CE Delft
Oplossingen voor milieu, economie en technologie

Oude Delft 180
2611 HH Delft
tel: 015 2 150 150
fax: 015 2 150 151
e-mail: ce@ce.nl
website: www.ce.nl
Besloten Vennootschap
KvK 27251086

Gas4sure

Aardgas als transitiebrandstof

Rapport

Delft, april 2008

Opgesteld door: F.J. (Frans) Rooijers
L.M.L. (Lonneke) Wielders
B.L. (Benno) Schepers
H.J. (Harry) Croezen
S.M. (Sander) de Bruyn

Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

F.J. (Frans) Rooijers, L.M.L. (Lonneke) Wielders, B.L. (Benno) Schepers, H.J. (Harry) Croezen S.M. (Sander) de Bruyn
Gas4sure
Aardgas als transitiebrandstof
Delft, CE, 2008

Publicatienummer: 08.3557.14

Alle CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Opdrachtgever: GasTerra.
Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Frans Rooijers.

© copyright, CE, Delft

CE Delft
Oplossingen voor milieu, economie en techniek

CE Delft is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

De meest actuele informatie van CE is te vinden op de website: www.ce.nl.

Dit rapport is gedrukt op 100% kringlooppapier.

Ten geleide

GasTerra is van mening, dat aardgas nog tot diep in deze eeuw een hoofdrol zal spelen in de energievoorziening wereldwijd. Die mening is gebaseerd op feiten en prognoses.
Feit is dat de fossiele brandstoffen in het huidige tijdbestek voor 90 procent of meer voorzien in de primaire energiebehoefte. Feit is ook dat aardgas van deze fossiele brandstoffen in het gebruik relatief goede eigenschappen heeft met de minste belasting voor het milieu. De voorraden strekken tot ver in deze eeuw. In het transitietijdperk naar duurzamer vormen van energie zullen de hernieuwbare bronnen aan aandeel in de voorziening winnen. Prognoses wijzen uit, dat het totaalbeeld van vraag- en aanbod, van groei en besparing, en van de ontwikkeling van alternatieve energiebronnen bij de huidige kennis van zaken voor duurzame bronnen halverwege deze eeuw uitkomt op een aandeel van 20 tot 30%. Zelfs bij een thans nog niet voorziene versnelling van het verduurzamingsproces is het duidelijk dat aardgas met kolen en olie een voorname bron in deze eeuwhelft zal zijn.
Dit geeft een dubbele verantwoordelijkheid. De bestaande voorziening in aardgas moet op een hoog niveau worden nagestreefd en tegelijk zal er met verve moeten worden gewerkt aan transitie. GasTerra acht zich expert op aardgasgebied en kijkt vanuit die hoedanigheid naar aardgasgerelateerde transitiemogelijkheden: wat kan zuiniger, schoner en doelmatiger?
GasTerra acht het ook haar plicht kennis op dit terrein te delen. De energieontwikkelingen raken iedereen: specialist en burger. Discussies en keuzes hebben baat bij goede informatie van alle betrokkenen.
Om deze reden brengt GasTerra in de komende jaren boeken uit -los van andere overdrachtsvormen-, die deze informatie beschikbaar maken.

"Gas4sure, Aardgas als transitiebrandstof " is een boek uit deze serie. De inhoud is samengesteld en geschreven door CE Delft, dat als onafhankelijk instituut thuis is in de materie, zowel op milieu, economisch als technologisch terrein. GasTerra heeft als opdrachtgever gefungeerd, heeft buiten dit Ten geleide verder geen inhoudelijke bemoeienis gehad., maar kan zich met de inhoud verenigen.

