

De emission of NO_x is in the Netherlands an important source for acidification and smog. Gas engines are in proportion to fuel consumption a relatively important NO_x-polluter. ECN Policy Studies carried out the present study on the effect of more stringent emission levels on the potential of gas engines in combined heat and power plants (CHP) under a contract of VROM, i.e. the Dutch Ministry of Housing, spatial Planning and Environment.

Common legislation for new gas engines demands 140 g NO_x/GJ fuel consumption (with an efficiency correction). Higher emission levels are allowed if an existing engine has a permit from before 1994. The more stringent emission levels in this study consist of 50 g/GJ for existing gas engines and 25 g/GJ for new gas engines (after 2001). This new legislation for old engines is introduced in phases, so a gas engine facing a new emission level is at least 10 years old.

The calculations of the CHP potential are derived from an economic model based on costs and energy prices. The more stringent emission levels can be met by using exhaust gas cleaning with selective catalytic reduction (SCR). This leads to higher costs and lower investments in new gas engines. Retrofitting of SCR at existing gas engines in combination with costs for major maintenance sometimes leads to unremunerative situations, which results in the engines being closed down. The calculations are executed for two scenarios on the development of energy prices. One scenario is characterised by favourable energy prices for CHP (scenario 'high') and the other scenario is characterised by unfavourable energy prices (scenario 'low').

The calculated emission levels lead to 80% lower NO_x emissions of gas engines in 2010 (from 24-31 kton to 4-7 kton NO_x) compared to the emissions based on business as usual. The corresponding cost per kg NO_x emission prevented is about 2 to 3 €/kg. The CHP potential in MW_e of gas engines was lowered with 13-23% in the model calculations. New engines are most affected. Of the existing gas engines 8% (scenario high) to 20% (scenario low) is shut down. About 3 to 4% of the existing engines (around 60 MW_e) is shut down because they can not meet the demanded emission levels. Yearly costs vary between 30 and 60 mln €. Total investments in SCR are 140 to 300 mln € in the period 2002 and 2010, exclusive an assumed governmental subsidy of 20% of the SCR investment costs. The difference in CHP gas engine capacity between scenario high (around 3000 MW_e) and low (around 2000 MW_e) is much more than the effect of the emission legislation.

If an exemption is made for small existing gas engines (<200 kW_e), the capacity slightly increases, but NO_x emissions increases significantly. An extra governmental subsidy of 20% for investment costs of SCR for small gas engines causes a small increase in total gas engine capacity. If existing gas engines have to meet an emission level of 140 g/GJ NO_x, the NO_x emission is reduced with 35 to 45% in 2010 against relative low cost. Most Dutch gas engines are lean burn and can meet 140 g/GJ with motor management systems. A combination of 140 g/GJ for existing gas engines and 25 g/GJ for new ones (after 2001) reduces extra environmental NO_x costs with around 50%. The NO_x emission in 2010 in this less severe variant is about twice as high.

INHOUD

SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	7
2. HUIDIG GASMOTORPARK	8
2.1 Gegevens van het CBS	8
2.2 Karakteristieken uit het CBS-bestand	8
2.3 Motoren die niet meegenomen zijn in potentieelberekeningen	10
2.4 Vermogen naar beheersvorm	11
2.5 Jaar van vergunning versus ingebruikname	13
2.6 Emissies	13
2.7 Relatie CBS-cijfers en modelresultaten	15
3. ROOKGASREINIGING BIJ GASMOTOREN	16
3.1 Vergelijking met Cogen-studie	16
3.2 Gehanteerde kostencijfers voor de gasmotoren	16
4. SCENARIOKEUZE EN MODELAAKPAK	18
4.1 Scenariokeuze	18
4.2 Aannames en aanpassingen	19
4.3 Invoer bestaande vermogen	20
4.4 Berekeningswijze	21
5. RESULTATEN	22
5.1 Effect op het berekende vermogen in beide scenario's	22
5.2 Rentabiliteitsberekeningen in scenario 'hoog'	23
5.3 Basisresultaten voor het hoge en lage scenario	25
5.4 Gevoeligheidsanalyses	26
5.4.1 Variatie kosten rookgasreiniger	26
5.4.2 Verhouding tussen beheersvormen	27
5.5 Resultaten met de verschillende beleidsopties	28
5.5.1 Maatregelen gericht op bepaalde vermogensklassen	28
5.5.2 Maatregelen met een alternatief emissieniveau	31
5.6 Onzekerheden	34
6. CONCLUSIES	36
ANNEX A OVERZICHTEN UIT HET CBS-BESTAND	38
A.1 Rendementen en WK-verhoudingen	38
A.2 Gegevens per vermogenklasse	38
A.3 Gegevens per bouwjaar	39
ANNEX B EILANDBEDRIJF IN DE GLASTUINBOUW	41
ANNEX C DETAILRESULTATEN	43
C.1 Scenario hoog	43
C.2 Scenario laag	46
REFERENTIES	50

SAMENVATTING

De emissie van NO_x is binnen en buiten Nederland een belangrijke oorzaak voor verzuring en fotochemische luchtverontreiniging. Gasmotoren dragen hier in verhouding met hun brandstofverbruik, relatief veel aan bij. In opdracht van het Ministerie van VROM heeft ECN onderzocht wat het effect is van strengere emissie-eisen op het potentieel van gasmotoren in warmtekrachtinstallaties (WKK).

Als basis voor de berekeningen is uitgegaan van de emissie die bij de huidige wetgeving (140 g NO_x/GJ brandstof met een rendementscorrectie voor nieuwe gasmotoren en een in de tijd variërende norm voor bestaande gasmotoren) zou ontstaan in 2010 en de situatie met een emissie-eis van 25 g/GJ vanaf 2002 voor nieuwe gasmotoren en 50 g/GJ voor bestaande gasmotoren. Voor de emissie-eis van bestaande gasmotoren is een gefaseerde invoering verondersteld waarbij de betreffende gasmotoren, gerekend vanaf de datum van vergunningverlening voor plaatsing, tenminste 10 jaar oud zijn. Ook is het effect onderzocht van subsidiëring en vrijstelling van nieuwe normen voor bepaalde categorieën.

De berekeningen zijn uitgevoerd met een economisch model dat op basis van kosten en energieprijzen het potentieel aan kleinschalige WKK bepaalt. Dit model wordt ook gebruikt bij potentieelstudies voor het ministerie van Economische Zaken, zie bijvoorbeeld (Dril, 1999b). De emissie-eisen maken het noodzakelijk om rookgasreiniging (RGR) toe te passen. Dit leidt tot hogere kosten en daarmee tot minder investeringen in nieuwe gasmotoren. Voor bestaande installaties wordt gekeken of het plaatsten van een RGR nog tot een rendabele installatie leidt. Voor de gegevens van bestaande installaties tot 1997 is gebruik gemaakt van overzichten van het CBS. Voor de ontwikkeling van de energieprijzen is zowel een gunstig (hoog) als een voor WKK ongunstig (laag) scenario gebruikt.

De doorgerekende emissie-eisen leiden, als de eisen van 25 en 50 g/GJ volledig doorgevoerd worden, tot een daling van de emissies in 2010 van ongeveer 80% (zie Tabel S.1). De kosten per vermeden kg NO_x-emissie bedragen gemiddeld 5 tot 7 gld/kg. Het bijbehorend totaal vermogen aan gasmotoren daalt in 2010 met 13 tot 23%. De daling is bij nieuwe installaties het sterkst. Bij bestaande installaties wordt 8% (scenario hoog) tot 20% (scenario laag) uit bedrijf genomen. Ongeveer 3 tot 4% (60 MW_e) wordt hier veroorzaakt door oudere installaties die niet aan de nieuwe eisen kunnen worden aangepast. De rest van de daling hangt vooral samen met kleinere installaties waarvoor de aanpassing niet meer rendabel is. In het scenario laag is de situatie voor WKK het ongunstigst, en heeft de aanscherping van de emissie-eis relatief het grootste effect. De jaarlijkse kosten van de benodigde emissiebeperkende maatregelen bedragen tussen de 70 en 140 miljoen. De totale investeringen in RGR in de periode 2002-2010 bedraagt 300 tot 600 miljoen gulden (exclusief een veronderstelde subsidie van 20%). Er zijn hierin geen kosten verwerkt die samenhangen met het eerder uit bedrijf nemen van bestaande installaties of het niet plaatsen van nieuwe installaties.

Uit de berekeningen blijkt dat de energieprijzen voor nieuwe gasmotoren een veel grotere invloed op het potentieel hebben dan de emissiewetgeving. Dat betekent dat het al dan niet treffen van NO_x-maatregelen slechts in een beperkt aantal gevallen doorslaggevend is voor het wel of niet rendabel zijn van een Gasmotor WKK-installatie. Het vrijstellen van een aantal kleinere bestaande installaties (in plaats van tot 50 kW tot 200 kW) leidt tot een kleine toename van het vermogen en een relatief grote stijging van de NO_x-emissie. Het verder verhogen van deze grens tot 500 kW levert geen betere kosteneffectiviteit in gld/vermeden ton NO_x-emissie op. In het bestaande park blijken kleinere WKK-installaties gemiddeld gezien het oudste te zijn en, samenhangend met de stapsgewijze invoering van emissienormen, de hoogste NO_x-emissie te hebben. Het verstrekken van een extra subsidie van 20% voor het aanpassen van bestaande

installaties <300 kW kost de overheid 12 tot 32 mln gulden (cumulatief). Een aantal kleinere installaties blijft door deze subsidie in bedrijf.

Tabel S.1 *Effect van emissie-eisen op gasmotorpotentieel en NO_x-emissie (incl. niet WKK-gasmotoren)*

Scenario	Hoog (prijzen die gunstig zijn voor WKK)			Laag (prijzen die ongunstig zijn voor WKK)		
	Vermogen [MW _e]	NO _x - emissie [kton]	gld/kg NO _x - vermeden	Vermo- gen [MW _e]	NO _x - emissie [kton]	gld/kg NO _x - vermeden
Vermogen zonder extra emissie-eis	3185	31		2145	24	
Emissie-eis van 50g/GJ bestaand en 25g/GJ nieuw	2760	6,8	6,6	1650	4,3	4,9
„ met vrijstelling bestaande installaties <200 kW	2785	8,8	6,6	1675	5,6	5,1
„ met vrijstelling bestaande installaties <500 kW	2830	16,5	7,3	1885	13,0	5,4
„ met subsidie op bestaande installaties <300 kW	2800	7,1	6,8	1680	4,4	5,1
Emissie-eis 140 g/GJ bestaand en 25 g/GJ nieuw	2850	14,5	4,2	1885	10,6	2,2
Emissie-eis 140 g/GJ bestaand en 140 g/GJ nieuw	3085	19,6	1,9	2025	13,5	1,7

Een variant waarbij alleen een nieuwe emissie-eis van 140 g/GJ voor de oudere bestaande installaties gesteld wordt, leidt tegen relatief geringe kosten tot een daling van de NO_x-emissie met 35 tot 45%. Een variant waarin de 50 g/GJ voor bestaande installaties vervangen is door 140 g/GJ is ongeveer de helft goedkoper in extra milieukosten. De NO_x-emissie in 2010 is in deze minder strenge variant echter wel twee keer zo hoog.

De hier aangegeven resultaten zijn berekend met een veel gebruikt model in een scenariostudie context. De gebruikelijke onzekerheden tussen modelberekeningen en werkelijke ontwikkeling zijn dan ook van toepassing. De onzekerheid in de ontwikkeling van de energieprijzen is vertaalt in het gebruik van een hoog en een laag scenario. Ook is onderzocht in hoeverre een andere verhouding in de beheersvorm (particulier of energiebedrijf) of enigszins andere kosten van de RGR installatie de uitkomsten beïnvloeden. Dit bleek weinig effect te hebben op de uitkomsten.

1. INLEIDING

De groei van warmtekrachtinstallaties (WKK) staat in Nederland onder druk door de liberalisering van de energiemarkt. Aangezien vooral de kleinschalige WKK-installaties (gasmotoren) een belangrijke emissiebron zijn van NO_x , is het voor de formulering van NO_x -reductiebeleid voor gasmotoren belangrijk om te weten hoe het gasmotorpark zich de komende jaren zal ontwikkelen. Berekeningen van ECN voor het ministerie van Economische Zaken (ECN, 1999) naar het effect van liberalisering op het WKK-potentieel laten zien dat gasmotoren, met name de bestaande, een rol kunnen blijven spelen in de toekomstige energiesituatie, mogelijk zelfs een forse groei (verdubbeling). Omdat verwacht wordt dat het huidige NO_x -beleid en de liberalisering niet zullen leiden tot de gewenste reductie van de NO_x -emissie van gasmotoren, wordt er momenteel beleid voorbereid dat moet resulteren in vergaande en kostbare NO_x -reductie-maatregelen (nageschakelde technieken). Voor de onderbouwing en verantwoording van dit beleid is het nodig om te weten wat het effect is op de totale NO_x -emissie en de ontwikkeling van kleinschalige WKK in de toekomst, als gevolg van dit beleid. Doelstelling van dit onderzoek is het genereren van kennis over de aard van het gasmotorpark nu en in de toekomst en het bepalen van het effect hierop van NO_x -maatregelen.

In Hoofdstuk 2 wordt ingegaan op het huidige gasmotorpark (situatie eind 1997). Hiervoor zijn gegevens opgeleverd door het CBS. Aan de hand van deze gegevens kan een schatting gemaakt worden van de NO_x -uitstoot door deze motoren. De rapportage die Cogen in opdracht van VROM heeft opgesteld m.b.t. de rentabiliteit van NO_x -bestrijding vormt een belangrijke input voor deze studie (Cogen, 1999). In Hoofdstuk 3 wordt besproken hoe de rapportage zich verhoudt tot deze studie. In Hoofdstuk 4 worden de scenariotechnische en modelmatige uitgangspunten besproken. In Hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de resultaten van de modelberekeningen. Ook worden hier een aantal varianten en gevoeligheidsanalyses gepresenteerd. Ten slotte volgen in Hoofdstuk 6 de conclusies.

2. HUIDIG GASMOTORPARK

2.1 Gegevens van het CBS

Voor het bestaande gasmotorpark baseert ECN zich op gegevens van het Centraal Bureau voor de statistiek (CBS, 2000). Het betreft hier een overzicht van de situatie in 1997. Meer recentere overzichten waren bij het uitvoeren van dit project nog niet beschikbaar. De overzichten zijn samengesteld met behulp van de database productiemiddelen elektriciteit van de Sector Energie van het CBS. Dit bestand heeft het CBS aangelegd in verband met de toename van het potentieel van WKK-installaties en de sterk toegenomen vraag naar statistische gegevens. Ook is het bestand noodzakelijk voor het samenstellen van de elektriciteitsbalans van Nederland¹ (Kloots, 2000). In de aan ECN beschikbaar gestelde overzichten zijn diverse SBI sectoren bij elkaar genomen. De gehanteerde onderverdeling naar SBI-groep staat in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 *SBI-verdeling waarin het CBS de gegevens heeft opgeleverd*

SBI-codering	Omschrijving sectoren	Kenmerk
SBI 01121 - 05	Agrarische sector vooral glastuinbouw	Glastuinbouw
SBI 11 t/m 37	Industrie	Industrie
SBI 40 t/m 80	Elektriciteitsbedrijven, Zakelijke dienstverlening en Onderwijs	Energie & diensten
SBI 85	Gezondheidszorg en welzijn	Zieken- & verzorgh.
SBI 90	Milieudienstverlening	Milieu & afval
SBI 91 t/m 99	Sport, recreatie en overige dienstverlening, huishoudens	Diensten overig

In installaties zijn gerangschikt naar grootte: <50KW; 50-100 kW; daarna telkens in groepen van 100 kW en de laatste categorie >1000 kW. In elke SBI-groep en elke grootte klasse zijn de gasmotoren gerangschikt naar bouwjaar. In verband met betrouwbaarheid van gegevens (er mogen geen individuele installaties te onderscheiden zijn) zijn soms in het overzicht diverse bouwjaren samengenomen. Per bouwjaar is het aantal installaties, het elektrisch vermogen, de elektriciteitsproductie, de warmteproductie en het brandstofverbruik aangegeven.

2.2 Karakteristieken uit het CBS-bestand

Uit het overzicht van het aantal gasmotoren verdeeld naar de diverse SBI-groepen, blijkt dat veruit de meeste gasmotoren in de glastuinbouw staan (zie Tabel 2.2 en Tabel 2.4) Hierna volgen industrie en gezondheidszorg. In tegenstelling tot het overzicht in de Nationale Energiehuishouding (CBS 1999) zijn de gasmotoren nu toegewezen aan de sector waar de installatie staat en niet naar de sector die de installatie in eigendom heeft (zie Tabel 2.2 en Tabel 2.4).

¹ Het bestand heeft de volgende bronnen: Vanaf 1987 heeft het CBS gebruik mogen maken van uitdraaien van de toenmalige DIR (nu SENTER) van de bij hun binnengekomen subsidieaanvragen betreffende WKK-installaties. Door diverse WKK-installateurs werden referentielijsten verstrekt. Ook werd vakliteratuur geraadpleegd en werd gebruik gemaakt van de referentielijst van Gasunie met aanvragen voor korting op de gasprijs. Daarnaast is informatie van energiedistributiebedrijven verkregen en hebben in 1998 de WKK-installatiebedrijven hun medewerking tijdens een bijeenkomst bij Cogen aan dit project toegezegd. Alle grote installatiebedrijven hebben toen lijsten verstrekt met de tot op dat moment door hen gebouwde WKK-installaties.

Actualisering: Integraal opgenomen in het systeem van energiestatistieken zijn: Alle WKK-installaties in eigendom van energiedistributiebedrijven; Alle industriële WKK-installaties >250 kW_e; Bijna alle WKK-installaties (>250 kW_e) in de overige sectoren exclusief glastuinbouw. Door deze berichtgevers wordt per maand/kwartaal opgave gedaan van de input- en outputgegevens van hun WKK-installatie. Eens per jaar worden de vaste gegevens verstrekt.

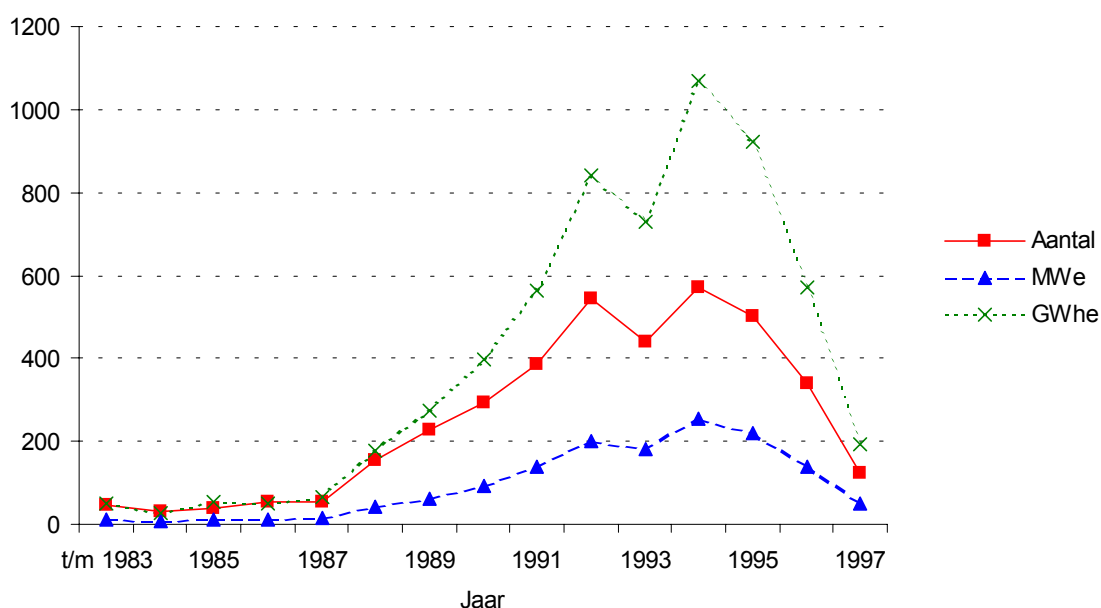
De verstrekte gegevens zijn in ruime mate een voldoende basis om als ophoogkader te fungeren voor de niet waargenomen eenheden (de installaties die er wel zijn, maar die deze specifieke gegevens niet verstrekken). Natuurlijk worden alleen inzet- en productiegegevens opgehoofd.