Gertjan Lankhorst, CEO GasTerra

Voorwoord

Gas4sure is een beschrijving van de rol van aardgas in de transitie naar een duurzame energievoorziening. Aardgas kan als schoonste fossiele brandstof een relatief belangrijke rol gaan spelen in de omschakeling van een hoofdzakelijk op fossiele brandstoffen gebaseerde energievoorziening, naar een energie-voorziening gebaseerd op efficiënte installaties en hernieuwbare energiebronnen.
Gas4sure is een vervolg op Green4sure, het groene energieplan dat CE Delft heeft opgesteld voor de milieu- en vakbeweging. Green4sure maakt duidelijk dat een energievoorziening met halvering van de CO_2-emissie in een periode van 25 jaar mogelijk is en welke rollen de verschillende partijen daarvoor moeten spelen om dat mogelijk te maken.
In Gas4sure is gebruik van aardgas geen doel op zich, maar gegeven de sterke veranderingen in condities voor de milieu-effecten van de energievoorziening, een schets van de rol van aardgas onder die condities.

Frans Rooijers, April 2008

Inhoud

Samenvatting 1

Gas4sure 3

1 Transitie van de energievoorziening 19
- 1.1 Vooraf 19
- 1.2 Duurzaamheid en voorzieningszekerheid 19

2 Historische rol aardgas in Nederland en in de wereld 21

3 Beschikbaarheid aardgas in Nederland, Europa, wereld 25

4 Omschakeling naar duurzame energievoorziening 29
- 4.1 Doelstellingen 29
- 4.2 Verlaging van de vraag naar energiedragers 29
- 4.3 Potenties hernieuwbare energiebronnen 30
- 4.4 Aardgas als ondersteuning van hernieuwbare bronnen 33
- 4.5 Aardgas in Green4sure 34
- 4.6 Aardgasverbruik per sector 36

5 Aardgas in de gebouwde omgeving 37
- 5.1 Ontwikkeling aardgasverbruik in de woningbouw 37
- 5.2 Warmte- en koudevraag in de bestaande bouw en in de nieuwbouw 38
- 5.3 Duurzame en efficiënte warmteopties voor de bestaande bouw. 40
  - 5.3.1 De ontwikkeling, efficiëntie en kosten van de HR-ketel 40
  - 5.3.2 De ontwikkeling van de HRe-ketel 41
  - 5.3.3 Efficiëntie, rentabiliteit en kosten HRe-ketel 42
  - 5.3.4 Warmtepomp en koelen op gas 43
- 5.4 Ontwikkeling aardgasverbruik in de utiliteitsbouw 43
  - 5.4.1 Warmtepomp met warmte/koude opslag 44
- 5.5 Voor- en nadelen ten opzichte van andere fossiele brandstoffen 45
- 5.6 Ontwikkelingen qua omvang en halvering emissies in 2030 45

6 Aardgas in de industrie 47
- 6.1 Ontwikkeling aardgas in de industrie 47
- 6.2 Aardgas als brandstof 48
  - 6.2.1 Kosten en milieuprestaties 48
- 6.3 Aardgas als grondstof 49
- 6.4 Voor- en nadelen ten opzichte van andere fossiele brandstoffen 50
- 6.5 Ontwikkelingen qua omvang en halvering emissies in 2030 50

7 Aardgas in de elektriciteitsproductie 51
- 7.1 Ontwikkeling aardgas in de elektriciteitsproductie 51
- 7.2 Warmtekracht (groot tot klein), STEG 52
  - 7.2.1 Kosten 53
  - 7.2.2 Milieuprestaties 53
- 7.3 Nieuwe ontwikkelingen, CO2-afvang, ZEPP 54

7.3.1 Kosten 55
7.3.2 Milieuprestaties 56
7.4 Voor- en nadelen ten opzichte van andere fossiele brandstoffen 58

8 Aardgas in het transport 59
8.1 Personenauto's en bussen op aardgas 59
8.2 Kosten en milieuprestaties 60
8.3 Voor- en nadelen ten opzichte van andere fossiele brandstoffen 62
8.4 Ontwikkelingen qua omvang en halvering emissies in 2030 62