Het totaal aan gasmotoren en het totale vermogen stemt goed overeen met de energiestatistiek van 1997. Wel moet bij deze vergelijking aangetekend worden dat de diverse sectoren ook warmte van energiebedrijven aangeleverd krijgen die niet met gasmotoren is opgewekt, maar bijvoorbeeld met gasturbine of een STEG-installatie. De verdeling van gasmotoren naar beheersvorm staat in Tabel 2.4.

Tabel 2.2 *Gegevens over gasmotoren per SBI-groep in 1997*

SBI-groep	Aantal		Vermogen		Elektriciteitsproductie	Bedrijfstijd in uren	
		[%]	[MW _e]	[%]	[GWh]		
Glastuinbouw	2241	59	953	66	3919	65	4111
Industrie	103	3	43	3	182	3	4251
Energie & diensten	412	11	146	10	608	10	4156
Zieken- & verzorgh.	573	15	170	12	753	13	4430
Milieu & afval	151	4	43	3	178	3	4173
Diensten overig	324	9	80	6	347	6	4324
Totaal	3804	100	1435	100	5987	100	4171

In Annex A is nog een aantal andere doorsneden gegeven van de CBS-gegevens. Hieruit blijkt bijvoorbeeld dat het elektrisch rendement van bestaande installaties rond de 33% ligt. De kleinere installaties hebben een significant lager rendement dan het gemiddelde. Het gemiddelde voor nieuwe installaties waar ECN mee rekent is 37%. Het totaal rendement ligt zowel bij het CBS als bij ECN rond de 85%.



Figuur 2.1 *Gasmotoren voor WKK in 1997 per jaar in bedrijfstelling*

Van elke SBI-groep zijn de installaties gerangschikt naar bouwjaar en naar vermogensklasse in stappen van 100 kW_e. Uit de overzichten blijkt dat de 10% gasmotoren die kleiner is dan 100 kW_e nog geen 2% van de elektriciteitsproductie voor haar rekening neemt. De gemiddelde bedrijfstijd die het CBS aangeeft blijkt met bijna 4200 vollasturen redelijk onafhankelijk van het vermogen te zijn. Voor 1990 had de gemiddelde nieuwe installatie iets meer dan 250 kW_e vermogen, na 1990 is dit toegenomen tot 400 kW_e.

Het aantal gasmotoren per jaar van ingebruikname staat grafisch weergegeven in Figuur 2.1. Niet opgenomen in deze figuur is het brandstofverbruik. Worden hiervoor gemiddelde elektrische rendementen per grootte klasse, dan blijkt de figuur vrijwel gelijk te lopen met die van de hoeveelheid geproduceerde elektriciteit.

2.3 Motoren die niet meegenomen zijn in potentieelberekeningen

Het bestand van het CBS met WKK-installaties bevat niet alle gasmotoren. Zo wordt in de studie van Van Eck gewezen op een 35-tal stand-alone gasmotoren (Eck, 1996). Deze installaties, totaal 70 MW_e, vallen wel onder het Besluit Emissie Eisen Stookinstallaties (BEES, 1998)². In Tabel 2.3 is hier, mede op basis van informatie van VROM (Kraaij, 2000), een overzicht van gegeven. Op basis van een verondersteld aantal draaiuren is hier een schatting van de NO_x-emissie aan toegevoegd. Het gaat hierbij om installaties bij de Gasunie, NAM, RWZI (waterzuiveringsinstallaties) en de industrie.

Tabel 2.3 *Gasmotoren die buiten beschouwing zijn gebleven*

Doelgroep	Functie	Vermogen [MW _e]	Aantal	Wel of niet BEES	Brandstofverbruik [PJ]	Emissie [g/GJ]	Emissie [kton NO _x]
1. Gasunie	Gascompressie	45	10	Wel	1	250 ³	+ - 0,2
2. NAM, RWZI, industrie	Stand-alone	25	25	Meeste wel	2,2	500 ⁴	+ - 1,1
3a. RWZI, stortplaatsen ⁵	Biogas niet-WKK	40	50	Niet	1,5-2	140-2000	+ - 1
3b. Idem na correctie voor dubbelstellingen	Biogas nog niet opgenomen	+ -10	?	Niet	+ -0,6	500	+ - 0,3
4. Fermentatiegas van RWZI en stortplaatsen	Wel WKK ⁶ SBI 90	43	151	Wel	2,2	412	+ - 0,9
Totaal (schatting)		125	200		6,0	420	2,5
Niet verder meegenomen in dit rapport							
5. Niet in Emissie Registratie	Offshore	15	25	Niet	0,5-1	? veel	0,2- 2

Een probleem met betrekking tot dubbel telling ontstaat bij een aantal motoren die werken op fermentatiegas (biogas, stortgas, gistingsgas etc.). Fermentatiegas wordt in Nederland vooral gewonnen in stortplaatsen waar afval met biomassa resten gestort is en komt vrij bij het vergisten van slib uit afvalwaterzuiveringsinstallaties⁷. Volgens de energiestatistieken van het CBS wordt van de 5 PJ gas die jaarlijks gewonnen wordt (1997), 3,2 ingezet in WKK-installaties, 0,1 voor overige omzettingen en 1,7 voor energetische doelen. Op sommige plaatsen wordt stortgas opgewerkt naar aardgaskwaliteit of als brandstof gebruikt voor industriële ondervuring. De in overzichten van stortgasprojecten genoemde hoeveelheden verklaren grotendeels de 1,7 PJ. Afhankelijk van de situatie en de tijdelijke aspecten van stortgaswinning, kan gaslevering te duur uitvallen. In dat geval wordt het vrijkomende gas op de locatie met gasmotoren (schaal grootte gasmotoren 500 kW_e) omgezet in elektriciteit.

² Zuigermotoren vallen onder het BEES als zij gebruikt worden voor aandrijving van: a) een elektrische generator of gascompressor in een installatie voor warmtekrachtkoppeling of in een warmtepompinstallatie b) een pomp of compressor, die continu wordt gebruikt voor transport of productie van aardgas, welke ontworpen is voor een jaarlijkse bedrijfstijd van ten minste 5000 uur.

³ Bron (Eck, 1996), deze noemt ook een bedrijfstijd van 2000 uur.

⁴ Bron (Eck, 1996), deze noemt ook een bedrijfstijd van 8000 uur en een NO_x-emissie van rond de 1800 g/GJ. Hier is verondersteld dat deze onder invloed van de aanscherping in 2000 daalt naar gemiddeld 500 g/GJ.

⁵ Hier vallen ook installaties onder die alleen elektriciteit produceren.

⁶ Opgave CBS tot en met 1997.

⁷ Door het verminderen van het storten van vergistbaar afval en het introduceren van fosfaatverwijdering bij waterzuiveringsinstallaties (waardoor er minder slib overblijft) zal de beschikbaarheid van fermentatiegas uit de huidige winningsbronnen in de toekomst afnemen. Dit zal tot een teruggang in bestaande installaties leiden. Het is echter ook mogelijk dat er in de toekomst nieuwe bronnen van biogas bijkomen; dit 'biogas' is te maken via vergisting van mest of groente-, fruit- en tuinafval.

Op de stortlocaties is de warmtevraag echter zeer beperkt. Overall wordt nog geen 20% van de beschikbare restwarme van de gasmotoren benut. In sommige gevallen zal hierom gesproken moeten worden van stand-alone, in andere van WKK.

Bij afvalwaterzuiveringsinstallaties komen uit slibgistinginstallaties over het algemeen kleinere hoeveelheden fermentatiegas vrij (schaalgrootte gasmotoren 100 kW). Ook is er zowel warmtevraag (gebouwen, verwarmen slibgistingstank, eventueel slibdroging) als vraag naar kracht (elektriciteit, waterpompen, compressoren voor de lucht van de beluchtinginstallaties). Ook is er de mogelijkheid om een pomp of compressor direct op een gasmotor aan te sluiten (niet eerst elektriciteit te maken) en de optie om de gasmotor ook geschikt te maken om -deels- op aardgas te draaien. In situaties waar elektriciteit geproduceerd wordt, vindt meestal ook een goede benutting van de restwarmte plaats.

In een overzicht van VROM (Kraaij, 2000) wordt een categorie installaties op biogas genoemd die niet onder de BEES (BEES, 1998) zouden vallen van 40 MW_e (50 installaties). Probleem is dat deze installaties bij een normale bedrijfstijd al gauw 2 PJ fermentatiegas als brandstof nodig hebben en deze hoeveelheid is, na aftrek van gebruik in WKK en gebruik als 'aardgas', volgens de statistieken niet beschikbaar. Waarschijnlijk gaat het hier grotendeels om een dubbel telling met reeds genoemde stand-alone gasmotoren en met bij WKK genoemde gasmotoren. Hier zal worden verondersteld dat slechts 25% nog niet ergens anders geteld wordt.

Het grootste deel van de gasmotoren op fermentatiegas is aanwezig in SBI 90. Aangezien de penetratie en het potentieel van deze installaties op een andere manier tot stand komen dan bij aardgas, vooral gekoppeld aan de beschikbaarheid van het gas en veel minder aan marktomstandigheden en overheidsbeleid op het gebied van WKK, zijn alle installaties in SBI 90 in de potentieelberekeningen buiten beschouwing gebleven (zie ook Tabel 2.2). In deze sector is er 2,2 PJ brandstofverbruik (met waarschijnlijk ook nog wat aardgas erbij) en bijna 1 kton NO_x. Het is niet mogelijk om alle installaties op fermentatiegas apart te houden. Van de 3,3 PJ fermentatiegas in WKK wordt zo in ieder geval het grootste deel wel apart gehouden..

Indien er een emissie-eis van 50 g/GJ ingevoerd zou worden voor alle gasmotoren die onder BEES vallen en de vergunningverlener vergelijkbare eisen zou stellen aan gasmotoren (op land) die niet onder de BEES vallen, dan daalt de betreffende emissie in Tabel 2.3 van ongeveer 2,5 kton naar 0,3 kton per jaar. Niet alle motoren zullen echter in staat zijn om aan door toepassing van 'normale' uitlaatgasreiniging aan deze norm te voldoen (zie ook eind van Paragraaf 3.2).

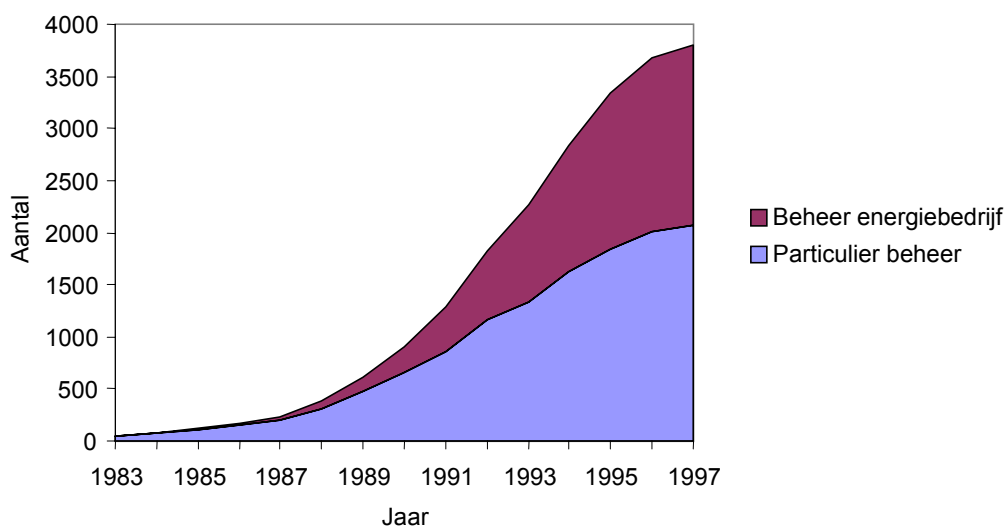
Tenslotte is er de groep off shore gasmotoren. De NO_x-emissie van deze groep kent een grote marge omdat zowel de exacte uitvoering als het aantal bedrijfsuren bij ECN niet bekend zijn. Bij de emissie op zee (offshore) moet bedacht worden dat hiervoor andere vergunningsprocedures zijn. Het is niet zo dat deze automatisch de BEES zullen volgen. Ook moet bedacht worden dat de zeescheepvaart, in het betreffende gebied een veelfout van deze emissie uitstoot. In dit rapport zullen deze emissies verder buiten beschouwing gelaten worden.

2.4 Vermogen naar beheersvorm

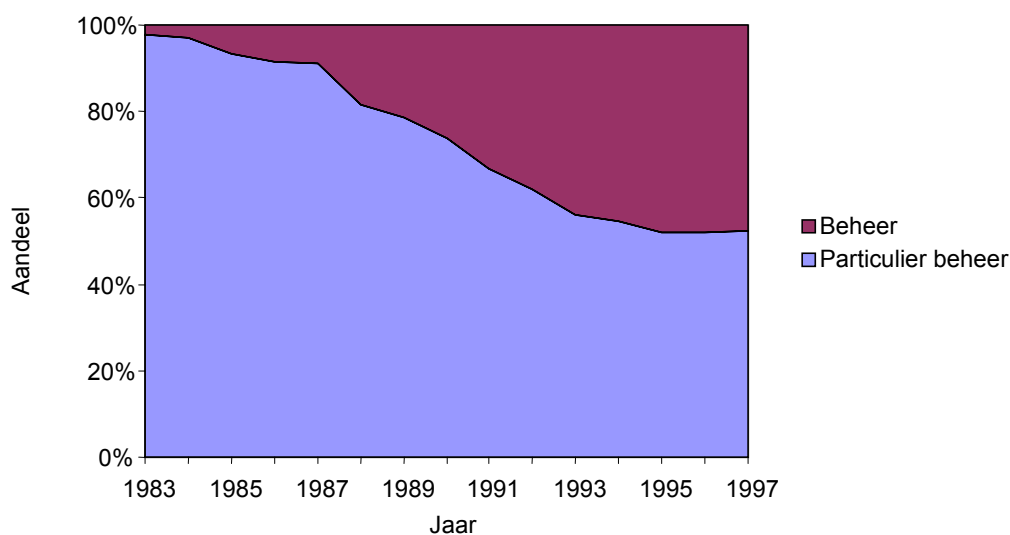
In Tabel 2.4 is de verdeling naar beheersvorm per SBI groep aangegeven. Ongeveer de helft van de gasmotoren is in eigendom van een energiebedrijf. In de loop van de tijd is het aandeel langzaam toegenomen (zie Figuur 2.2 en Figuur 2.3).

Tabel 2.4 *Verdeling gasmotor vermogen naar eigenaar in 1997*

SBI-groep	Particulier beheer				Beheer energiebedrijf				Aandeel beheer energiebedrijf	
	Aantal	[%]	[MW _e]	[%]	Aantal	[%]	[MW _e]	[%]	Aantal [%]	[MW _e]
Glastuinbouw	1234	60	492	66	1007	58	461 ⁸	67	45	48
Industrie	70	3	33	4	33	2	10	1	32	23
Energie & diensten	123	6	47	6	289	17	99	14	70	68
Zieken- & verzorgh.	301	15	93	12	272	16	77	11	47	45
Milieu & afval	134	6	33	4	17	1	10	1	11	23
Diensten overig	205	10	52	7	119	7	28	4	37	35
Totaal	2067	100	750	100	1737	100	685	100	46	48



Figuur 2.2 *Cumulatief aantal gasmotoren per beheersvorm*



Figuur 2.3 *Marktaandeel per beheersvorm (cumulatief)[%]*

⁸ Volgens gegevens van COGEN stond er eind 1997 491 MW_e bij energiebedrijven. Het totaal voor de hele glastuinbouw klopt wel, maar de verdeling naar eigenaar is niet geheel correct. Een deel van het vermogen is ten onrechte bij particulier gerangschikt.

2.5 Jaar van vergunning versus ingebruikname

De emissiewetgeving koppelt de emissie-eis aan het tijdstip waarop de vergunning aangevraagd wordt. Het CBS registreert het jaar van ingebruikstelling. Over het algemeen zal dit later zijn. De cijfers van het CBS kunnen vergeleken worden met een publicatie uit 1993 (Lutz, 1993). In deze publicatie wordt een schatting gegeven van het opgestelde gasmotorvermogen op basis van Novem gegevens. Novem baseerde zich hierbij (zeer waarschijnlijk) op gegevens voor subsidieaanvragen en van fabrikanten. Deze manier van werken levert een actueel beeld van de ontwikkeling op, maar niet van wat daadwerkelijk op een bepaald tijdstip gerealiseerd is (projecten in de 'pijplijn' worden ook meegeteld).

Tabel 2.5 *Vergelijking cumulatief vermogen in MW_e*

Jaar	Cumulatief vermogen volgens CBS (CBS, 2000)	Vermogen per 1 januari volgens Novem (Lutz, 1993)
1987	61	100
1988	102	200
1989	163	350
1990	255	400
1991	392	500
1992	592	650

Tabel 2.5 laat de resultaten van deze vergelijking zien. Tussen de schatting op basis van Novem gegevens (per januari van het jaar) en de CBS cijfers blijkt meer dan een jaar verschil te zitten. Het beeld kan wel wat verstoord worden door installaties die buiten gebruik genomen zijn. Toch kan hieruit geconcludeerd worden dat als jaar voor vergunningaanvraag (gesteld dat deze gelijk is aan het jaar van subsidieaanvraag) toch zeker één jaar eerder dan het jaar van ingebruikname gehanteerd moet worden. Een belangrijke vraag is wat voor een effect dit heeft op de NO_x-uitstoot van deze installaties. Hierbij speelt een tweede effect ook nog een rol. De Nederlandse emissie-eisen hebben tot de introductie van steeds schonere lean-burn gasmotoren geleid. Gezien de motorteknische aanpassingen, uit marketingoogpunt en uit oogpunt van het voorkomen van verkooprisico's (een motor verkopen die uiteindelijk niet geplaatst mag worden) is over het algemeen met het verkooppakket al ingespeeld op komende emissie-eisen. Voor emissieberekeningen zal hier dan ook worden verondersteld dat de gasmotoren op het tijdstip van ingebruikname voldoen aan de op dat moment geldende vergunningseisen voor nieuwe motoren.

2.6 Emissies

Op basis van de CBS cijfers is in Tabel 2.6 de NO_x-emissie van de installaties die in 1997 aanwezig zijn aangegeven. Hierbij is voor de NO_x-emissie de waarde van de norm in 2000 aangehouden zonder rekening te houden met de daarin aanwezige rendementscorrectie⁹. Gekozen is voor het basisjaar 2000 omdat per 1 januari 2000 voor een aantal oudere gasmotoren nieuwe emissie-eisen zijn ingegaan. Wordt naar alle stationaire bronnen gekeken dan blijkt dat deze gasmotoren met ongeveer 2,5% van het brandstofverbruik in 2000 ongeveer 12% van de NO_x-emissie veroorzaken.

⁹ Afhankelijk van het motorrendement valt de emissie-eis hierdoor hoger of lager uit. De in de wet genoemde waarde wordt hiervoor vermenigvuldigd met 1/30 maal het motorrendement.

Tabel 2.6 *Emissie in 2000 van gasmotoren (bouwjaar 1997 en eerder)*

SBI-groep	Vermogen [MW _e]	Brandstofverbruik [PJ]	Gemiddelde emissie [g NO _x /GJ]	NO _x -uitstoot [kton]	[%]
Glastuinbouw	953	42,5	271	11,5	61
Industrie	43	2,2	323	0,7	4
Energie & diensten	146	6,7	327	2,2	12
Zieken- & verzorgh.	170	8,3	300	2,5	13
Milieu & afval	43	2,2	412	0,9	5
Diensten overig	80	3,8	286	1,1	6
Totaal	1435	65,8	286	18,8	100
Aanvulling vanuit Tabel 2.3					
Overige niet CBS ¹⁰	82	3,8	420	1,6	
Totaal incl. niet CBS	1517	69,6		20,4	

Op basis van het door het CBS opgeleverde brandstofverbruik per bouwjaar kan een schatting gemaakt worden van de emissie indien normen van 50 g/GJ voor bestaande gasmotoren zouden worden ingevoerd en dit niet zou leiden tot het uit bedrijf nemen van gasmotoren. Het resultaat hiervan is zichtbaar in Tabel 2.7. Hierbij is ervan uitgegaan dat op het moment van plaatsing aan de dan geldende emissie-eis is voldaan, conform de vorige paragraaf. Voor motoren kleiner dan 50 kW_e en vergund voor 1990 geldt geen eis en wordt hier gerekend met een gemiddelde van 900 g NO_x/GJ.

Indien alle motoren (>50 kW_e) die in 1997 aanwezig zijn in 2010 nog zouden draaien maar dan met een emissie van 50 g/GJ, dan zou de totale NO_x-emissie van bestaande motoren dalen van 18,8 kton in 2000 naar 3,5 kton in 2010. Als ook de overige gasmotoren worden meegenomen is er sprake van een daling van 20,4 naar 3,7. Indien rekening gehouden wordt met de rendementscorrectie in de wetgeving dan zou de NO_x-emissie in 2000 ruim 10% hoger uit kunnen. Voor 2010 is het verschil kleiner aangezien er geen rendementscorrectie in de eis van 50 g/GJ is aangenomen.

De elektriciteitsproductie en het daarmee samenhangende gasverbruik voor kleine gasmotoren (<50 kW_e) blijkt in de CBS gegevens aanzienlijk lager te zijn dan uit een andere studie naar voren komt (Blaay en Boogerd, 1997). Deze studie komt voor het jaar 1994 tot een getal van 570 totaal verkochte motoren en een totaal vermogen van 13 MW_e. Het CBS heeft 157 motoren en 5,1 MW_e. De werkelijke emissie uit deze groep zou dan ook 2 tot 3 keer zo groot kunnen zijn. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat, gezien het type motoren¹¹ waar het hier om gaat, een deel wegens het bereiken van het eind van de technische levensduur uit bedrijf genomen kan zijn. Na een piek in de jaren 80 worden deze motoren de laatste jaren weinig meer verkocht.

¹⁰ De gasmotoren in Milieu&afval (SBI 90) worden in de economische berekeningen buiten beschouwing gelaten, maar komen wel voor in het CBS bestand. Om dubbeltellingen te vermijden worden ze hier niet nog eens opgenomen.

¹¹ Voor kleine gasmotoren wordt vaak als basis een gewone benzine (otto) motor gebruikt. De grotere gasmotoren zijn meestal gebaseerd op zeer robuuste dieselmotoren, die met wat aanpassingen als otto-motor gebruikt kunnen worden. Deze laatste groep motoren heeft aanzienlijk langere technische levensduur.

Tabel 2.7 *NO_x-emissie op 1-1-1998 bestaande gasmotoren na 2008*

Categorie	Brandstof- verbruik [PJ]	Emissie-eis 2000 [g/GJ]	NO _x -emissie in 2000 [kton]	Emissie-eis in 2003-2008 [g/GJ]	NO _x -emissie in 2010 [kton]
Kleiner dan 50 kW _e	0,3	(900 ¹²)	0,2	(900)	0,2
Geplaatst tot 29-5-87	2,5	500	1,2	50	0,1
Geplaatst 29-5-87 tot 1-08-90	8,0	800 ¹²	6,4	50	0,4
Geplaatst 1-08-90 tot 1-1-94	25,2	270 ¹²	6,8	50	1,3
Geplaatst 1-1-94 tot 1-1-98	29,8	140 ¹²	4,2	50	1,5
Totaal	65,7		18,8		3,5
Aanvulling vanuit Tabel 2.3					
Overige niet CBS ¹³	4,1		1,6	Stel 50	0,2
Totaal incl. niet CBS	69,9		20,4		3,7

2.7 Relatie CBS-cijfers en modelresultaten

Het blijkt dat de praktijkrendementen, zoals die uit de CBS gegevens berekend kunnen worden, wat lager liggen dan die voor nieuwe gasmotoren in het model gebruikt worden. Het brandstofverbruik van bestaande installaties wordt in het model uiteindelijk wel met dit hogere rendement berekend. Ook ligt de gemiddelde bedrijfstijd, met name bij kantoren, in het model beneden de cijfers die het CBS rapporteert. De modelresultaten voor bestaande gasmotoren worden in de totaal overzichten van Hoofdstuk 5 voor beide effecten gecorrigeerd. Ook worden in deze overzichten de berekeningsresultaten aangevuld met de gegevens van de 'overige gasmotoren' die niet in het model zijn opgenomen.

¹² Het cijfer hier is een gemiddelde. Per 1 januari 1990 geldt bij vergunningaanvraag voor deze motoren een emissie eis van 800 g/GJ vermenigvuldigd met eendertigste van het motorrendement.

¹³ De gasmotoren in Milieu&afval (SBI 90) worden in de economische berekeningen buiten beschouwing gelaten, maar komen wel voor in het CBS bestand. Om dubbeltellingen te vermijden worden ze hier niet nog eens opgenomen.

3. ROOKGASREINIGING BIJ GASMOTOREN

3.1 Vergelijking met Cogen-studie

Cogen heeft voor het ministerie van VROM een rapportage opgesteld over de kosteneffectiviteit van rookgasreiniging (RGR) middels SCR (selectieve katalytische reductie), toegepast op gasmotoren (Cogen, 1999). Deze studie biedt waardevolle informatie, onder andere met betrekking tot de kosten van dergelijke systemen.

De Cogen-studie en de nu voorliggende ECN-studie zijn gedaan vanuit verschillende doelstellingen. In de studie van Cogen, gaat het er vooral om te beschrijven wat de effecten zijn van rookgasreiniging op installatieniveau, de studie van ECN borduurt daar eigenlijk op voort door uitspraken te doen, over de uiteindelijke gevolgen voor de geprognoseerde rentabiliteit en het aanwezige vermogen. Hieruit wordt vervolgens afgeleid wat de effecten zijn van het gevoerde/te voeren beleid. De kosteneffectiviteit gemeten in f per kg NO_x per installatie speelt hier minder een rol dan in de COGEN-studie terwijl de terugverdientijd en de IRV (interne rentevoet) een veel belangrijker rol spelen. Deze zijn namelijk maatstaven voor de potentiële schattingen. Omdat deze laatste onderdelen ook in de Cogen-studie naar voren komen, is het belangrijk om ook naar de gehanteerde uitgangspunten te kijken. Voor de studie van Cogen zijn de prijzen anno 1999 gehanteerd, terwijl de ECN-studie, analoog aan de studie die voor EZ is uitgevoerd (Dril, 1999a), prijzen en tariefstructuren voor toekomstige jaren hanteert. Gegeven de veranderingen in de energiemarkt zijn deze wijzigingen soms substantieel.

3.2 Gehanteerde kostencijfers voor de gasmotoren

In het ECN-model kan een drietal typen installaties onderscheiden worden:

- gasmotoren in eilandbedrijf (los van het net),
- gasmotoren met netaansluiting,
- nieuwe gasmotoren met een zondanige rookgasreiniging dat het uitlaatgas voor CO₂-dosering kan worden toegepast.

In dit project wordt gerekend aan gasmotoren met een netaansluiting en voor de glastuinbouw met gasmotoren in eilandbedrijf. Aan gasmotoren die tevens gebruikt worden voor CO₂-dosering, volgens Cogen op dit moment een 150 installaties, wordt in dit project niet expliciet gerekend. ECN hanteert voor de installaties gegevens over investeringskosten, variabele kosten en rendementen die ook bij eerdere studies zijn gebruikt (afkomstig van COGEN). Indien geen scherpere NO_x-normstelling wordt doorgevoerd kan met deze cijfers en aannamen voor energieprijzen een schatting van het kleinschalige WKK-potentieel gemaakt worden.

In het kader van dit project is een tweetal sets met extra kostengegevens nodig. Dit betreft de kosten van rookgasreiniging m.b.v. SCR bij nieuwe installaties en de kosten van retrofit van SCR bij bestaande gasmotoren¹⁴. Voor retrofitsituaties zullen de kosten hoger uitvallen dan bij nieuwe installaties.

De kostengegevens voor RGR bij nieuwe installaties liggen hoger dan die in een eerdere studie door van Eck gehanteerd zijn (Eck, 1996). In een rapport voor VROM hanteert COGEN (Cogen 1999) als installatiekosten voor nieuwe installaties 30% van de systeemkosten van een SCR

¹⁴ In situaties met luchtvermaat, zoals dit bij de huidige lean burn gasmotoren het geval is, is het meeste ervaring opgedaan met SCR met ammoniak. Deze techniek is dan ook als kostenindicator gebruikt. Dit sluit niet uit dat er in de toekomst absorptietechnieken op de markt komen of dat aardgas in plaats van ammoniak als reductiemiddel gebruikt gaat worden.

(totale kosten dus 1,3 maal systeemkosten SCR). Voor bestaande gasmotoren wordt voor de installatiekosten 80% van de systeemkosten gehanteerd. Deze percentages zijn ook in dit project aangehouden. De kostengegevens van Cogen zijn gebaseerd op een offertes voor Nederlandse praktijksituaties.

Om het effect van de strengere eis (140 in plaats van 270 g/GJ) op bestaande lean burn motoren te onderzoeken zal een beperkt kostenverhogend effect worden doorgerekend. De door te rekenen kosten hebben betrekking op een drietal aspecten: plaatsing van een motormanagementsysteem, daling van het vermogen van de installatie (hogere afschrijvingskosten per kW_e) en daling van het elektrisch rendement ten gunste van het thermische rendement. Dit laatste zal vertaald worden in hogere variabele kosten. De kosten van plaatsing of aanpassing van een oxidatiekatalysator om de uitstoot van CO of VOS te beperken worden niet meegenomen. Belangrijkste bron van de kostencijfers is het onderzoeksprogramma van de Novem (De Melker, 1989 en 1993). Ten behoeve van het model heeft hierop een bewerking plaatsgevonden.

Tabel 3.1 *Kostengegevens van een gasmotor*

Investeringskosten [gld/ kW _e]					
Vermogen [kW _e]	Zonder RGR	Met RGR	Kosten groot onderhoud	Retrofit lean burn naar 140 [g/GJ]	Retrofit van RGR
45	3468	4537	630	1004	1475
87,5	2774	3486	491	559	977
165	2255	2743	387	330	660
330	1813	2130	299	194	429
920	1208	1373	204	94	227
1840	976	1080	236	63	148

Bedienings- en onderhoudskosten incl. hulpstoffen zoals ureum (NH ₃ bron) [ct/kWh]					
Vermogen [kW _e]	Zonder RGR	Met RGR	Retrofit lean burn naar 140 [g/GJ]		Retrofit van RGR
45	4,5	5,8	0,27		1,3
87,5	2,8	3,8	0,21		1,0
165	1,8	2,5	0,17		0,7
330	1,5	2,0	0,16		0,5
920	1,3	1,7	0,15		0,4
1840	1,3	1,6	0,15		0,3

In de modelberekeningen zijn de kosten voor retrofit van SCR gecombineerd met de kosten van groot onderhoud. Voor deze laatste kosten hanteert COGEN in het VROM-rapport 25% van de investeringskosten. In deze studie is 20 tot 30% gehanteerd. Met het totaal van deze kosten wordt in het model een nieuwe investeringsbeslissing gemaakt; stoppen of doorgaan.

In dit kader moet opgemerkt worden dat een deel van de bestaande gasmotoren niet aan de nieuwe emissie-eis zal kunnen voldoen. Het gaat hier met name om motoren met een oorspronkelijke emissie van 1500 tot 2000 g/GJ. Deze oude Rich Burn motoren zijn middels een zogenaamde geregelde driewegkatalysator (zoals ook bij personenauto's gebruikt wordt) aangepast, om aan de norm van 500 g/GJ te kunnen voldoen. Afgaande op gegevens van Van Eck (Eck, 1996), gaat het hier 25 stuks stand-alone gasmotoren met een vermogen van 25 MW_e (deze zitten niet in het model) en 125 gasmotoren voor WKK-opwekking (30 MW_e). Van Eck noemt voor deze laatste groep een vermogen van 25 MW_e, maar hier is op basis van informatie van VROM 30 MW_e aangehouden. In de berekeningen is verwerkt dat 30 MW_e van de oude WKK-motoren niet aan emissie-eisen die SCR noodzakelijk maken kunnen voldoen en uit bedrijf zullen moeten worden genomen.

4. SCENARIOKEUZE EN MODELAAANPAK

De meest recente schattingen met betrekking tot het warmtekrachtpotentieel zijn gedaan in de studie toekomst warmtekrachtkoppeling die ECN vorig jaar voor het ministerie van Economische Zaken heeft uitgevoerd (Dril, 1999b). In deze toekomstverkenning is gewerkt met twee prijsscenario's en een ontwikkeling van de warmtevraag conform het GC scenario (NEV, 1998). Voor de huidige studie, waarin vooral de effecten van NO_x-bestrijding op het warmtekrachtvermogen in kaart worden gebracht, was in eerste instantie gekozen om slechts één scenario te kiezen als referentie, namelijk het voor gasmotoren meest gunstige. Inmiddels zijn er sinds het uitkomen van de studie voor EZ enkele nieuwe gegevens bekend geworden m.b.t. elektriciteitstarieven (Dril 2000). Vanzelfsprekend zijn de meest recente inzichten in de voorliggende studie verwerkt. De nieuwe gegevens leveren een gunstiger WKK-beeld op. In de loop van het project werd daarom besloten om een bandbreedte voor de prijsontwikkeling te gaan hanteren. Ten slotte zijn aan de hand van de specifieke vraagstelling voor de modellering en de aanpak een aantal veranderingen ten opzichte van de studie voor EZ doorgevoerd. Hieronder wordt op de genoemde onderdelen nader ingegaan.

4.1 Scenariokeuze

Voor deze studie zal gebruik worden gemaakt van de scenario's die zijn opgesteld voor de studie 'Toekomst Warmtekracht'. In deze studie, uitgevoerd voor EZ, zijn twee scenario's opgesteld; het zogenaamde 'hoog' en 'laag' scenario. In 'hoog' is het potentieel voor gasmotoren het grootst, waardoor ook de beleidsopgave het grootst is. Er mag verwacht worden dat zowel de te bereiken reducties als de bijbehorende kosten bij gasmotoren in het lage scenario kleiner zijn.

Uit publicaties van o.a. DTE zijn nieuwe inzichten verkregen omtrent de tarieven voor transport. Deze zijn in dit scenario verwerkt. Deze inzichten hebben hoofdzakelijk betrekking op de hoogte en de structuur van de nettarieven voor elektriciteit. Daarnaast zal ook de (toenemende) regulerende energiebelasting worden verwerkt zoals in het Energierapport van het Ministerie van Economische Zaken is gepubliceerd. Onderstaande tabellen geven de belangrijkste parameters van het gehanteerde scenario's weer. Tabel 4.1 bevat de gegevens betreffende elektriciteit- en gasprijzen van het scenario 'hoog'. De marges hebben betrekking op de periode 1998-2010. Tabel 4.2 bevat dezelfde gegevens van het scenario 'laag'. In de derde tabel (Tabel 4.3) staan gegevens betreffende de geldende nettarieven voor het elektriciteitsnet.

Tabel 4.1 *Belangrijkste parameters in hoog scenario*

Elektriciteit		Plateau	Dal	Eenheid
Marktprijs elektriciteit ¹		9,5-11,1	6,0	[ct/kWh]
Verlaging infrastructuurkosten			0.25	[ct/kWh]
Aandeel in verlaging netverlieskosten			50	[% opbrengst]
Verlaging transportkosten (CPI-x)	x-waarde		1	[%/jr]
Gas				
Stookolieprijs	Variërende P-waarde	242-326		[gld/ton]
Marge distributiebedrijven		20		[%]

¹ Deze prijs is inclusief de 0,33 ct/kWh die de producenten (op het EHS/HS-net) doorrekenen in hun prijzen vanwege hun bijdrage in de netkosten, de verrekening van de kW-prijs (van f100,-/kW) en de stijging in de P-waarde.

Voor de gastarieven wordt uitgegaan van het CDS van Gasunie. Ter indicatie: de P-waarde bedroeg eind November 1999 325 gld/ton, begin 1999 was dat nog 175 gld/ton.

Tabel 4.2 *Belangrijkste parameters in laag scenario*

Elektriciteit		Plateau	Dal	Eenheid
Marktprijs elektriciteit ¹		6,7-7,2	3,6	[ct/kWh]
Verlaging infrastructuurkosten		0		[ct/kWh]
Aandeel in verlaging netverlieskosten		0		[% opbrengst]
Verlaging transportkosten (CPI-x)	x-waarde	2		[%/jr]
Gas				
Stookolieprijs	Variërende P-waarde	216-246		[gld/ton]
Marge distributiebedrijven		20		[%]

Tabel 4.3 *Nettarieven per elektriciteitsnet*

	Vastrecht kW _{gecontracteerd}	kW _{maand}	kWh	Systeemdiensten marktconforme kosten	Niet-
	[f/jaar]	[f/kW/jr]	[f/kW/mnd]	[ct/kWh]	[ct/kWh]
HS ¹⁵	20000	45	4	0,41	0,5
TS	20000	45	4	0,41	0,5
MS	2500	22	2	1,7	0,5
LS	85	10		7,0	0,5

Vergeleken met de tarieven, zoals die zijn gehanteerd voor de EZ-studie is de kWh-component voor laagspanning gestegen, de overige componenten zijn lager geworden. Netto betekent dit dat gemiddeld de kosten afnemen, waardoor warmtekracht financieel aantrekkelijker wordt.

4.2 Aannames en aanpassingen

Voor de uit te voeren berekeningen dient naast de te hanteren scenario's en beleidsopties nog een aantal andere uitgangspunten te worden geformuleerd.

Financieel-economisch

- De afschrijvingsperiode en de exploitatieperiode van een gasmotor wordt op 10 jaar gesteld.
- De rentabiliteit wordt berekend op basis van toekomstige prijzen (voor gas en elektriciteit).
- Het aandeel eigen vermogen versus vreemd vermogen wordt gesteld op 40:60.
- Voor zowel de gasmotor als de rookgasreiniger wordt een investeringssubsidie (t.g.v. de EIA&VAMIL, MIA of EINP¹⁶) van 20% aangenomen. Er is in het kader van dit project niet nagegaan of dit 'subsidiepercentage' in alle gevallen wel bereikt kan worden.

Technisch-modelmatig

- De tijdshorizon loopt tot 2010, vanaf 1997 wordt de situatie in stappen van 1 jaar doorgerekend.
- De technische levensduur van de gasmotor is 30 jaar.
- Na elke periode van 10 jaar is een revisie van de gasmotor noodzakelijk. Informatie over de kosten van revisie is afkomstig van Cogen (Cogen, 1999) en van een grote gasmotor leverancier. In het model wordt elke 10 jaar overwogen of een revisie rendabel is. Zo niet, dan wordt de gasmotor uitgezet. In het geval dat de NO_x-emissie-eisen, zoals vermeld in Tabel 4.4, van kracht zijn, zal tijdens een revisie tevens de investering in een rookgasreiniger worden meegenomen.

¹⁵ In de ECN-rapporten over de toekomst van warmtekrachtkoppeling (Dril, 1999b) en (Dril, 2000) wordt in meer detail op de tarieven ingegaan. HS staat voor hoogspanningnet, TS voor tussenspanningsnet, MS voor middenspanningsnet en LS voor laagspanningnet.

¹⁶ EIA=Energie-investeringsaftrek; VAMIL=Willekeurige Afschrijving Milieu-Investeringen; MIA=Milieu-investeringsaftrek; EINP=Subsidieregeling energievoorzieningen in de non-profit en bijzondere sectoren.

- Als rookgasreiniger (RGR) wordt een SCR-systeem gehanteerd dat alleen dient ter reductie van NO_x.
- In geval dat de emissie-eisen van kracht zijn zal bij de rentabiliteitsberekening van een gasmotor na 2001 altijd de investering in een RGR meegenomen worden.
- Door het aanschaffen van een RGR nemen de totale variabele kosten van het gehele systeem (RGR + gasmotor) toe. Deze variabele kosten hangen alleen af van de grootte van de gasmotor. Als voortijdig een RGR is aangeschaft, zal deze pas in werking worden gesteld op de ingangsdatum van de emissie-eis.

Tabel 4.4 *Maximaal pakket van emissie-eisen voor gasmotoren, zoals verwerkt in het model*

Categorie	Modelcategorie	NO _x -emissie-eis [g/GJ]	Ingangsdatum
<50 kW _e		-	-
Voor 01-08-90	voor 1991	50	2003
01-08-90 tot 01-01-94	1991 tot 1994	50	2004
01-01-94 tot 01-01-98	1994 tot 1998	50	2008
01-01-98 tot 01-01-2002	1998 tot 2002	50	2012
Op of na 01-01-2002	>= 2002	25	2002

4.3 Invoer bestaande vermogen

Het gehanteerde model heeft niet precies dezelfde sectorindeling als het CBS. Een aantal SBI-groepen is voor de modelberekeningen nader uitgesplitst. Allereerst zijn de gasmotoren in de glastuinbouw verdeeld over belichte teelt en niet belichte teelt (zie toelichting in ANNEX B). Voor de belichte teelt worden specifieke berekeningen gedaan met particulier beheer in eilandbedrijf. De groep SBI 40 t/m 80 omvat zowel kantoren als woningen. Verondersteld is dat het WKK-vermogen zoals aangegeven voor woningen (CBS, 1999) volledig uit gasmotoren bestaat. Het resterende vermogen wordt in het model beschouwd als kantoren (zie Tabel 4.5).