9 Andere gassen 65
9.1 Groen gas 65
9.1.1 Technische ontwikkeling en indicatieve productiekosten 65
9.1.2 Afzetmogelijkheden 67
9.1.3 Beleidsambities van groen gas 68
9.1.4 Potentie 68
9.1.5 Hoe groen is groen? 70
9.2 Productie van SNG uit kolen 70
9.2.1 Proces 70
9.2.2 Stand der techniek 71

10 Discussies over plaats aardgas in energievoorziening 73
10.1 Gas in de grond of geld in het handje 73
10.2 Veranderende inzet van aardgas 75
10.3 Ontwikkelingen aardgasinzet 77

11 Wat is nodig voor aardgas als transitiebrandstof? 79
11.1 Rol van GasTerra 79
11.2 Rol van de overheid 80

Literatuurlijst 81

Samenvatting

De milieuschadelijke emissies verbonden aan het gebruik van fossiele energiebronnen zullen ten gevolge van de klimaatverandering de komende decennia sterk gereduceerd moeten gaan worden. Daarbij is er juist voor aardgas een relatieve groei mogelijk door deze schoonste fossiele energiebron slim in te zetten.
Door de toename van onze welvaart zal de vraag naar energie blijven groeien. Daarom is het noodzakelijk om met heel veel maatregelen (isolatie, procesvernieuwing in de industrie, minder mobiliteit door elektronisch verkeer) de vraag naar energiedragers te beperken. Het gebruik van hernieuwbare energiebronnen zal gemaximaliseerd moeten worden (wind, zon, getijden, bodemwarmte, etc). Door efficiënte installaties (microWKK, grote WKK) zal met een zo hoog mogelijk rendement, elektriciteit en warmte uit de fossiele brandstoffen moeten worden gehaald. Als we dat allemaal doen hebben we in Nederland veel minder fossiele energie nodig dan nu nog geprognotiseerd in de energiescenario's van de overheid (Global Economy en Strong Europe). Alleen het energiescenario van de vak- en milieuorganisaties Green4sure past in dat beeld. Het blijkt dat aardgas dan een relatief belangrijke rol speelt.

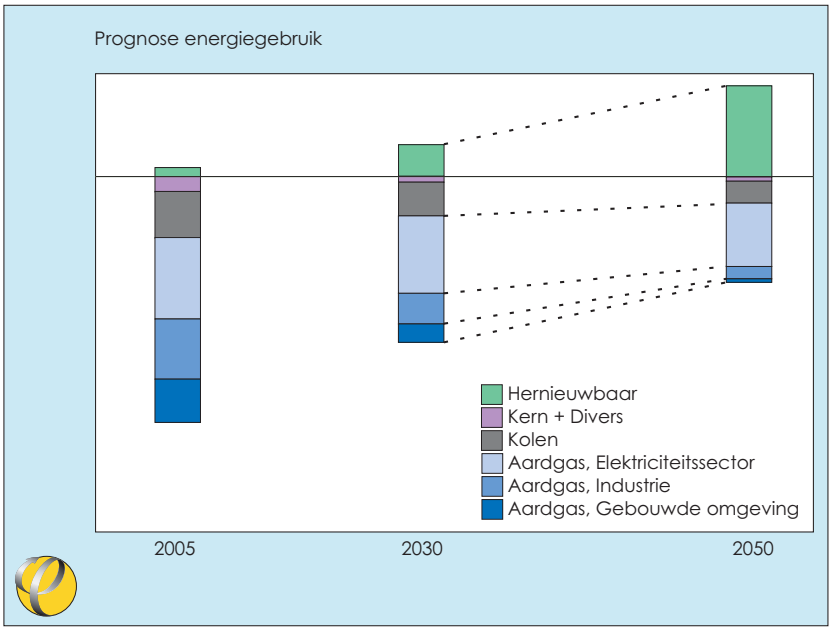
Door strenge eisen aan emissies van onze energiehuishouding ontstaat het onderstaande beeld voor de komende 40 jaar dat realistisch en afwijkend is van de overheidsscenario's. Er is een rol voor aardgas als transitiebrandstof, Gas4sure. De rol van aardgas zal wel gaan veranderen ten opzichte van de afgelopen decennia. De twee **belangrijkste veranderingen** vinden plaats in de gebouwde omgeving en bij de productie van elektriciteit.