Tabel 4.5 *Overgang CBS-cijfers naar bestaand vermogen in model*

SBI-groep	Kenmerk	CBS-vermogen [MW _e]	Sector in model	Modelinvoer [MW _e]
SBI 01121 - 05	Glastuinbouw	953	tuinder overig	603
	„		tuinder belichte teelt	350
SBI 11 t/m 37	Industrie	43	industrie	43
SBI 40 t/m 80	Energie & diensten	146	woningen	42
	„		kantoren	104
SBI 85	Zieken- & verzorgh.	170	ziekenhuizen	147
	„		bejaardenoorden	23
SBI 90	Milieu & afval	43	Weglaten, zie Par. 2.3	
SBI 91 t/m 99	Diensten overig	80	kantoren	80
Totaal		1435		1393

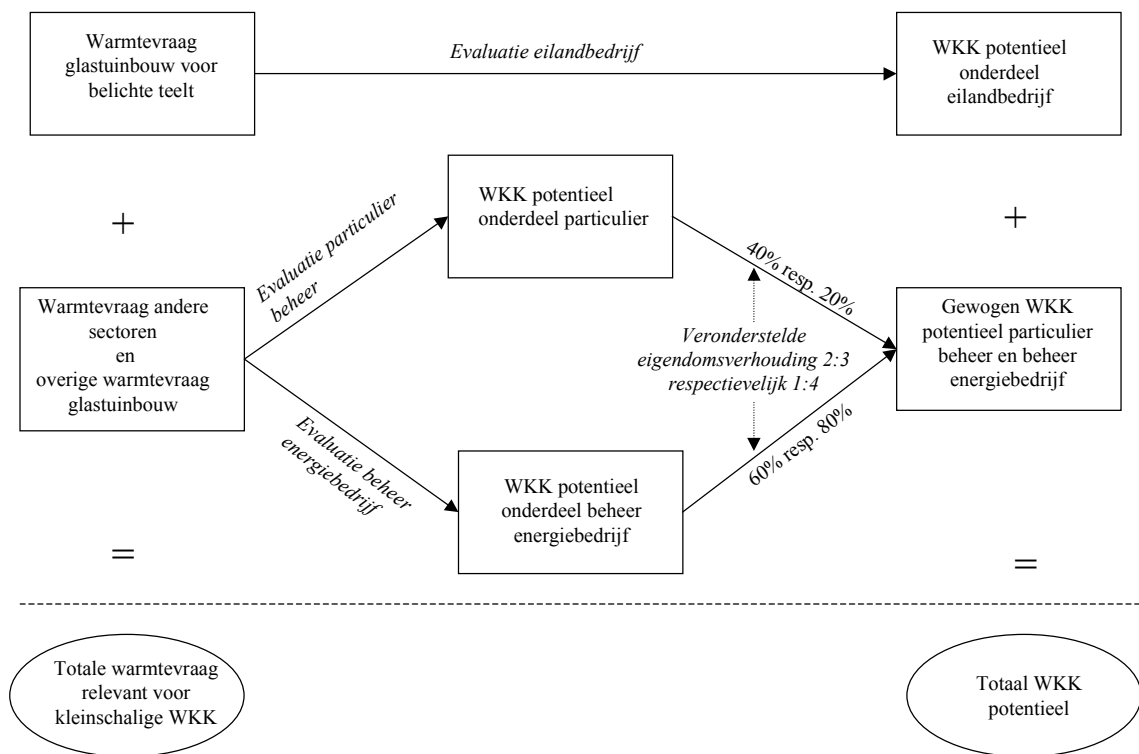
De verdeling van SBI 85 over ziekenhuizen en bejaardenhuizen is gebaseerd op de verdeling van elektriciteitsproductie uit WKK in de Nationale Energie Rekening van 1992. Zoals reeds vermeld in Paragraaf 2.3 is SBI 90 niet in de model potentieel berekeningen meegenomen. Bedacht moet worden dat de gevoeligheid van de resultaten van deze studie, gezien het feit dat het meeste bestaande vermogen gewoon aanwezig blijft, voor de exacte grootte van de gehanteerde verdeling beperkt is.

De verdeelsleutel zoals deze uit het voorgaande naar voren komt is gebruikt voor het verdelen over de in het model opgenomen sectoren van de installaties per bouwjaar en per grootte klasse. Elke sector heeft in het model zijn eigen karakteristieken, waarbij de grootte van de gasmotor

gekoppeld is aan de grootte van de warmtevraag per locatie. Voor elke sector is er ook een specifieke verdeling van de totale warmtevraag over grootte per locatie.

4.4 Berekeningswijze

Een economische evaluatie met het WKK-model van ECN vergt verschillende berekeningslagen (zie Figuur 4.1). Het model rekent in één keer wel alle relevante sectoren en jaren door, maar kan hierbij slechts één beheersvorm meenemen. Tijdens de berekeningen worden de twee beheersvormen daarom separaat doorgerekend. Dit betreft de situatie met beheer door een particulier en de situatie met beheer door een energiebedrijf. Het uiteindelijke potentieel wordt bepaald door een middeling tussen de resultaten uit te voeren. Voor de meeste sectoren wordt een verhouding tussen gasmotoren in particulier beheer en beheer door een energiebedrijf van 2:3 aangehouden. In de glastuinbouw is een verhouding van 1:4 aangenomen. Deze verhoudingen zijn afgeleid uit de recente historische cijfers betreffende beheerstructuur (zie ook Paragraaf 2.4). De situatie voor belichte teelt is echter anders. Hier wordt alleen particulier beheer verondersteld. Voor dit gedeelte van de warmte vraag van de glastuinbouw wordt apart een derde berekening uitgevoerd.



Figuur 4.1 *Potentieelberekening in drie stappen*

Het aldus berekende potentieel wordt hierna opgehoogd met de gasmotoren die niet in het WKK-model zijn opgenomen (zie Paragraaf 2.3).

5. RESULTATEN

5.1 Effect op het berekende vermogen in beide scenario's

In Tabel 5.1 zijn de basisresultaten van de berekeningen, betreffende het vermogen aan gasmotoren, weergegeven voor het jaar 2010. Dit is een resultaat van verschillende berekeningslagen (zie Paragraaf 4.4). De tabel geeft de situatie weer zonder aanscherping van de emissie-eisen en met aanscherping van de emissie-eisen als weergegeven in Tabel 4.4. Het betreft hier uitkomsten bij scenarioaannamen die gunstig zijn voor WKK (scenario 'hoog'). Het blijkt dat het stellen van strengere emissie-eisen een beperkte, maar wel duidelijk zichtbare, invloed heeft op het vermogen aan gasmotoren. De laatste kolom in Tabel 5.1 laat zien dat door het instellen van de verscherpte emissie-eisen het totale vermogen in 2010 ongeveer 13% lager zal uitvallen. Dit verschil tussen de potentiële in de twee situaties 'zonder emissie-eis' en 'met emissie-eis' wordt voor het grootste gedeelte veroorzaakt door minder investeringen in nieuwe gasmotoren. Bij de bestaande gasmotoren vindt de grootste (procentuele) verlaging plaats binnen de kantorensector, dit is duidelijk zichtbaar in het uiteindelijke procentuele verschil (zie Tabel 5.1).

Het installeren van een rookgasreiniger (RGR) tijdens grootonderhoud heeft weliswaar effect op de rentabiliteit van een dergelijke investering, het rendement blijft echter in de meeste gevallen boven de rendementseis liggen. Door de huidige turbulente situatie op de energiemarkt is het investeren in nieuwe gasmotoren per definitie al minder aantrekkelijk geworden. De toename in het investeringsbedrag door de rookgasreiniger maakt het investeren in nieuwe gasmotoren nog minder aantrekkelijk. In een aantal situaties, die juist rond het rendementseis liggen, zorgt dit voor het uitblijven van een investering.

Tabel 5.1 *Effect nieuwe emissie-eisen op het gasmotorvermogen in scenario hoog in 2010*

[MW _e]	Zonder emissie-eis	Met emissie-eis	Vershil	Vershil [%]
Woning	116	95	21	18
Bejaardentehuis	378	283	95	25
Ziekenhuis	521	500	21	4
Kantoor	255	170	85	33
Industrie	558	532	26	5
Tuinder	1232	1077	155	13
TOTAAL	3061	2658	403	13

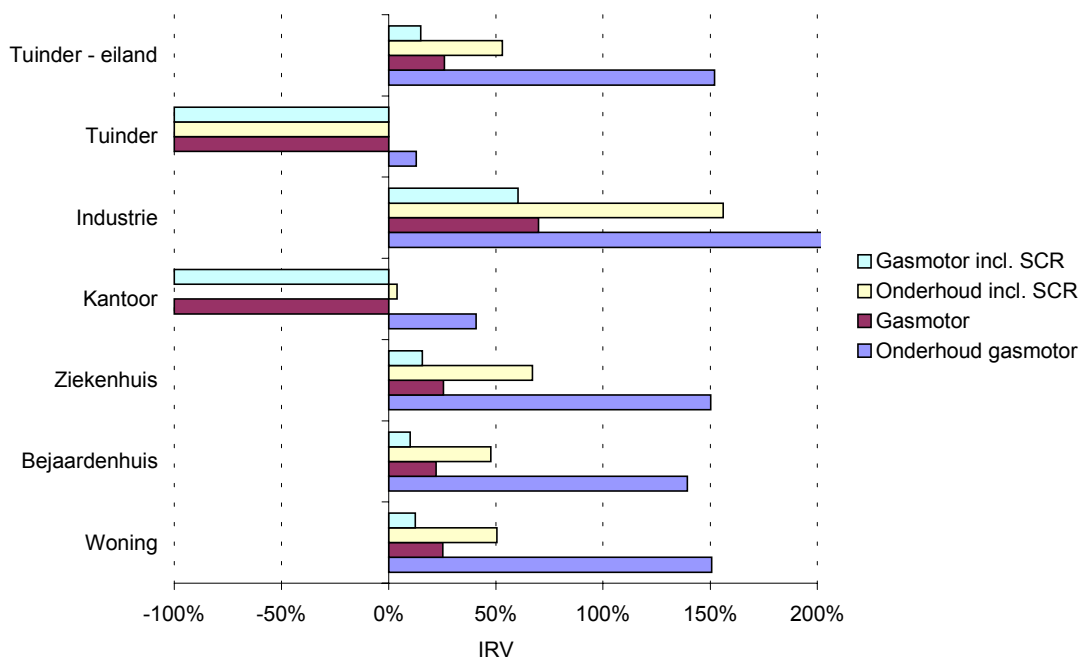
In Tabel 5.2 zijn de resultaten voor het scenario 'laag' weergegeven. Duidelijk is als beide tabellen vergeleken worden dat in een ongunstige situatie voor WKK het effect van de doorgerekende emissie-eisen groter is. In de rapportage is er voor gekozen om bij de gevoeligheidsanalyse en de presentatie van de rentabiliteit alleen het scenario 'hoog' te gebruiken. Voor het doorrekenen van alternatieve beleidsopties is weer wel gebruik gemaakt van beide scenario's.

Tabel 5.2 *Effect nieuwe emissie-eisen op het gasmotorvermogen in scenario laag in 2010*

[MW _e]	Zonder emissie-eis	Met emissie-eis	Vershil	Vershil [%]
Woning	85	55	30	35
Bejaardentehuis	130	83	47	36
Ziekenhuis	286	212	74	26
Kantoor	133	67	66	50
Industrie	411	368	43	11
Tuinder	972	760	213	22
TOTAAL	2018	1545	473	23

5.2 Rentabiliteitsberekeningen in scenario ‘hoog’

De berekening van de toekomstige capaciteit aan gasmotoren is gebaseerd op de rentabiliteiten van de verschillende groottes van gasmotoren in de verschillende sectoren onder de verschillende beheerstructuren. Voordat op de gevoeligheidsanalyse en op de varianten ingegaan wordt zal in deze paragraaf aandacht worden besteed aan deze rentabiliteiten. Figuur 5.1 laat rentabiliteiten zien van investeringen in nieuwe gasmotoren en ook investeringen in bestaande gasmotoren die in het beheer zijn van particulieren waarbij alle elektriciteit zelf geconsumeerd wordt. Gekozen is om per sector de meest gebruikelijke vermogensgrootte weer te geven. Bij kantoren is deze relatief klein; bij industrie relatief groot. De cijfers bij ‘tuinder-eiland’ hebben betrekking op de situatie met belichte teelt. In de figuur wordt onderscheid gemaakt tussen investeringen in grootonderhoud bij bestaande gasmotoren waarbij een RGR¹⁷ wordt ingepast en waarbij geen RGR wordt ingepast. Daarnaast wordt onderscheid gemaakt tussen investeringen in nieuwe gasmotoren met en zonder RGR. Het eerste wat opvalt is de hoge rentabiliteiten behorend bij het onderhoud van gasmotoren (inclusief en exclusief rookgasreiniger). Aangezien de investering voor grootonderhoud relatief laag is vergeleken met de investering die gemoeid is met de aanschaf van een nieuwe gasmotor, vallen deze rentabiliteiten veel hoger uit.



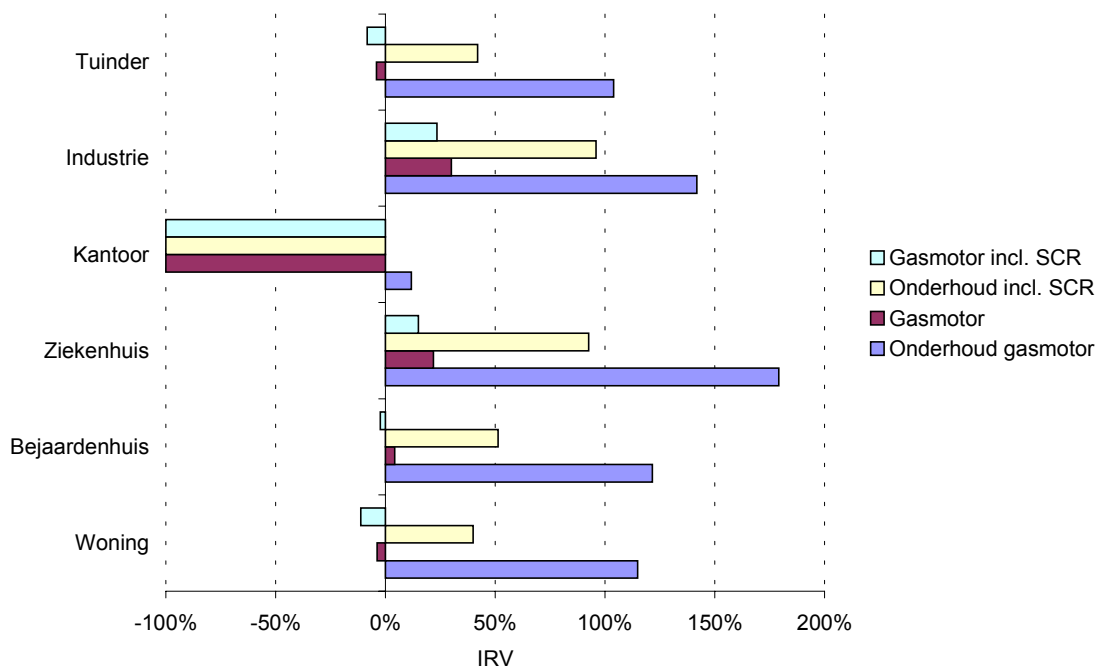
Figuur 5.1 *Voorbeeld rentabiliteit gasmotoren in 2010. Nieuwe motoren met en zonder SCR; bestaande motoren met en zonder bijplaatsing van SCR tijdens groot onderhoud (beheer particulier; 100% eigen gebruik elektriciteit)*

¹⁷ RGR staat voor rookgasreiniging. In deze studie wordt verondersteld dat hiervoor een SCR (selectieve katalytische reductie) installatie in het uitlaatgassysteem van de gasmotor aangebracht wordt.

Uit de figuur is af te leiden dat het inbouwen van een RGR bij bestaande gasmotoren een grote invloed heeft op deze rentabiliteit van het grootonderhoud. De afname in rentabiliteit bij (verplichte) inpassing van een RGR tijdens grootonderhoud, zorgt voor een lager te verwachte potentieel bij invoering van de NO_x-emissie-eisen en dat met name bij installaties die kleiner zijn dan de vermogensgrootte of bij een minder gunstige beheerssituatie dan in de figuur is gebruikt.

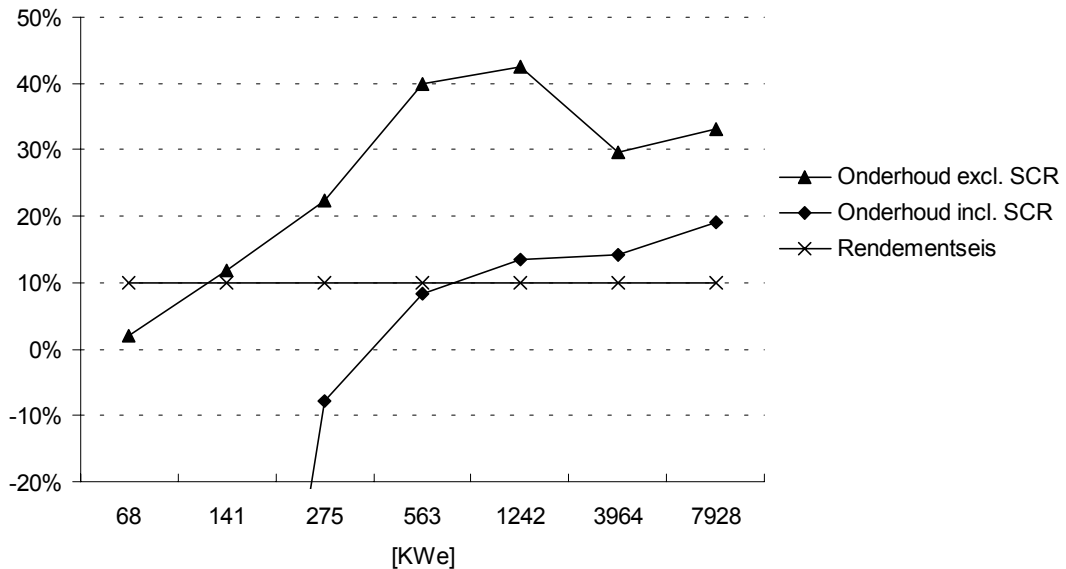
Figuur 5.1 geeft de indruk dat de invloed van de extra investering voor een RGR bij investeringen in nieuwe gasmotoren veel kleiner is. De relatieve dalingen in de rentabiliteiten ten gevolge van een investering in een RGR bij investeringen in nieuwe gasmotoren zijn echter voor bijna alle sectoren groter dan bij bestaande gasmotoren. Dit voldoet ook aan de eerder genoemde conclusie dat de daling in het toekomstig vermogen voor een groot gedeelte komt door minder investeringen in nieuwe gasmotoren. Een negatieve IRV in de figuur duidt er op dat de investering over de levensduur van de gasmotor, bij de gehanteerde veronderstellingen, niet meer terugverdiend wordt.

Uit Figuur 5.2, waarin de rentabiliteiten voor gasmotoren zijn weergegeven in geval de gasmotor onder beheer van het energiebedrijf is, kan dezelfde conclusie getrokken worden. Tevens laat deze figuur zien dat over het algemeen investeringen door energiebedrijven minder aantrekkelijk zijn dan door particulieren. Een belangrijke oorzaak hiervoor is dat de waarde van de geproduceerde elektriciteit voor een particulier hoger is dan voor een energiebedrijf (het energiebedrijf kan deze elektriciteit ook tegen de landelijke marktprijs kopen, de particulier spaart deze marktprijs uit, plus de transportkosten en de eventuele eindverbruikersbelastingen). Er dient opgemerkt te worden dat in de twee verschillende beheerssituaties de dimensionering van de gasmotor verschilt. Zodoende is er verschil in het aandeel van de gasmotor in de piekwarmtevraag van de locatie en hiermee ook in de grootte van de gasmotor. Gasmotoren in beheer van een energiebedrijf zijn hierdoor gemiddeld genomen groter.