Figuur 1 Toekomstige rol (2050) aardgas, hernieuwbaar en overig fossiel per sector (met CO_2 opslag)

Verandering tov 2005	Gebouwde Omgeving	Transport	Industrie	Elektriciteit
▲▲	• Zuinige gebouwen • Hernieuwbaar - groen gas, zon, bodemwarmte	• Zuinige auto's	• Efficiënte processen	• Aardgas in zuinige centrales en WKK bij industrie
▲		• Hernieuwbaar (2e gen biobrandstoffen)		• Hernieuwbaar (wind en biomassa)
–		• Beperkte rol aardgas	• Hernieuwbaar • Aardgas	
▼	• Aardgas	• Overig fossiel	• Overig fossiel	
▼▼				• Overig fossiel

In de **gebouwde omgeving** bestaan de grootste kansen voor gebruik van hernieuwbare bronnen (zon, wind, groen gas) in combinatie met zuinige apparaten en zuinige gebouwen. Daardoor zal hier stapsgewijs aardgas in de komende 40 jaar verdwijnen, eerst in de nieuwbouw en als laatste in de bestaande bouw.
Voor de **productie van elektriciteit** zal aardgas een belangrijkere rol gaan innemen in STEG-centrales en WKK-installaties bij de industrie. Dit gaat ten koste van het gebruik van kolen.

Figuur 2 Aardgas in de verschillende sectoren in 2005, 2030 en 2050



Aardgas zal een belangrijke rol vervullen om de vraag naar energie, en dan met name elektriciteit op elk moment te kunnen voldoen, met name bij een groot aandeel hernieuwbare energie. Het levert de **flexibiliteit** om hernieuwbare energie maximaal in te zetten
De Nederlandse **gasvoorraad** is nog ruimschoots voldoende om de transitie naar een schone energiehuishouding, met aardgas als transitiebrandstof, mogelijk te maken. Daarnaast zijn er grote voorraden in Rusland, het Midden-Oosten en Noord-Afrika.
De overheid zal een belangrijke rol moeten spelen om de transitie mogelijk te maken. Door de juiste prikkels (belonen van zuinig en beprijzen van vervuilende emissies) zullen gastoepassingen als vanzelf een belangrijkere plaats innemen in de elektriciteitsproductie en door belonen/verplichten van hernieuwbaar als vanzelf afnemen in de gebouwde omgeving.
GasTerra zal ook zijn rol moeten spelen door zuinige technieken helpen te ontwikkelen en door nieuwe gassen (groen gas, syngas) te gaan inkopen en verkopen. En bij de overheid te pleiten voor de juiste prikkels voor schonere energie.

Gas4sure

1 Vraagstelling

GasTerra ziet dat het nodig is om op een verstandige wijze aardgas te gebruiken, een afweging te maken tussen kolen en aardgas, tussen extreem zuinig of hernieuwbaar, tussen centrales met of zonder CO_2-opslag, maar niet tussen hernieuwbaar of aardgas. Aardgas kan een nuttige rol spelen naast en als ondersteuning van hernieuwbare energie. Daarom heeft GasTerra aan CE Delft gevraagd een schets te geven van de mogelijke rol van aardgas in de transitie naar een duurzame energievoorziening. Enerzijds door aan te geven welke technische mogelijkheden er in de diverse sectoren zijn, anderzijds door aan te geven welke rollen aardgas dan in het transitieproces kan spelen en welke factoren bepalend zijn om die rollen te kunnen spelen.