Figuur 5.2 *Voorbeeld rentabiliteit gasmotoren in 2010. Nieuwe motoren met en zonder SCR; bestaande motoren met en zonder bijplaatsing van SCR tijdens groot onderhoud (beheer energiebedrijf)*

Figuur 5.1 en Figuur 5.2 laten de rentabiliteiten zien die behoren bij de meest voorkomende debietgroottes in de verschillende sectoren. Gegeven een rentabiliteitseis van ongeveer 10-12% zijn de rentabiliteiten behorend bij grootonderhoud in beide figuren zeer aantrekkelijk, ook in het geval dat er geïnvesteerd moet worden in een RGR. Voornamelijk in de kleinere warmtedebieten zal besloten worden niet meer te investeren in grootonderhoud als daarbij ook een RGR ingepast moet worden. Dit effect is duidelijk te zien in Figuur 5.3.



Figuur 5.3 Voorbeeld effect schaalgrootte in kW_e op rentabiliteit (IRV) van grootonderhoud in de sector 'kantoor' (beheer door energiebedrijf)

Hier is het verloop van de rentabiliteit van grootonderhoud met toenemend elektrisch vermogen weergegeven. Vanaf een vermogen van circa 140 kW_e is het aantrekkelijk te investeren in grootonderhoud van de gasmotor mits niet geïnvesteerd hoeft te worden in een RGR. Worden op korte termijn de emissie-eisen van kracht en dient er dus wel geïnvesteerd te worden in een RGR, dan wordt een investering in grootonderhoud pas overwogen boven een vermogen van ongeveer 560 kW_e. Dit effect, bij vooral de kleinschaligere gasmotoren, heeft zijn weerslag op het potentieel aan gasmotoren. Bij de sector 'kantoren' ligt de bedrijfstijd in het model relatief laag wat ook een negatief effect op de rentabiliteit van de kleinere gasmotoren heeft.

5.3 Basisresultaten voor het hoge en lage scenario

Voor deze studie is gebruik gemaakt van het hoge en het lage scenario zoals deze opgesteld is voor de EZ-studie 'Toekomst Warmtekrachtkoppeling'. In het scenario 'hoog' is het gepresenteerde potentieel voor gasmotoren het grootst is. De te bereiken reducties en de bijbehorende kosten bij gasmotoren zullen zodoende in het lage scenario kleiner zijn. Voor de komende jaren wordt het lage scenario als het meest realistisch beschouwd. Op langere termijn geven beide scenario's samen een bandbreedte aan, die op dit moment realistisch wordt geacht.

In Tabel 4.1 en Tabel 4.2 zijn de belangrijkste parameters voor beide scenario's weergegeven. Tabel 5.3 vergelijkt de resultaten van het 'hoog' scenario met het 'laag' scenario, waarin de energieprijzen voor gasmotoren veel ongunstiger zijn. Ten opzichte van Paragraaf 5.1 zijn nu ook de gasmotoren die niet in het ECN-model zitten meegenomen (zie ook Paragraaf 2.3 en Annex C). Ook heeft er een correctie plaatsgevonden waarmee de modeluitkomsten voor de historische jaren in overeenstemming zijn gebracht met de CBS cijfers. Meer details zijn te vinden in de bijlagen van dit rapport (zie Annex C). In het lage scenario zijn er minder gasmotoren en is er ook een lagere NO_x-uitstoot. Vanzelfsprekend zijn dan ook de kosten voor emissiere-

ductie lager. Wordt gekeken naar het gasmotorpark dan blijkt dat in het hoge scenario veel meer kleinere gasmotoren aanwezig zijn dan in het scenario laag. De kosten voor het reduceren van de emissie zijn bij kleinere installaties hoger dan bij grotere.

Dit heeft tot gevolg dat de specifieke kosten per vermeden kg NO_x in scenario hoog (met veel kleine gasmotoren) hoger zijn dan in het scenario (laag). Per sector zijn er aanzienlijke verschillen in gemiddelde specifieke kosten. Deze hebben vooral te maken met de vermogensopbouw, naar grootte, in de diverse sectoren. In de hier weergegeven kostencijfers voor RGR zit geen subsidie verwerkt. In de modelberekeningen is wel uitgegaan van een investeringssteun (middels VAMIL en EIA) op gasmotor en RGR van totaal 20%.

Tabel 5.3 *Effect nieuwe emissie-eisen op het gasmotorpotentieel in 2010*

	2010 Hoge scenario	2010 Lage scenario	Eenheid
Vermogen zonder extra emissie-eis	3180	2140	[MW _e]
Vermogen met emissie-eis	2760	1650	[MW _e]
Verschil	420	490	[MW _e]
NO _x -emissies zonder extra beleid	31	24	[kton]
Brandstofverbruik zonder extra beleid	144	98	[PJ]
Brandstofverbruik met extra beleid	123	75	[PJ]
Fictieve emissie bij dit verbruik	26,8	18,5	[kton]
Nieuwe NO _x -uitstoot in 2010	6,8	4,3	[kton]
Investeringskosten in SCR	610	320	[mln gld]
Variabele kosten	45	25	[mln gld/jaar]
Totale kosten (7% rente; 10 jaar)	130	70	[mln gld/jaar]
Kosten per kg NO _x (bij toepassing van SCR)	6,6	4,9	[gld/kg]

Voor het buitenwerking stellen van een installatie en het niet aanschaffen van een installatie zijn geen kosten in rekening gebracht. In de betreffende gevallen gaat om installaties met een marginaal bedrijfsresultaat.

5.4 Gevoeligheidsanalyses

Om gevoel te krijgen voor de robuustheid van de modelresultaten zijn er enkele gevoeligheidsanalyses uitgevoerd op relevante input en parameters van het warmtekrachtmodel¹⁸ dat gebruikt is voor voorliggende studie. Hiertoe is in de vorige paragraaf al gevarieerd met het gekozen scenario. In deze paragraaf wordt gekeken naar de kosten van de rookgasreinigers en de verhouding tussen de beheersvormen die gebruikt is bij het bepalen van het uiteindelijk totaal vermogen (zie ook Paragraaf 4.4). De resultaten van deze gevoeligheidsanalyses worden in de volgende subparagrafen gepresenteerd.

5.4.1 Variatie kosten rookgasreiniger

De meest voor de handliggende parameters om een gevoeligheidsanalyse op toe te passen zijn die parameters die voor deze studie als nieuw zijn geïntroduceerd in het warmtekrachtmodel. Ten eerste zijn dit de investeringskosten van de rookgasreiniger (SCR-systeem). Door de investeringskosten van de rookgasreiniger met 20% te verlagen kan de gevoeligheid van de hoogte van deze kosten worden aangegeven. Een gevoeligheidsanalyse op de investeringskosten is onder andere zinvol om na te gaan wat het effect is van de eventuele marge in de gebruikte

¹⁸ Het warmtekrachtmodel gebruikt voor deze studie is het zogenoemde model 'TEPOT' van ECN Beleidsstudies. De gepresenteerde resultaten zijn verkregen met versie 'NO_x¹²'.

kostencijfers van rookgasreinigers. Een verlaging van de investeringskosten geeft het effect weer van eventuele toekomstige kostendaling van rookgasreiniging als gevolg van grootschalige productie.

Een tweede nieuwe ingevoerde parameter zijn de variabele kosten van de rookgasreiniger. Deze variabele kosten zijn afhankelijk van het ureumgebruik, dat vervolgens afhankelijk is van de mate van NO_x-reductie. In het model wordt echter gebruik gemaakt van gemiddelde variabele kosten. Door een variant door te rekenen met sterk verhoogde variabele kosten, uitgaande van een ingaande NO_x-emissie van 800 g/GJ in de SCR installatie en een uitgaande emissie van 50 g/GJ, kan de gevoeligheid van deze kosten worden aangegeven. Afhankelijk van de grootte van de installatie kan dit meer dan een verdubbeling van de variabele kosten betekenen.

In Tabel 5.4 staan de resultaten van beide analyses vergeleken met de basisresultaten, ofwel de resultaten met het hoog scenario zonder aanpassingen van input of parameters. Bij verhoogde variabele kosten van de RGR daalt het toekomstig vermogen aan gasmotoren ongeveer vijf procent meer als gevolg van de verscherpte emissie-eisen. Wederom is het grootste effect zichtbaar in de glastuinbouw en de kantoren. Deze sectoren hadden het al zwaar en blijktbaar heeft elke toename in kosten een duidelijk effect op de rentabiliteit. De extra afname in het vermogen komt voornamelijk doordat meer exploitanten zullen afzien van groot onderhoud (inclusief RGR plaatsing) aan hun bestaande gasmotor.

Tabel 5.4 *Effect van variatie van de variabele kosten en investeringskosten van de rookgasreiniger op het vermogen aan gasmotoren in 2010*

[MW _e]	Met emissie-eis <i>Basisresultaten</i>	Met emissie-eis <i>Verhoogde variabele kosten RGR</i>	Met emissie-eis <i>Verlaging investeringskosten RGR</i>
Woning	95	93	97
Bejaardentehuis	283	279	292
Ziekenhuis	500	500	505
Kantoor	170	139	187
Industrie	532	530	535
Tuinder	1077	977	1091
Totaal	2658	2519	2707

Door een verlaging van de investeringskosten van de rookgasreinigers met 20 procent, neemt het vermogen aan gasmotoren één procent minder af ten gevolge van de verscherpte emissie-eisen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat een kleine afwijking in de kosten van de rookgasreiniger geen grote gevolgen op de resultaten heeft.

5.4.2 Verhouding tussen beheersvormen

Tijdens de berekeningen wordt een tweetal beheersvormen separaat doorgerekend: beheer door een particulier en beheer door een energiebedrijf (zie ook Paragraaf 4.4). Het uiteindelijke potentieel wordt bepaald door een middeling tussen beide resultaten op basis van een verhouding tussen het aandeel particulier en energiebedrijf (en vermeerderd met eilandbedrijf bij belichte teelt in de glastuinbouw in particulier beheer). In de basisresultaten is gebruik gemaakt van een verhouding 2:3 tussen particulier en beheer door een energiebedrijf (meestal een voormalig nutsbedrijf). De resultaten hiervan staan reeds in Tabel 5.1. Om de gevoeligheid van deze aangenomen verhouding te laten zien is ook een middeling met meer en een middeling met minder particulier vermogen uitgevoerd. Tabel 5.5 geeft het toekomstig vermogen in 2010 aan gasmotoren in geval een verhouding 1:1 wordt gebruikt.

Het aandeel van gasmotoren in particulier beheer is door deze verandering toegenomen. Al eerder werd geconcludeerd dat de rentabiliteiten onder particulier beheer over het geheel hoger uit-

vallen dan onder beheer door energiebedrijf (zie Paragraaf 5.2). Als gevolg hiervan valt in de situatie ‘zonder emissie-eis’ het totale ingeschatte vermogen voor 2010 hoger uit. Dit is zichtbaar in de tweede kolom van Tabel 5.5.

Tabel 5.5 *Effect nieuwe emissie-eisen op het vermogen in 2010 op basis van andere verhouding (1:1) tussen particulier beheer en beheer door energiebedrijf, onder het hoge scenario*

[MW _e]	Zonder emissie-eis	Met emissie-eis	Vershil	Vershil [%]
Woning	131	108	24	18
Bejaardentehuis	380	291	89	23
Ziekenhuis	520	501	19	4
Kantoor	275	192	83	30
Industrie	583	559	24	4
Tuinder	1232	1077	155	13
Totaal	3121	2727	394	13

Omdat de rentabiliteit, van zowel nieuwe investeringen als onderhoud, onder particulier beheer hoger is, is ook de daling in het verwachte vermogen ten gevolge van verscherpte emissie-eisen minder sterk.

Tabel 5.6 *Effect nieuwe emissie-eisen op het vermogen in 2010 op basis van andere verhouding (3:7) tussen particulier beheer en beheer door energiebedrijf, onder het hoog scenario*

[MW _e]	Zonder emissie-eis	Met emissie-eis	Vershil	Vershil [%]
Woning	101	83	18	18
Bejaardentehuis	377	276	101	27
Ziekenhuis	522	500	23	4
Kantoor	236	149	87	37
Industrie	533	504	29	5
Tuinder	1232	1077	155	13
Totaal	3002	2589	413	14

De kolom ‘Zonder emissie-eisen’ in Tabel 5.6 laat zien dat een vergroting van het aandeel gasmotoren in beheer door energiebedrijven een verlagend effect heeft op de verwachte capaciteit in 2010. Gezien de resultaten die hiervoor besproken zijn, is dit een logisch resultaat. De procentuele daling in de capaciteit als gevolg van verscherpte emissie-eisen vallen nu juist hoger uit ten opzichte van de basisresultaten. Uit beide tabellen kan geconcludeerd kan worden dat de gekozen middelingverhouding weinig effect heeft op de resultaten.

5.5 Resultaten met de verschillende beleidsopties

5.5.1 Maatregelen gericht op bepaalde vermogensklassen

In de voorgaande paragrafen is aangenomen dat alle installaties, zowel nieuwe als bestaande moeten voldoen aan de verscherpte emissie-eisen (basisresultaten). Alleen installaties kleiner dan 50 kW_e krijgen vrijstelling van deze emissie-eisen. Een drietal beleidsopties, variaties op de basisresultaten, zijn opgesteld en doorgerekend.

De eerste beleidsoptie (optie 1) bestaat uit een vrijstelling van de verscherpte emissie-eisen voor bestaande gasmotoren kleiner dan 200 kW_e. Bij nieuwe installaties blijft deze grens op 50 kW_e staan. De tweede beleidsoptie lijkt hier heel veel op maar legt de grens bij 500 kW_e (optie 2). De

derde beleidsoptie (optie 3) bestaat uit een subsidie à 40%¹⁹ op de investeringskosten van een rookgasreiniger voor bestaande gasmotoren kleiner dan 300 kW_e. Bij nieuwe installaties blijft worden motoren <50 kW_e vrijgesteld en komen de overige motoren niet in aanmerking voor een subsidie op de rookgasreiniger.

De verwachte vermogens aan gasmotoren in de situaties waarin de verscherpte emissie-eisen van kracht zijn zonder beleidsoptie, met optie 1, 2 en 3 staan in Tabel 5.7 en Tabel 5.8.

Tabel 5.7 *Gasmotorvermogen bij beleidsopties 'vermogensklassen' in 2010 onder het hoge scenario*

[MW _e]	Basisresultaten	Optie 1 Geen eis tot 200 kW	Optie 2 Geen eis tot 500 kW	Optie 3 subsidie bij <300 kW
Woning	95	96	95	96
Bejaardentehuis	283	283	281	283
Ziekenhuis	500	501	501	501
Kantoor	170	179	203	184
Industrie	532	531	530	531
Tuinder	1077	1095	1112	1101
Totaal	2658	2684	2722	2696

Tabel 5.8 *Gasmotorvermogen bij beleidsopties 'vermogensklassen' in 2010 onder het lage scenario*

[MW _e]	Basisresultaten	Optie 1 Geen eis tot 200 kW	Optie 2 Geen eis tot 500 kW	Optie 3 subsidie bij <300 kW
Woning	55	57	60	57
Bejaardentehuis	83	85	85	85
Ziekenhuis	212	219	231	225
Kantoor	67	71	92	73
Industrie	368	368	375	368
Tuinder	760	766	933	766
Totaal	1545	1566	1777	1574

Als de totale vermogens van de vier situaties worden vergeleken kan zowel bij het hoge als bij het lage scenario geconcludeerd worden dat de genoemde beleidsopties in de meeste gevallen nauwelijks effect hebben op het verwachte vermogen. Alleen in het lage scenario wordt met het verhogen van de ondergrens voor aanvullende emissie-eisen voor bestaande installaties tot 500 kW een beperkte vermogenswinst geboekt. In de berekeningsresultaten (zowel zonder als met nieuwe emissiewetgeving) bestaat het berekende totaal vermogen voor minder dan 10% uit bestaand vermogen kleiner dan 300 kW_e. Dit verklaart onder andere het marginale effect voor de overige twee opties.

In Tabel 5.9 en Tabel 5. zijn de kerncijfers van de drie beleidsopties gegeven. Hierbij moet opgemerkt worden dat het ECN-model rekent op basis van een energievraag opgedeeld in verschillen in thermische omvang en niet ingedeeld naar gasmotorvermogen. Het verwerken van een eis of subsidie gekoppeld aan een specifiek gasmotorvermogen levert een modeluitkomst met enige onzekerheid op. Kleine verschillen zijn hierdoor minder significant als het aantal decimalen lijkt aan te geven. Dit geldt bijvoorbeeld voor de kosten per kg NO_x in de Basisresultaten vergeleken met beleidsoptie 1. In de tabellen zijn net als bij voorgaande paragrafen enkele correcties verwerkt. Onder andere voor gasmotoren die niet in het ECN-model zijn opgenomen.

¹⁹ Deze 40% subsidie is inclusief subsidie t.g.v. EIA en VAMIL.

In de berekeningen aan de opties is wel verondersteld dat een deel van de gasmotoren, die niet aan de nieuwe eisen zou kunnen voldoen, uit bedrijf genomen wordt. Het gaat hierbij om 30 MW_e rich burn motoren. De berekeningen blijven daardoor vergelijkbaar met de basisresultaten. Indien deze toch zouden blijven staan, neemt de NO_x-emissie toe.

Tabel 5.9 *Effect beleidsopties 'vermogensklassen' in scenario hoog*

	Basis resultaten	Optie 1 Geen eis tot 200 kW	Optie 2 Geen eis tot 500 kW	Optie 3 subsidie bij <300 kW	Eenheid
Vermogen zonder extra emissie-eis	3185	3185	3185	3185	[MW _e]
Vermogen met emissie-eis	2760	2785	2830	2800	[MW _e]
Verschil	425	400	355	385	[MW _e]
NO _x -emissies zonder extra beleid	31	31	31	31	[kton]
Brandstofverbruik zonder extra beleid	144	144	144	144	[PJ]
Brandstofverbruik met extra beleid	123	125	130	126	[PJ]
Fictieve emissie bij dit verbruik	26,8	27,3	28,0	27,4	[kton]
Nieuwe NO _x -uitstoot in 2010	6,8	8,8	16,5	7,1	[kton]
Investerings in SCR	609	562	359	647	[mln gld]
Variabele kosten	45	42	32	46	[mln gld/jaar]
Totale kosten (7% rente 10 jaar)	131	123	83	138	[mln gld/jaar]
Kosten per kg NO _x	6,6	6,6	7,3	6,8	[gld/kg]

Tabel 5.10 *Effect beleidsopties 'vermogensklassen' in scenario laag*

	Basis resultaten	Optie 1 Geen eis tot 200 kW	Optie 2 Geen eis tot 500 kW	Optie 3 subsidie bij <300 kW	Eenheid
Vermogen zonder extra emissie-eis	2145	2145	2145	2145	[MW _e]
Vermogen met emissie-eis	1650	1675	1885	1680	[MW _e]
Verschil	495	470	260	465	[MW _e]
NO _x -emissies zonder extra beleid	24	24	234	24	[kton]
Brandstofverbruik zonder extra beleid	98	98	98	98	[PJ]
Brandstofverbruik met extra beleid	75	77	88	78	[PJ]
Fictieve emissie bij dit verbruik	18,5	18,9	21,8	19,0	[kton]
Nieuwe NO _x -uitstoot in 2010	4,3	5,6	13,0	4,4	[kton]
Investerings in SCR	319	302	201	338	[mln gld]
Variabele kosten	25	24	19	26	[mln gld/jaar]
Totale kosten (7% rente 10 jaar)	70	68	48	74	[mln gld/jaar]
Kosten per kg NO _x	4,9	5,1	5,4	5,1	[gld/kg]

Bij optie 1 worden meer kleine gasmotoren vrijgesteld van strengere eisen. Dit zijn voor een deel gasmotoren die bij normstelling uit bedrijf genomen zouden worden. In de basisresultaten leveren deze motoren ook geen kosten voor RGR op. In deze berekening ook niet. Mede daardoor dalen de kosten per kg NO_x niet significant.

Bij optie 2 worden een grote groep bestaande gasmotoren ontzien bij het stellen van strengere emissie-eisen. De NO_x-emissie valt hierdoor significant hoger uit. Van belang is verder dat de gemiddelde gasmotor voor 1990 beduidend kleiner is als er na (zie ook Annex A). De kleinere bestaande motoren hebben dan ook gemiddeld gezien een ouder bouwjaar dan de grotere. Doordat de emissiewetgeving stapsgewijs strenger is geworden heeft dit tot gevolg dat van de be-

staande gasmotoren de kleinere motoren gemiddeld gezien een hogere NO_x-emissie hebben dan de grotere.

Doordat bij deze optie alleen de grote gasmotoren (>500 kW) extra aanpassingen krijgen en deze gemiddeld gezien niet de hoogste emissie hebben valt de NO_x-reductie enigszins tegen. De kosten per ton NO_x vermeden zijn dan ook hoger dan verwacht.

Bij optie 3 wordt subsidie geven bij kleinere gasmotoren. Bij gasmotoren die anders, als gevolg van de strengere emissie-eisen, uit bedrijf genomen zouden worden, wordt nu toch SCR geplaatst. Aangezien het hier om kleine installaties gaat met relatief hoge SCR kosten stijgen de kosten per vermeden kg NO_x-uitstoot in deze situatie. In de tabel is bij de bepaling van de kosten optie 3 niet de extra subsidie verwerkt. De totale investering in SCR bij bestaande installaties beneden de 300 kW bedraagt ongeveer 158 mln gulden in scenario 'hoog' en 56 mln in scenario 'laag'. Een extra subsidie van 20% (boven op de standaard veronderstelde subsidie van 20%) kost de overheid 12 tot 32 mln gulden over een periode van 10 jaar.

5.5.2 Maatregelen met een alternatief emissieniveau

In de zogenaamde basisresultaten is aangenomen dat alle installaties, zowel nieuwe als bestaande, moeten voldoen aan de verscherpte emissie-eisen van 25 respectievelijk 50 g/GJ. Alleen installaties kleiner dan 50 kW_e krijgen vrijstelling van deze emissie-eisen. In deze paragraaf worden een tweetal alternatieven bekeken. In de eerste beleidsoptie in deze paragraaf (optie 4) wordt de emissie-eis voor bestaande installaties niet aangescherpt tot 50 g/GJ maar slechts tot 140 g/GJ (zie Tabel 5.11). Bij de tweede beleidsoptie in deze paragraaf (optie 5) wordt daarbij ook de emissie-eis voor nieuwe installaties niet aangescherpt. Voor alle installaties geldt dan 140 g/GJ (zie Tabel 5.12).

Bij een gedeelte van het bestaande gasmotorpark wordt verlaging van de NO_x-emissie zonder toepassing van SCR haalbaar geacht. Hierna is onder andere in 1993 een onderzoek uitgevoerd (De Melker BV, 1993). Omdat dit in deze paragraaf relevant is zal eerst nader op de haalbaarheid van de 140 g/GJ ingegaan worden.

De categorie bestaande motoren valt in drie groepen uiteen:

- Allereerst de oude rich burn motoren die veelal middels een geregelde driewegkatalysator per 2000 aan de emissie-eis van 500 g/GJ voldoen. Een norm van 50 g/GJ is voor deze motoren door verouderingsverschijnselen regeltechnisch gezien vrijwel onhaalbaar. Dit geldt echter in mindere mate voor een eis van 140 g/GJ. Door bijvoorbeeld een temperatuurmeting over de katalysator uit te voeren kan een correcte werking van het systeem vastgesteld worden, waarna desgewenst een bijstelling van de regeling plaats kan vinden.
- Een tweede categorie zijn de lean burn motoren die nu aan 270 g/GJ voldoen en die reeds voorzien zijn van een motormanagement systeem (mms) waarmee, door een andere instelling, de emissie voldoende ver teruggebracht kan worden. De andere afstelling zal in veel gevallen tot een daling van het elektrisch rendement met 1 tot 2 procentpunten ten gunste van het thermische rendement leiden. Daarnaast neemt het motorvermogen af (dit leidt tot hogere afschrijvingskosten per kW) en neemt de uitstoot van CO en VOS meestal toe.
- Een derde categorie vormen de lean burn motoren die wel voldoen aan de 270 norm, maar niet met de huidige regeling op 140 g/GJ afgesteld kunnen worden. Bij een deel daarvan kan het probleem opgelost worden door alsnog een motormanagement systeem te plaatsen. Ook hier spelen dan dezelfde zaken als bij de voorgaande groep. Bij een aantal anderen is dit bijvoorbeeld door de technische constructie niet mogelijk en zal een (duurdere) SCR installatie de enige optie zijn.

Er zijn geen gegevens voorhanden over het aantal rich burn motoren dat aan een strengere norm kan voldoen, nog over het aantal lean burn motoren dat niet via een motormanagement systeem aan een strengere norm kan voldoen. Beide groepen zullen het beeld echter niet wezenlijk be-

palen. Ook hebben ze een tegengesteld effect op de uitkomsten van de berekeningen. Met beide effecten zal daarom in de berekeningen geen rekening worden gehouden.

Om het effect van de strengere eis op bestaande motoren te onderzoeken zal een beperkt kostenverhogend effect worden doorgerekend. De door te rekenen kosten hebben betrekking op een drietal aspecten: plaatsing van een motormanagementsysteem, daling van het vermogen van de installatie (hogere afschrijvingskosten per kW_e) en daling van het elektrisch rendement ten gunste van het thermische rendement. Dit laatste is vertaald in hogere variabele kosten. Zie ook paragraaf 3.2. De kosten van plaatsing of aanpassing van een oxidatiekatalysator om de uitstoot van CO of VOS te beperken worden niet meegenomen.

Tabel 5.11 *Door te rekenen emissie-eisen bij beleidsoptie 4 (bestaand 140g/GJ; nieuw 25 g/GJ)*

Categorie	Modelcategorie	NO _x -emissie-eis [g/GJ]	Ingangsdatum
<50 kW _e		-	-
Voor 01-08-90	voor 1991	140 + red. corr	2003
01-08-90 tot 01-01-94	1991 tot 1994	140 + red. corr	2004
01-01-94 tot 31-12-2001	1994 tot 2002	140 + red. corr	huidige wetgeving
Op of na 01-01-2002	>= 2002	25	2002

Tabel 5.12 *Door te rekenen emissie-eisen bij beleidsoptie 5 (bestaand en nieuw 140 g/GJ)*

Categorie	Modelcategorie	NO _x -emissie-eis [g/GJ]	Ingangsdatum
<50 kW _e		-	-
Voor 01-08-90	voor 1991	140 + red. corr	2003
01-08-90 tot 01-01-94	1991 tot 1994	140 + red. corr	2004
01-01-94 en later incl. nieuw	1994 en later	140 + red. corr	huidige wetgeving

De verwachte vermogens aan gasmotoren bij de beide opties staan in Tabel 5.13 en Tabel 5.14. Ter vergelijking zijn ook de vermogens zonder extra emissie-eisen en de basisresultaten opgenomen.

Tabel 5.13 *Gasmotorvermogen bij beleidsopties 'alternatief emissieniveau' in 2010 onder het hoge scenario*

[MW _e]	Geen nieuwe emissie-eisen	Basisresultaten bestaand 50 g/GJ nieuw 25 g/GJ	Optie 4 bestaand naar 140 g/GJ nieuw 25 g/GJ	Optie 5 bestaand 140 g/GJ nieuw 140 g/GJ
Woning	116	95	95	112
Bejaardentehuis	378	283	281	375
Ziekenhuis	521	500	501	519
Kantoor	255	170	224	243
Industrie	558	532	530	553
Tuinder	1232	1077	1109	1175
Totaal	3061	2658	2740	2976

Tabel 5.14 *Gasmotorvermogen bij beleidsopties 'alternatief emissieniveau' in 2010 onder het lage scenario*

[MW _e]	Geen nieuwe emissie-eisen	Basisresultaten bestaand 50 g/GJ nieuw 25 g/GJ	Optie 4 bestaand naar 140 g/GJ nieuw 25 g/GJ	Optie 5 bestaand naar 140 g/GJ nieuw 140 g/GJ
Woning	85	55	61	83
Bejaardentehuis	130	83	86	129
Ziekenhuis	286	212	231	282
Kantoor	133	67	103	108
Industrie	411	368	376	405
Tuinder	972	760	912	943
Totaal	2018	1545	1767	1950

Als de totale vermogens van de vier situaties worden vergeleken kan zowel bij het hoge als bij het lage scenario geconcludeerd worden dat de twee beleidsopties duidelijk tussen de situatie zonder nieuwe emissie-eisen en de referentiesituatie inzitten. Optie 5 laat bij het vergelijken met de situatie zonder nieuwe emissienormen het beperkte effect zien indien alleen voor de (oudere) bestaande installaties de norm naar 140 g/GJ wordt opgeschoven. Een verdere verlaging naar 50 g/GJ blijkt in het lage scenario meer effect te hebben dan in het hoge scenario (dit blijkt uit vergelijking optie 4 en de referentiesituatie). De norm van 25 g/GJ voor nieuwe installaties blijkt in beide scenario's een vergelijkbaar effect te hebben. In Tabel 5.15 en Tabel 5.16 zijn de kerncijfers van de twee beleidsopties gegeven.

Tabel 5.15 *Effect beleidsopties 'alternatief emissieniveau' in scenario hoog*

	Basisresultaten bestaand 50 g/GJ nieuw 25 g/GJ	Optie 4 bestaand naar 140 g/GJ nieuw 25 g/GJ	Optie 5 bestaand naar 140 g/GJ nieuw 140g/GJ	Eenheid
Vermogen zonder extra emissie-eis	3185	3185	3185	[MW _e]
Vermogen met emissie-eis	2760	2850	3085	[MW _e]
Verschil	425	335	100	[MW _e]
NO _x -emissies zonder extra beleid	31	31	31	[kton]
Brandstofverbruik zonder extra beleid	144	144	144	[PJ]
Brandstofverbruik met extra beleid	123	130	137	[PJ]
Fictieve emissie bij dit verbruik	26,8	28,0	29,3	[kton]
Nieuwe NO _x -uitstoot in 2010	6,8	14,5	19,6	[kton]
Investeringen in SCR of mms	609	260	97	[mln gld]
Variabele kosten	45	20	4	[mln gld/jaar]
Totale kosten (7% rente 10 jaar)	131	57	18	[mln gld/jaar]
Kosten per kg NO _x	6,6	4,2	1,9	[gld/kg]

Tabel 5.16 *Effect beleidsopties 'alternatief emissieniveau' in scenario laag*

	Basisresultaten bestaand 50 g/GJ nieuw 25 g/GJ	Optie 4 bestaand naar 140 g/GJ nieuw 25 g/GJ	Optie 5 bestaand naar 140 g/GJ nieuw 140 g/GJ	Eenheid
Vermogen zonder extra emissie-eis	2145	2145	2145	[MW _e]
Vermogen met emissie-eis	1650	1885	2025	[MW _e]
Verschil	495	260	120	[MW _e]
NO _x -emissies zonder extra beleid	24	24	24	[kon]
Brandstofverbruik zonder extra beleid	98	98	98	[PJ]
Brandstofverbruik met extra beleid	75	87	95	[PJ]
Fictieve emissie bij dit verbruik	18,5	21,5	22,5	[kon]
Nieuwe NO _x -uitstoot in 2010	4,3	10,6	13,5	[kon]
Investerings in SCR of mms	319	112	78	[mln gld]
Variabele kosten	25	9	4	[mln gld/jaar]
Totale kosten (7% rente 10 jaar)	70	24	15	[mln gld/jaar]
Kosten per kg NO _x	4,9	2,2	1,7	[gld/kg]

5.6 Onzekerheden

Het gebruiken van een hoog en laag scenario geeft al aan dat met name het potentieel aan nieuwe gasmotoren sterk afhankelijk is van de energieprijzen, die op de geliberaliseerde energiemarkt voor gas en elektriciteit zullen ontstaan. Het aantal nieuwe installaties heeft een belangrijke invloed op de totale kosten (en de variatie daarin). Een substantieel deel van de emissies vindt echter plaats bij bestaande installaties. De bereikte emissiereductie bij deze installaties is in beide situaties substantieel. Zonder extra overheidsbeleid zal de emissie van deze installaties nog lange tijd substantieel hoog blijven.

Voor het berekenen van de NO_x-emissie is uitgegaan van de normen (zonder rendementscorrectie). Bij sommige installaties zal de werkelijke emissie lager zijn, bijvoorbeeld als er dit jaar een goed functionerende geregelde driewegkatalysator is geplaatst (in 2010 is die dan wel 10 jaar oud). In andere situaties zal door het verlopen van instellingen, het gebruik van de installatie in deellast, storingsen of het aanwenden van de ruimte van de rendementscorrectie de werkelijke emissie juist hoger zijn. Gezien meetwaarden uit de praktijk zal de afwijking tussen werkelijke emissie bij het berekende brandstofverbruik en de berekende totale emissie de naar onze inschatting de grootte van 10% hebben.

Bij de berekeningen is gebruik gemaakt van een model waarmee de beslissingen over het al dan niet plaatsen van een gasmotor WKK-systeem gesimuleerd worden. Dit model en de gebruikte invoergegevens hebben natuurlijk hun beperkingen. Het verschil tussen het hoge en het lage scenario geeft aan dat er in de praktijk bij nieuwe installaties een behoorlijk spreiding op kan treden.

Bij bestaande installaties varieert de bedrijfstijd in het model tussen verschillende sectoren meer dan het CBS aangeeft en is het gehanteerde elektrische rendement te hoog als het gaat om bestaande installaties. Voor bestaande installaties, is het effect hiervan op de economische afweging beperkt, maar levert het model wel een te laag brandstofverbruik op. Hiervoor zijn de modeluitkomsten gecorrigeerd.

De kosten voor emissiebeperking zijn afgeleid van Nederlandse praktijkcijfers. Het betreft hier echter wel gemiddelde cijfers. In uitzonderlijke situaties, waarbij plaatsing van de emissiebeperkende techniek erg moeilijk is kunnen de kosten echter soms dubbel zo hoog uitvallen.

Voor bestaande installaties wordt gebruik gemaakt van CBS overzichten. Ten opzichte van een aantal jaren geleden is er nu een beter beeld van het aantal gasmotoren in WKK-installaties. De situatie 1998-2000 wordt bij gebrek aan statistieken met het model berekend. De modelresultaten kloppen vooral voor het scenario laag met berichten uit de markt. Het bij het scenario hoog gebruikte prijsscenario geeft de huidige onzekerheden (die leiden tot een afwachtende houding) niet goed weer. Het is echter zeker niet uitgesloten dat de huidige situatie binnen niet al te lange termijn in gunstige zin verandert, waarmee de ontwikkeling zich meer richting 'hoog' zal bewegen.

Een aantal gasmotoren wordt niet gebruikt in een WKK-installatie. Delen van deze groep kenmerken zich door enigszins grotere onzekerheden. Wel kan vastgesteld worden dat het hier om een groep van beperkte omvang gaat (5%), die de resultaten van dit rapport slechts zeer beperkt beïnvloed. Op basis van beschikbare gegevens is een zo goed mogelijke inschatting gemaakt van deze groep gasmotoren.

6. CONCLUSIES

Het stellen van een emissie-eis voor gasmotoren van 25 g NO_x/GJ voor nieuwe installaties en 50 g NO_x/GJ voor bestaande installaties leidt tot een daling van de emissies in 2010 met ongeveer 80%. De kosten per kg NO_x-emissie vermeden bedragen 5 tot 7 gld/kg²⁰ (zie Tabel 6.1). Hierbij is verondersteld dat voor installaties <50 kW en bestaande installaties die niet onder de BEES vallen de emissie-eis niet verandert.

Door het stellen van de emissie-eis aan bestaande installaties wordt 8% (scenario hoog) tot 20% (scenario laag) uit bedrijf genomen. Ongeveer 3 tot 4% (60 MW_e) hiervan zijn oudere installaties die niet aan de nieuwe eisen kunnen worden aangepast. De rest van de daling hangt samen met vooral kleinere installaties waarvoor de aanpassing niet meer rendabel is.

Uit het verschil tussen het scenario hoog en laag blijkt dat de energieprijzen voor nieuwe gasmotoren een veel grotere invloed op het potentieel hebben dan de emissiewetgeving. Voor bestaande installaties leidt het stellen van emissie-eisen er toe, dat vooral kleinere installaties uit bedrijf genomen worden. Het relatieve effect van de doorgerekende emissie-eisen op het potentieel van bestaande installaties is kleiner dan het effect op nieuwe installaties.

De jaarlijkse kosten van de benodigde emissiebeperkende maatregelen bedragen tussen de 70 en 140 mln. De totale investeringen in de periode 2002-2010 bedragen 300 tot 600 mln gld (excl. een aangenomen subsidie van 20%). Een effect van emissie-eisen is het uit bedrijf nemen van bestaande installaties of het niet plaatsen van nieuwe installaties. Hiervoor zijn geen kosten opgevoerd. Hierbij kan worden opgemerkt dat de bestaande installaties op het moment van aanpassing economisch afgeschreven zijn. Dit wil niet zeggen dat ze dat in technisch opzicht ook zijn.

Het vrijstellen van een aantal kleinere bestaande installaties (in plaats van tot 50 tot 200 kW) leidt tot een kleine toename van het vermogen en een relatief grote stijging van de NO_x-emissie. Omdat door de parkopbouw juist de kleinere bestaande installaties gemiddeld het oudste zijn en de hoogste emissie hebben levert het verder optrekken van deze grens tot 500 kW om redenen van kosteneffectiviteit geen gunstiger beeld op. Het verstrekken van een subsidie van 20% voor het aanpassen van bestaande installaties <300 kW kost de overheid 12 tot 32 mln gulden (cumulatief). Een aantal kleinere installaties blijft door deze subsidie in bedrijf.

Het stellen van een emissie-eis van 140 g/GJ aan alle bestaande installaties leidt, tegen relatief geringe kosten, tot een daling van de NO_x-emissie met 35 tot 45%. Een emissie voorstel waarin de 50 g/GJ voor bestaande installaties vervangen is door 140 g/GJ en 25 g/GJ voor nieuwe installaties wel blijft staan, is ongeveer de helft goedkoper in extra milieukosten. De NO_x-emissie in 2010 is in deze minder strenge variant echter wel twee keer zo hoog.

²⁰ Er zijn geen kosten meegenomen voor het uit bedrijf nemen van oude gasmotoren, waarvoor aanpassing te duur uit zou vallen of het niet bouwen van bepaalde nieuwe installaties.

Tabel 6.1 *Effect van emissie-eisen op gasmotor potentieel en NO_x-emissie (incl. niet WKK-gasmotoren)*

Scenario	Eenheid	Hoog (prijzen die gunstig zijn voor WKK)	Laag (prijzen die ongunstig zijn voor WKK)
Bij huidige emissie-eis			
Vermogen zonder extra emissie-eis	[MW _e]	3185	2145
NO _x -emissies	[kton]	31	24
Emissie-eis van respectievelijk 50 en 25 g/GJ			
Vermogen met extra emissie-eis	[MW _e]	2760 (-13%)	1650 (-23%)
NO _x -emissies met extra emissie-eis ²¹	[kton]	6,8 (-78%)	4,3 (-82%)
Kosten per kg NO _x -uitstoot vermeden	[gld/kg]	6,6	4,9
Variant vrijstelling installaties <200 kW			
Vermogen met extra emissie-eis	[MW _e]	2785 (-13%)	1675 (-22%)
NO _x -emissies met extra emissie-eis	[kton]	8,8 (-71%)	5,6 (-77%)
Kosten per kg NO _x -uitstoot vermeden	[gld/kg]	6,6	5,1
Variant vrijstelling installaties <500 kW			
Vermogen met extra emissie-eis	[MW _e]	2830 (-11%)	1885 (-12%)
NO _x -emissies met extra emissie-eis	[kton]	16,5 (-46%)	13,0 (-46%)
Kosten per kg NO _x -uitstoot vermeden	[gld/kg]	7,3	5,4
Variant subsidie op installaties <300 kW			
Vermogen met extra emissie-eis	[MW _e]	2800 (-12%)	1680 (-22%)
NO _x -emissies met extra emissie-eis	[kton]	7,1 (-77%)	4,4 (-82%)
Kosten per kg NO _x -uitstoot vermeden	[gld/kg]	6,8	5,1
Variant emissie eis 140 g/GJ bestaand en 25 g/GJ nieuw			
Vermogen met extra emissie-eis	[MW _e]	2850 (-11%)	1885 (-12%)
NO _x -emissies met extra emissie-eis	[kton]	14,5 (-53%)	10,6 (-56%)
Kosten per kg NO _x -uitstoot vermeden	[gld/kg]	4,2	2,2
Variant alleen emissie eis 140 g/GJ bestaand			
Vermogen met extra emissie-eis	[MW _e]	3085 (-11%)	2025 (-6%)
NO _x -emissies met extra emissie-eis	[kton]	19,6 (-36%)	13,5 (-44%)
Kosten per kg NO _x -uitstoot vermeden	[gld/kg]	1,9	1,7

Het stellen van strengere emissie-eisen dan nu gelden zal er toe leiden dat in 2010 in een aantal situaties geen WKK meer toegepast zal worden terwijl dit momenteel met de huidige energieprijzen wel rendabel is. Het gaat hierbij met name om het marktsegment van kleinere gasmotoren, dat wat rentabiliteit betreft ook nog eens het meest gevoelig is voor schommelingen in de energieprijzen. Er zijn op dit moment geen voldoende bewezen technieken op de markt beschikbaar (zoals kleine gasturbines, brandstofcellen, stirlingmotoren), die op een schone en economische manier dit ‘gat in de markt’ op kunnen vullen. Het stellen van strengere emissie-eisen kan er toe leiden dat de marktontwikkeling van deze technieken gestimuleerd wordt en dat er na 2010 ruimte is voor daadwerkelijke marktpenetratie. Deze ruimte wordt in 2010 dan niet in beslag genomen door gasmotoren met nog een lange technische levensduur en een op dat moment verouderde techniek. Aan de andere kant zal het gasverbruik in Nederland in 2010, door de lagere inzet van WKK bij de hier doorgerekende emissie-eisen, ongeveer 4 PJ hoger uitvallen. Dit is equivalent met 0,2 Mton extra CO₂-uitstoot²².

²¹ Bedacht moet worden dat door het gedaalde WKK-vermogen op een andere plaats meer elektriciteit en warmte geproduceerd moet worden. De NO_x-emissie die hierdoor ontstaat wordt varieert tussen 0,5 en ruim 1 kton en is vooral afhankelijk van de specifieke emissie van elektriciteitscentrales en ketels.

²² Een vraag die zich voordoet is of deze extra CO₂-uitstoot opweegt tegen de bereikte NO_x-reductie. Wordt hierbij gekeken naar wat men ongeveer voor emissiebeperking uit wil geven (5 tot 10 gld/kg bij NO_x en stel bijvoorbeeld 50 tot 100 gld/ton voor CO₂) dan blijkt dat dit niet het geval is: de extra CO₂-reductie ‘kost’ slechts 20% van wat de NO_x-reductie ‘oplevert’. Hierbij moet wel aangevuld worden dat er voor dit type afwegingen geen algemeen geaccepteerde methode is en dat er heel wat haken en ogen aan zitten, zie bijvoorbeeld (Kroon, 1994).

ANNEX A OVERZICHTEN UIT HET CBS-BESTAND

A.1 Rendementen en WK-verhoudingen

In deze Annex worden nog een aantal overzichten uit het CBS (CBS, 2000) nader toegelicht. Allereerst zijn in Tabel A.1 per SBI-groep, energetische gegevens opgenomen. De gasmotoren staan hier bij de sector die de warmte afneemt. Het gemiddelde elektrische rendement blijkt rond de 33% te liggen en het totaal rendement rond de 84%.

Tabel A.1 *Energetische gegevens over gasmotoren per SBI-groep in 1997*

SBI-groep	Elektriciteits- productie [PJ]	Warmte- productie [PJ]	Gasverbruik [PJ]	Elektrisch rendement [%]	Totaal rendement [%]	W/k verhouding
Glastuinbouw	14,1	21,9	42,5	33,2	84,7	1,55
Industrie	0,7	1,2	2,2	30,2	84,4	1,80
Energie & diensten	2,2	3,4	6,7	32,5	83,2	1,56
Zieken- & verzorgh.	2,7	4,2	8,3	32,5	83,2	1,56
Milieu & afval	0,6	1,1	2,2	29,3	80,5	1,75
Diensten overig	1,2	2,0	3,8	32,5	84,9	1,61
Totaal	21,6	33,8	65,8	32,8	84,2	1,57

A.2 Gegevens per vermogensklasse

Tabel A.2 *Gegevens over gasmotoren per vermogensklasse in 1997*

Vermogensklasse [kW _e]	Aantal [%]	Vermogen [MW _e]		Elektriciteitsproductie [GWh]		Bedrijfstijd in uren	
		[MW _e]	[%]	[GWh]	[%]		
0-50	157	4	5	0	19	0,3	3717
50-100	226	6	19	1	81	1,3	4271
100-200	665	17	109	8	504	8,4	4613
200-300	418	11	112	8	531	8,9	4757
300-400	1071	28	350	24	1367	22,8	3910
400-500	350	9	158	11	619	10,3	3918
500-600	332	9	175	12	683	11,4	3910
600-700	257	7	160	11	756	12,6	4708
700-800	61	2	45	3	197	3,3	4387
800-900	55	1	46	3	194	3,2	4259
900-1000	73	2	68	5	286	4,8	4209
>1000	139	4	189	13	750	12,5	3965
Totaal	3804	100	1435	100	5987	100	4171

Van elke SBI-groep zijn de installaties gerangschikt naar bouwjaar en naar vermogensklasse in stappen van 100 kW_e. De sector van 0-100 kW_e is hierbij in groter en kleiner dan 50 kW_e gesplitst en ook de installaties groter dan 1000 kW_e zijn bij elkaar opgeteld. Een overzicht van de gasmotoren naar grootteklasse staat in Tabel A.2. Uit dit overzicht blijkt dat de 10% gasmotoren die kleiner is dan 100 kW_e nog geen 2% van de elektriciteitsproductie voor haar rekening neemt. De bedrijfstijd die het CBS aangeeft blijkt redelijk onafhankelijk van het vermogen te zijn. Hierbij moet opgemerkt worden dat deze gebaseerd is op enquêtes bij een deel van de installaties. In verband met betrouwbaarheid van gegevens (er mogen geen individuele installaties te onderscheiden zijn) zijn soms in het CBS overzicht diverse bouwjaren samengenomen.

In Tabel A.3 zijn energetische gegevens per vermogensklasse weergegeven. Duidelijk zichtbaar is de toename van het elektrisch rendement als de gasmotoren groter worden. Ook blijkt de warmtekracht verhouding af te nemen met een toenemend elektrisch vermogen.

Tabel A.3 *Energetische gegevens over gasmotoren per SBI-groep in 1997*

Vermogensklasse [kW _e]	Elektriciteit productie [PJ]	Warmte productie [PJ]	Gasverbruik [PJ]	Elektrisch rendement [%]	Totaal rendement [%]	W/k verhouding
0-50	0,1	0,1	0,3	25,9	75,7	1,92
50-100	0,3	0,5	1,0	29,7	78,3	1,64
100-200	1,8	3,2	5,8	31,2	85,8	1,75
200-300	1,9	3,1	6,1	31,3	82,0	1,62
300-400	4,9	7,7	14,6	33,6	86,5	1,57
400-500	2,2	3,4	6,8	32,8	83,5	1,54
500-600	2,5	4,0	7,7	31,8	83,0	1,61
600-700	2,7	4,6	8,5	32,1	85,8	1,68
700-800	0,7	1,0	2,1	34,2	84,9	1,48
800-900	0,7	1,1	2,2	32,5	85,7	1,64
900-1000	1,0	1,5	3,1	32,8	81,7	1,49
>1000	2,7	3,5	7,6	35,7	82,0	1,29
Totaal	21,6	33,8	65,8	32,8	84,2	1,57

A.3 Gegevens per bouwjaar

Tabel A.4 *Gegevens over gasmotoren per bouwjaar in 1997*

Jaar ingebruikname	Aantal	Vermogen	Elektriciteitsproductie
	[%]	[MW _e]	[GWh]
		[%]	[%]
t/m 1983	47	1	51
1984	29	1	27
1985	40	1	53
1986	56	1	49
1987	53	1	64
1988	154	4	178
1989	227	6	273
1990	293	8	398
1991	384	10	565
1992	546	14	840
1993	442	12	730
1994	571	15	1070
1995	500	13	924
1996	338	9	573
1997	125	3	191
Totaal	3804	100	5987

In Tabel A.4 is een overzicht geven van de gasmotor WKK-installaties per jaar van ingebruikname. Hierin is het aantal gasmotoren, het gezamenlijke vermogen en de elektriciteitsproductie opgenomen. Met name in de periode 1992-1995 zijn een groot aantal gasmotoren in gebruik genomen. Verder blijkt dat het gemiddelde vermogen in de loop van de tijd is toegenomen. Voor 1990 had de gemiddelde nieuwe installatie iets meer dan 250 kW_e vermogen, na 1990 was dit toegenomen tot 400 kW_e.

In Tabel A.5 zijn de energetische gegevens per jaar van ingebruikstelling opgenomen. Duidelijk is een toename van het elektrisch rendement in de loop van de tijd zichtbaar.

Tabel A.5 *Energetische gegevens per jaar van ingebruikstelling in 1997*

Jaar van ingebruikstelling	Elektriciteit productie [PJ]	Warmte- productie [PJ]	Gasverbruik [PJ]	Elektrisch rendement [%]	Totaal rendement [%]	W/k verhouding
t/m 1983	0,2	0,3	0,7	28,0	77,4	1,76
1984	0,1	0,2	0,3	29,9	82,1	1,74
1985	0,2	0,4	0,7	27,1	86,0	2,18
1986	0,2	0,3	0,6	30,8	82,8	1,69
1987	0,2	0,4	0,8	30,0	82,0	1,73
1988	0,6	1,0	2,0	32,5	83,4	1,57
1989	1,0	1,6	3,1	32,0	83,4	1,60
1990	1,4	2,3	4,4	32,5	84,3	1,60
1991	2,0	3,2	6,3	32,6	83,9	1,58
1992	3,0	4,8	9,2	32,7	84,1	1,57
1993	2,6	4,1	7,9	33,2	84,4	1,54
1994	3,9	5,9	11,5	33,5	84,8	1,54
1995	3,3	5,1	10,0	33,1	84,1	1,54
1996	2,1	3,2	6,2	33,4	84,9	1,55
1997	0,7	1,1	2,1	32,8	84,9	1,59
Totaal	21,6	33,8	65,8	32,8	84,2	1,57

ANNEX B EILANDBEDRIJF IN DE GLASTUINBOUW

Een aparte benadering verdient de assimilatiebelichting in de glastuinbouw. Het gaat hierbij om het kunstmatig verlichten van gewassen om de groei in de winter te bevorderen en om in de wintermaanden snijbloemen, met name rozen, af te kunnen leveren. De elektriciteitsvraag als gevolg van deze verlichting verhoudt zich ongeveer als 1:2 tot 1:10 met de warmtevraag. Gezien de substantiële elektriciteitsvraag, de gunstige verhouding t.o.v. van de warmtevraag en de beperkte storingsgevoeligheid, zijn er veel tuinders die deze elektriciteit zelf opwekken met een eigen WKK-installaties (i.e. gasmotor). Hoewel het niet in alle gevallen om eilandbedrijf gaat, is dit veelal wel mogelijk. Gezien de tariefstelling in de toekomst wordt eilandbedrijf een relatief gunstige optie. Het is dus mogelijk dat in de toekomst bedrijven die momenteel geen eilandbedrijf toepassen hierop wel over zullen gaan.

Volgens schattingen van het IKC (Dril, 1999b), is het belichte areaal aan glastuinbouw in 1998 1035 ha. Dit is ongeveer 10% van het gehele areaal aan glastuinbouw. In totaal wordt voor belichting ruim 4 PJ_e verbruikt (zie Tabel B.1). Mede omdat bij het kweken van rozen intensief gebruikt wordt gemaakt van belichting is de 500 ha rozen verantwoordelijk voor 3/4 van de belichtingsvraag. De rest wordt vooral gebruikt voor de teelt van chrysanten, potplanten en opkweek. Het totaal areaal aan rozen is ongeveer 2 keer zo groot als het deel dat belicht wordt.

Tabel B.1 *Belicht Areaal, vermogen en belichtingsduur 1998 schatting IKC*

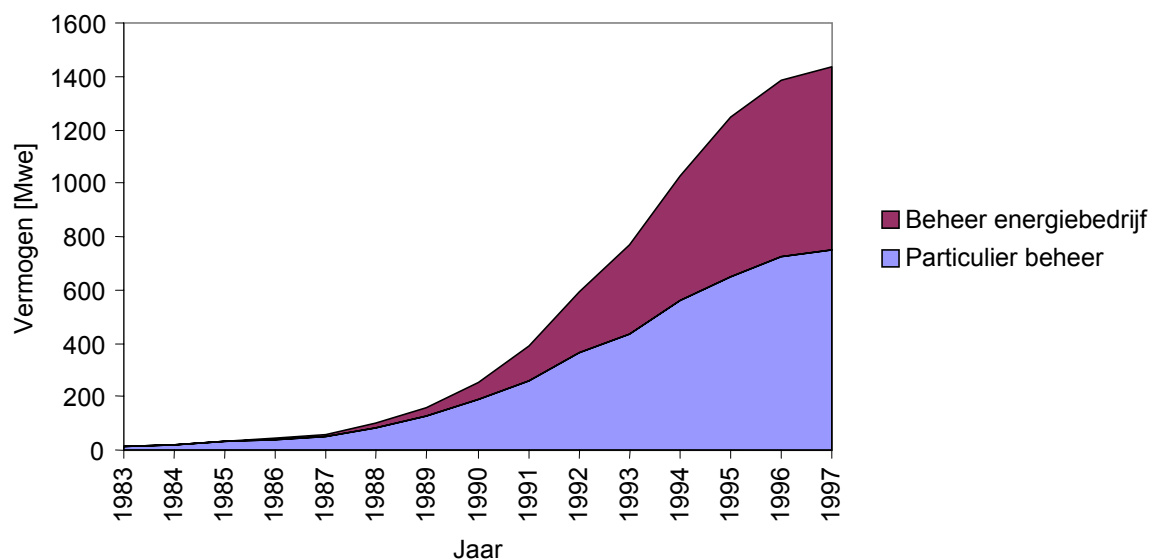
Gewas	Areaal [ha]	Vermogen [W/m ²] ²³	Belichtingsduur [uren]	Vermogen [MW _e]	Elektriciteitsverbruik [PJ]	[%]
Rozen	500	45	4000	225	3,2	76
Chrysanten	152	25	2200	38	0,3	7
Lelie	54	25	2000	14	0,1	2
Overige snijbloemen	49	20	2000	10	0,1	2
Potplanten	150	25	2000	38	0,3	6
Opkweek	130	30	2000	39	0,3	7
Totaal	1035	35	3300	363	4,3	100

Op basis van IKC kan er in 1997 maximaal 363 MW_e aan gasmotoren voor belichte teelt gebruikt worden (als de totale belichting door particulier WKK wordt voorzien). Het CBS komt voor de agrarische sector (SBI 01121-05) tot 492 MW_e gasmotoren in eigen beheer (zie Tabel 2.4). Ofwel er moet een substantieel deel van particulier WKK zijn dat niet gebruikt wordt voor belichte teelt. Figuur B.1 laat zien dat dit niet alleen erg oude installaties kunnen zijn. De omvang hiervoor is te groot. In deze figuur staat de opbouw van het vermogen in de tijd. De figuur laat zien dat de groei van het particulier vermogen in de agrarische sector iets voorloopt op de groei van het vermogen beheerd door energiebedrijven. Het verschil is echter niet substantieel groot.

Afgaande op cijfers van Ton van Dril (Dril, 1999b) komt de warmtevraag (aardgasvraag) bij belichte teelt uit op circa 1600 MJ_{th} per m² met daarbovenop een elektriciteitsvraag van 650 MJ_e per m² (rozen; bij minder intensief belichte teelt kan dit beperkt blijven tot 200 MJ_e per m²). Hierbij moet voor de volledigheid wel vermeld worden dat warmte en elektriciteitsvraag meestal niet hetzelfde patroon hebben.

²³ Omrekening: Het vermogen in kW/ha is 10 maal het aantal W/m².

Gesteld dat ongeveer 350 MW_e particulier vermogen voor belichting gebruikt wordt en dat dit allemaal in eilandbedrijf gebeurt of gaat gebeuren, dan blijft er nog 142 MW_e ander particulier vermogen over. Het gaat hierbij om vermogen dat geplaatst is op locaties waar de warmtevraag een factor 10 tot 20 groter is dan de elektriciteitsvraag. Een belangrijk aspect is dat ECN niet verwacht dat dit vermogen op grote schaal voor teruglevering van elektriciteit gebruikt gaat worden, tenzij het om installaties gaat die ook voor CO₂-dosering gebruikt worden (dit is echter maar een klein deel van de genoemde 142 MW_e).



Figuur B.1 *Vermogensopbouw naar jaar (agrarische sector)*

Er zijn twee opties voor het vermogen in particulier beheer dat momenteel niet onder eilandbedrijf valt:

1. Zoveel mogelijk draaien om aan de eigen elektriciteitsvraag te voldoen. Maar bij storingen en onderhoud, wel doorwerken op elektriciteit uit het net.
2. Overgaan tot eilandbedrijf en nieuwbouw in eilandbedrijf. Dit komt er op neer dat bij onderhoud of storingen geen vervangende elektriciteit van het net gehaald wordt. Aangezien er niet meer betaald hoeft te worden voor 'reservestelling of netbelasting' levert dit een kostendaling op. Bij nieuwe installaties worden tevens de kosten voor de netaansluiting uitgespaard.

In berekeningen is nagegaan of dit veel verschil oplevert. Dit blijkt niet het geval te zijn. Mede omdat optie twee als minder realistisch wordt beschouwd, is hier niet verder op ingegaan.

Naast beheer door particulieren (in eilandbedrijf en gezien het bovenstaande ook onder niet eilandbedrijf) bestaat ook de mogelijkheid van beheer door een energiebedrijf. Per definitie levert de gasmotor in deze situatie wel elektriciteit aan het net. Voor deze situatie wordt uitgegaan van een bestaand vermogen van 461 MW_e in 1997.

ANNEX C DETAILRESULTATEN

C.1 Scenario hoog

In deze bijlage zijn de resultaten van Hoofdstuk 5 weergegeven op een meer detail niveau. Allereerst betreft dit het ‘hoog’ scenario met een gunstige prijsontwikkeling voor WKK. In paragraaf C.2 volgt hierna het scenario ‘laag’.

In de eerste vijf tabellen wordt onderscheid gemaakt tussen drie groepen gasmotoren, namelijk die tot en met 1999 gebouwd worden, de gasmotoren die in 2000 en 2001 gebouwd worden (en waarvoor in de berekeningen nog geen additionele maatregelen verondersteld worden) en de gasmotoren die vanaf 2002 tot en met 2010 gebouwd worden. In de berekeningen wordt er vanuit gegaan dat de gasmotoren na 10 jaar een revisiebeurt krijgen, waarbij deze direct aan eventueel nog te komen emissie-eisen worden aangepast. De gasmotoren uit 1998 en 1999 voldoen in de berekeningen dus al aan de emissie-eisen die pas in 2012 gesteld worden. De gasmotoren uit 2000 en 2001 niet. De gegevens zijn hier verder opgesplitst naar de sectoren zoals deze in het warmtekrachtmodel van ECN Beleidsstudies aanwezig zijn.

De eerste Tabel C.1 geeft de omvang van het gasmotorpark in WKK-toepassingen (en op aardgas) weer in de situatie waar de NO_x-emissie niet worden aangescherpt en in de situatie waarin dit wel gebeurt. Het verschil is beperkt maar wat groter bij nieuwe installaties dan bij bestaande. Hierbij moet nog vermeld worden dat bij bestaande installaties (t/m 1987) 30 MW_e oude rich burn motoren niet aan de strengere emissie-eisen kunnen voldoen. In de berekeningen met de nieuwe eisen loopt het vermogen, los van de modeluitkomsten in ieder geval met deze 30 MW_e terug.

Tabel C.1 *Effect van de nieuwe NO_x-maatregelen op het vermogen aan gasmotoren [MW_e] in 2010 onder het hoog scenario, gerangschikt naar sector en bouwjaar*

Bouwjaar	Zonder nieuwe NO _x -maatregelen				Met nieuwe NO _x -maatregelen				Verschil			
	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal
<i>Sector</i>												
Woning	56	10	50	116	52	9	33	95	4	0	17	21
Bejaardentehuis	94	50	234	378	92	50	142	283	3	1	92	95
Ziekenhuis	224	64	233	521	219	64	217	500	5	0	16	21
Kantoor	199	8	48	255	133	8	30	170	66	0	18	85
Industrie	180	104	274	558	174	105	253	532	7	-1	20	26
Tuinder	962	17	253	1232	910	16	151	1077	52	0	103	155
Totaal	1716	253	1092	3061	1580	252	826	2658	137	1	266	403

In Tabel C.2 is de NO_x-emissie van gasmotoren in 2010 aangegeven als er geen nieuwe NO_x-maatregelen getroffen worden en als dit wel gebeurt. Het verschil is substantieel te noemen. Er zijn hiervoor twee oorzaken aan te geven. De belangrijkste oorzaak is het strenger worden van de emissie-eisen waardoor bij de gasmotoren extra voorzieningen (bijvoorbeeld een SCR installatie) voor het reinigen van het rookgas geplaatst moeten worden. Een tweede effect is dat nieuwe gasmotoren door de SCR duurder worden, waardoor er minder bijgeplaatst worden en dat de kosten voor revisie van bestaande gasmotoren toeneemt (als er een SCR bijgeplaatst moet worden), waardoor vaker besloten zal worden om de gasmotor uit bedrijf te nemen. De gasmotoren worden dus niet alleen schoner, maar er zijn ook minder van.

Tabel C.2 *Effect van de nieuwe NO_x-maatregelen op de NO_x-uitstoot door gasmotoren [kton/jaar] in 2010 onder het hoog scenario, gerangschikt naar sector en bouwjaar*

Bouwjaar	Geen nieuwe NO _x -maatregelen				Met nieuwe NO _x -maatregelen				Verschil			
	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal
<i>Sector</i>												
Woning	0,8	0,1	0,4	1,3	0,2	0,1	0,0	0,3	0,6	0,0	0,3	1,0
Bejaardentehuis	0,7	0,3	1,4	2,4	0,2	0,3	0,1	0,7	0,5	0,0	1,3	1,8
Ziekenhuis	2,5	0,4	1,4	4,3	0,5	0,4	0,2	1,1	2,0	0,0	1,2	3,1
Kantoor	0,8	0,0	0,1	0,9	0,1	0,0	0,0	0,1	0,7	0,0	0,1	0,8
Industrie	1,6	0,7	2,0	4,3	0,4	0,7	0,3	1,5	1,2	0,0	1,6	2,8
Tuinder	9,8	0,1	1,5	11,4	1,8	0,1	0,2	2,0	8,0	0,0	1,3	9,4
Totaal	16,2	1,7	6,7	24,5	3,2	1,6	0,9	5,7	13,0	0,0	5,8	18,8

In Tabel C.3 zijn de kosten aangegeven voor de rookgasreiniging. Dit betreft de investeringskosten (voor de installatie en het plaatsen ervan), de variabele kosten (onder andere voor het onderhoud, de hulpstoffen en de vervanging van de katalysator) en de jaarlijkse kosten. Deze laatste wordt bepaald door met een rentevoet van 7% en een afschrijvingstermijn van 10 jaar de investeringskosten om te rekenen naar jaarlijkse kapitaalslasten en er dan de variabele kosten bij op te tellen.

Tabel C.3 *De kosten van de nieuwe NO_x-maatregelen onder het hoog scenario, gerangschikt naar sector en bouwjaar*

Bouwjaar	Investeringskosten [mln gld]				Variabele kosten [mln gld/jaar]				Jaarlijkse kosten [mln gld/jaar]			
	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal
<i>Sector</i>												
Woning	19	0	16	35	1,2	0,0	1,1	2,3	3,9	0,0	3,4	7,2
Bejaardentehuis	36	0	39	75	2,0	0,0	3,1	5,1	7,1	0,0	8,7	15,8
Ziekenhuis	62	0	23	85	4,5	0,0	3,5	8,1	13,4	0,0	6,8	20,2
Kantoor	29	0	3	32	0,8	0,0	0,1	0,9	4,9	0,0	0,6	5,5
Industrie	27	0	23	51	3,3	0,0	4,5	7,8	7,2	0,0	7,8	15,1
Tuinder	252	0	56	309	15,7	0,0	3,6	19,3	51,7	0,0	11,6	63,3
Totaal	425	0	161	586	27,6	0,0	15,9	43,5	88,1	0,0	38,9	127,0

Voordat de kosten van de maatregelen per kg NO_x-vermeden bepaald kunnen worden moet er eerst een tussenstap plaatsvinden. Hierbij wordt de NO_x-emissie uit de situatie voor de strengere NO_x-emissie-eisen gecorrigeerd voor de emissie van de installaties die door de nieuwe eisen niet gebouwd worden of uit bedrijf genomen worden. De emissiereductie -alleen- als gevolg van rookgasreiniging kan worden bepaald door van de emissies uit Tabel C.4 de emissies van Tabel C.2 (met nieuwe NO_x-maatregelen) af te trekken. Het blijkt dat de NO_x-reductie als gevolg van het treffen van technische maatregelen (16,3 kton) veel groter is dan de reductie als gevolg van afnamen van het opgestelde vermogen (2,5 kton).

Tabel C.4 *NO_x-uitstoot [kton] in 2010 door gasmotoren in geval er geen emissiereductie plaatsvindt, maar wel de berekende vermogensdaling zoals onder het hoog scenario*

Bouwjaar	t/m 1999	2000/2001	2002-2010	Totaal
<i>Sector</i>				
Woning	0,7	0,1	0,2	1,1
Bejaardentehuis	0,7	0,3	0,9	1,8
Ziekenhuis	2,4	0,4	1,3	4,1
Kantoor	0,5	0,0	0,1	0,6
Industrie	1,6	0,7	1,8	4,1
Tuinder	9,3	0,1	0,9	10,2
Totaal	15,2	1,6	5,2	22,0

In Tabel C.5 zijn de kosten per kg vermeden NO_x-reductie weergegeven. Per sector blijkt dit te verschillen. Dit heeft vooral met de vermogensopbouw te maken. De kosten voor kleinere gasmotoren zijn namelijk hoger dan die voor grotere gasmotoren. Daarnaast lijkt het of bij de oudere installaties de kosten lager zijn dan bij nieuwere. Dit wordt veroorzaakt doordat de NO_x-emissie van de oudere installatie hoger is en er derhalve meer NO_x-reductie plaatsvindt per installatie.

Tabel C.5 *Kosten van rookgasreiniging [gld/kg] onder het hoog scenario*

Bouwjaar	t/m 1999	2000/2001	2002-2010	Totaal
<i>Sector</i>				
Woning	6,7	0,0	16,7	9,0
Bejaardentehuis	14,6	0,0	12,4	13,3
Ziekenhuis	7,0	0,0	6,3	6,8
Kantoor	11,0	0,0	11,8	11,1
Industrie	6,5	0,0	5,3	5,8
Tuinder	6,9	0,0	16,1	7,7
Totaal	7,3	0,0	9,2	7,8

Ten slotte laat Tabel C.6 zien dat het brandstofverbruik van de gasmotoren afneemt. Dit betekent dat gasmotoren bij strengere emissie-eisen minder warmte en elektriciteit produceren. Als toch aan de energievraag voldaan moet worden, zal hierin met andere installaties (bijvoorbeeld een gasketel en/of een elektriciteitscentrale) voorzien moeten worden. Dit betekent dat op een andere plaats weer extra NO_x-uitstoot zal plaatsvinden.

Tabel C.6 *Totale brandstofverbruik [PJ] door alle gasmotoren in 2010 onder het hoog scenario*

	Geen nieuwe NO _x -maatregelen	Met nieuwe NO _x -maatregelen	Vershil
<i>Sector</i>			
Woning	6	5	1
Bejaardentehuis	16	12	4
Ziekenhuis	23	22	1
Kantoor	4	2	2
Industrie	28	27	1
Tuinder	48	41	7
Totaal	125	109	16

In Tabel C.7 is een overzicht gegeven van de resultaten. Er zijn hierbij nog twee correcties toegepast. De eerste heeft te maken met een verschil in bedrijfstijd en rendement tussen de gas-

motoren in het model en in de CBS-overzichten. Zo hanteert het model voor bestaande motoren een hoger elektrisch rendement, waardoor het brandstofverbruik bij hetzelfde elektrische vermogen in het model te laag uitkomt. De tweede correctie heeft te maken met gasmotoren die niet in het model zijn opgenomen. Deze laatste groep is op te delen in installaties die niet onder de BEES vallen (en geen NO_x-maatregelen hoeven te nemen), installaties die wel onder de BEES vallen en wel maatregelen nemen en installaties die wel onder de BEES vallen maar niet aan de nieuwe normen kunnen voldoen (deze worden uit bedrijf genomen).

Tabel C.7 *Totaal alle gasmotoren in 2010 onder het hoog scenario*

Scenario hoog	Model uitkomst	Bijtelling modellering t/m 1997	Bijtelling niet in model opgenomen	Totaal	Eenheid
Vermogen zonder extra emissie-eis	3060		125	3185	[MW _e]
Vermogen met emissie-eis	2660		100	2760	[MW _e]
Verschil	400			425	[MW _e]
NO _x -emissies zonder extra beleid	24,5	3,8	2,5	30,8	[kton]
Brandstofverbruik zonder extra beleid	125	13	6	144	[PJ]
Brandstofverbruik met extra beleid	109	10	4	123	[PJ]
Fictieve emissie bij dit verbruik	22,0	3,2	1,7	26,8	[kton]
Nieuwe NO _x -uitstoot in 2010	5,7	0,5	0,6	6,8	[kton]
Investerings in SCR	590		19	609	[mln gld]
Variabele kosten	44		1	45	[mln gld/jaar]
Totale kosten (7% rente; 10 jaar)	127		4	131	[mln gld/jaar]
Kosten per kg NO _x	7,8			6,6	[gld/kg]

C.2 Scenario laag

In deze paragraaf zijn de detailresultaten weergegeven voor een scenario met een minder gunstige prijsontwikkeling voor WKK; lage scenario. Tabel C.8 geeft de omvang van het gasmotorpark in WKK-toepassingen (en op aardgas) weer in de situatie waar de NO_x-emissie niet worden aangescherpt en in de situatie waarin dit wel gebeurt. Het verschil is groter dan bij het scenario hoog, met name bij de nieuwe installaties.

Tabel C.8 *Effect van de nieuwe NO_x-maatregelen op het vermogen aan gasmotoren [MW_e] in 2010 onder het scenario laag, gerangschikt naar sector en bouwjaar*

Bouwjaar	Geen nieuwe NO _x -maatregelen				Met nieuwe NO _x -maatregelen				Verschil			
	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal
<i>Sector</i>												
Woning	52	4	29	85	45	4	6	55	7	0	23	30
Bejaardentehuis	49	12	69	130	46	12	25	83	3	0	44	47
Ziekenhuis	181	15	90	286	157	15	40	212	23	0	51	74
Kantoor	124	1	8	133	63	1	3	67	61	0	5	66
Industrie	144	73	194	411	129	73	165	368	15	0	29	43
Tuinder	913	3	57	972	735	3	22	760	178	0	35	213
Totaal	1463	109	446	2018	1175	109	262	1545	288	0	185	473

In Tabel C9 is de NO_x-emissie van gasmotoren in 2010 aangegeven als er geen nieuwe NO_x-maatregelen getroffen worden of als dit wel gebeurt. Het verschil is ook nu weer substantieel. Ten opzichte van het scenario hoog is het effect van het verminderen van het gasmotorvermogen relatief groter.

Tabel C.9 *Effect van de nieuwe NO_x-maatregelen op de NO_x-uitstoot door gasmotoren [kton/jaar] in 2010 onder het scenario laag, gerangschikt naar sector en bouwjaar*

Bouwjaar	Geen nieuwe NO _x -maatregelen				Met nieuwe NO _x -maatregelen				Verschil			
	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal
<i>Sector</i>												
Woning	0,7	0,0	0,2	0,9	0,1	0,0	0,0	0,1	0,6	0,0	0,2	0,8
Bejaardentehuis	0,4	0,1	0,4	0,9	0,1	0,1	0,0	0,2	0,3	0,0	0,4	0,7
Ziekenhuis	2,2	0,1	0,5	2,8	0,4	0,1	0,0	0,5	1,8	0,0	0,5	2,3
Kantoor	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,5
Industrie	1,4	0,5	1,4	3,3	0,3	0,5	0,2	1,1	1,0	0,0	1,2	2,2
Tuinder	9,1	0,0	0,3	9,5	1,4	0,0	0,0	1,4	7,8	0,0	0,3	8,1
Totaal	14,3	0,7	2,9	17,9	2,3	0,7	0,3	3,3	12,0	0,0	2,6	14,6

In Tabel C.10 zijn de kosten aangegeven voor de rookgasreiniging. Dit betreft de investeringskosten (voor de installatie en het plaatsen ervan), de variabele kosten (onder andere voor het onderhoud, de hulpstoffen en de vervanging van de katalysator) en de jaarlijkse kosten. Aangezien in dit scenario minder gasmotoren aanwezig zijn dan in het scenario hoog zijn de totale kosten ook lager.

Tabel C.10 *De kosten van de nieuwe NO_x-maatregelen onder het scenario laag, gerangschikt naar sector en bouwjaar*

Bouwjaar	Investeringskosten [mln gld]				Variabele kosten [mln gld/jaar]				Jaarlijkse kosten [mln gld/jaar]			
	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal	t/m 1999	2000/ 2001	2002- 2010	Totaal
<i>Sector</i>												
Woning	14	0	3	17	1,0	0,0	0,2	1,2	2,9	0,0	0,6	3,5
Bejaardentehuis	18	0	5	23	1,0	0,0	0,5	1,5	3,6	0,0	1,3	4,8
Ziekenhuis	43	0	3	47	3,2	0,0	0,6	3,8	9,4	0,0	1,1	10,5
Kantoor	11	0	0	12	0,3	0,0	0,0	0,4	2,0	0,0	0,0	2,0
Industrie	16	0	11	27	2,2	0,0	2,6	4,9	4,5	0,0	4,2	8,7
Tuinder	166	0	6	172	11,7	0,0	0,4	12,1	35,4	0,0	1,3	36,7
Totaal	269	0	29	298	19,5	0,0	4,4	23,8	57,7	0,0	8,5	66,2

In Tabel C.11 is de emissie zonder extra maatregelen weer gecorrigeerd voor vermogen wat niet gebouwd wordt, of dat uit bedrijf genomen wordt (indien deze maatregelen wel ingevoerd zouden worden. Het verschil tussen tabel C.11 en Tabel C.9 (middelste kolom) is de NO_x-reductie effect door de geplaatste RGR-installaties onder invloed van de extra maatregelen.

Tabel C.11 *NO_x-uitstoot [kton] in 2010 door gasmotoren in geval er geen emissiereductie plaatsvindt, maar wel met de berekende vermogensdaling door deze maatregelen*

Bouwjaar	t/m 1999	2000/2001	2002-2010	Totaal
<i>Sector</i>				
Woning	0,6	0,0	0,0	0,7
Bejaardentehuis	0,4	0,1	0,2	0,6
Ziekenhuis	1,9	0,1	0,2	2,2
Kantoor	0,2	0,0	0,0	0,3
Industrie	1,2	0,5	1,2	2,9
Tuinder	7,4	0,0	0,1	7,5
Totaal	11,7	0,7	1,7	14,2

In Tabel C.12 zijn de kosten per kg vermeden NO_x-reductie weergegeven. Het niveau blijkt in het scenario laag lager te liggen dan in het scenario hoog. Dit wordt veroorzaakt doordat er in het scenario laag veel minder kleine gasmotoren aanwezig zijn. De kosten voor NO_x-emissiereductie bij kleinere installaties zijn hoger dan die bij grotere installaties. Een gasmotorpark met grotere gasmotoren levert aldus lagere kosten op uitgedrukt in gulden per kg NO_x-uitstoot vermeden.

Tabel C.12 *Kosten van rookgasreiniging [gld/kg] onder het scenario laag*

Bouwjaar	t/m 1999	2000/2001	2002-2010	Totaal
<i>Sector</i>				
Woning	5,8	0,0	16,1	6,4
Bejaardentehuis	11,8	0,0	10,1	11,3
Ziekenhuis	6,1	0,0	5,4	6,0
Kantoor	9,6	0,0	7,9	9,6
Industrie	5,0	0,0	4,4	4,7
Tuinder	5,9	0,0	12,9	6,0
Totaal	6,1	0,0	5,9	6,1

Ten slotte laat Tabel C.13 zien dat het brandstofverbruik van de gasmotoren afneemt. De opmerkingen die hierbij gemaakt kunnen worden zijn hetzelfde als die bij scenario hoog.

Tabel C.13 *Totale brandstofverbruik [PJ] door alle gasmotoren in 2010 onder het scenario laag*

	Geen nieuwe NO _x -maatregelen	Met nieuwe NO _x -maatregelen	Vershil
<i>Sector</i>			
Woning	4	3	1
Bejaardentehuis	6	3	2
Ziekenhuis	13	10	3
Kantoor	2	1	1
Industrie	21	19	2
Tuinder	37	28	9
Totaal	82	63	19

In Tabel C.13 is een overzicht gegeven van de resultaten. Er worden hierbij nog twee correcties toegepast. De eerste heeft te maken met een verschil in bedrijfstijd en rendement tussen de gasmotoren in het model en in de CBS overzichten. De tweede met gasmotoren die niet in het model zijn opgenomen. Deze laatste groep is op te delen in installaties die niet onder de BEES vallen (en niet worden aangepast), installaties die wel onder de BEES vallen en wel worden aangepast en installaties die wel onder de BEES vallen maar niet aan de nieuwe normen kunnen voldoen (deze worden uit bedrijf genomen). Dit resulteert in de cijfers zoals weergegeven in Tabel C.14.

Tabel C.14 *Totaal alle gasmotoren in 2010 onder het laag scenario*

Scenario hoog	Model uitkomst	Bijstelling modellering t/m 1997	Bijstelling niet in model opgenomen	Totaal	Eenheid
Vermogen zonder extra emissie-eis	2020		125	2145	[MW _e]
Vermogen met emissie-eis	1550		100	1650	[MW _e]
Verschil	470			495	[MW _e]
NO _x -emissies zonder extra beleid	17,9	3,4	2,5	23,8	[kton]
Brandstofverbruik zonder extra beleid	82	10	6	98	[PJ]
Brandstofverbruik met extra beleid	63	8	4	75	[PJ]
Fictieve emissie bij dit verbruik	14,2	2,6	1,7	18,5	[kton]
Nieuwe NO _x -uitstoot in 2010	3,3	0,4	0,6	4,3	[kton]
Investerings in SCR	300		19	319	[mln gld]
Variabele kosten	24		1	25	[mln gld/jaar]
Totale kosten (7% rente; 10 jaar)	66		4	70	[mln gld/jaar]
Kosten per kg NO _x	6,1			4,9	[gld/kg]

REFERENTIES

- BEES (1998): *Besluit Emissie-eisen stookinstallaties milieubeheer A en milieubeheer B*. Tekstplaatsing in staatsblad 167 en 168, 20 maart 1998.
- CBS (1999): *Nederlandse Energiehuishouding 1997*. Deel 2, CBS, 1999.
- CBS (J. Kloots): *Gegevenslevering van gasmotoren aan ECN*. Voorburg, CBS, januari 2000.
- Cogen Projects: *Kosteneffectiviteit van SCR toegepast op gasmotoren*. Driebergen-Rijsenburg, Cogen Projects, december 1999.
- Dril, A.W.N. van (1999a): *Stroomlijning energie- en CO₂-verkenningen glastuinbouw*. ECN-C--99-028, Petten, ECN, april 1999.
- Dril, A.W.N. van, et. al. (1999b): *Toekomst Warmtekrachtkoppeling: Verkenning van de economische aantrekkelijkheid in een geliberaliseerde energiemarkt*. ECN-C--99-086, Petten, ECN, oktober 1999.
- Dril, A.W.N. van, et. al.: *Toekomst Warmtekrachtkoppeling: Actualisatie betreffende tarieven Dte en REB*. ECN-C--00-022, Petten, ECN, februari 2000.
- Eck, A. van: *NO_x-marktanalyse, Arnhem*. Van Eck Marketing, November 1996.
- Kloots, J. (2000): *Toelichting op de database productiemiddelen elektriciteit van de Sector Energie van het CBS*. Voorburg, CBS, februari 2000.
- Kraaij, H.: *Persoonlijke mededeling*. VROM, januari 2000.
- Kroon, P., et. al.: *Weegfactoren voor luchtverontreiniging; Systeem voor de integrale evaluatie van de uitworp van luchtverontreiniging*. ECN-R--94-006, Petten, ECN, juni 1994.
- Lutz, A.J. (1993): *Gasmotoren, Energietechniek*. nr. 2 jaargang 71, februari 1993, pag. 98-101.
- Melker BV: *Reductie van NO_x-emissie van gasmotoren*. Margraten, Studies en Diensten De Melker BV, december 1993.
- Melker BV: *Evaluatie van het onderzoeksprogramma. 'NO_x-emissiebeperking bij gasmotoren'*. Margraten, Studies en Diensten De Melker BV, december 1989.
- NEV: *Nationale Energie Verkenningen 1995-2020*. ECN-C--97-081, Petten, ECN, maart 1998.
- OTAG: Technical Supporting Document (Chapter 5, Appendix C). <http://www.epa.gov/ttn/rto/otag/finalrpt/>, EPA, 1997.