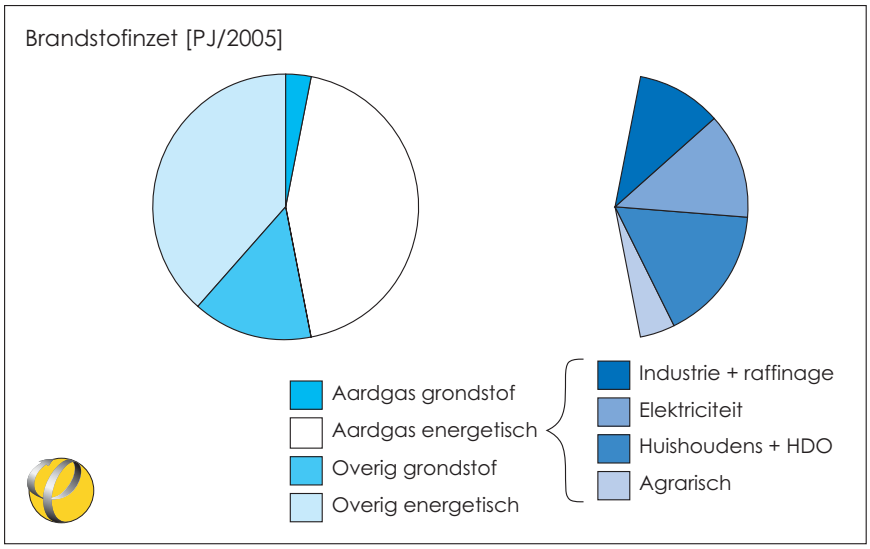
2 Grote veranderingen door vondst aardgas

Aardgas heeft in de jaren zestig in Nederland de rol van kolen op een ingrijpende manier overgenomen. De vondst van aardgas bij Slochteren is daarvoor leidend geweest. Het heeft er voor gezorgd dat we in Nederland relatief veel energie-intensieve toepassingen kennen (aluminium, kunstmest, glastuinbouw) en dat ialle woningen en andere gebouwen bijna geheel verwarmd worden door aardgas. In andere Europese landen speelt elektriciteit een grotere rol, ook doordat de rurale gebieden geen gas-infrastructuur kennen. Een drastische verandering van onze energievoorziening zoals in de jaren zestig, is ook nu met nieuwe maatschappelijke problemen zoals klimaatverandering goed voorstelbaar. In deze notitie is het terugdringen van het gebruik van fossiele brandstoffen in de periode tot 2050 met een factor 5 (80% reductie) in absolute zin de leidende gedachte.

Bron: Collectie NAM, Groningen

Op dit moment gebruiken we in Nederland ruim 3.000 PJ fossiele brandstoffen, waarvan bijna de helft aardgas. De vraag is hoe dat de komende jaren zal zijn als we als samenleving een transitie in onze energievoorziening willen laten plaatsvinden naar een fors lagere milieubelasting.

Figuur 3 Brandstofinzet in Nederland [3051 PJ in 2005, alle sectoren]



3 Nieuwe vraagstukken vragen nieuw antwoord

Het IPCC, de VN-commissie die onderzoek doet naar de klimaatverandering, heeft gesteld dat in 2050 een reductie van de CO_2-emissie in de westerse wereld met 80 à 90% nodig is om de klimaatverandering beperkt te houden. Daarnaast zijn er plafonds voor lokale emissies van NO_x, fijnstof die in belangrijke mate de lokale luchtkwaliteit bepalen. Deze milieufactoren vergen een transitie van de energievoorziening.
Europa heeft inmiddels duidelijk gekozen voor een groter aandeel hernieuwbare energie en een afnemende CO_2-emissie. Daarvan uitgaande is de vraag welke rol aardgas kan spelen. Hierbij komen een aantal strategieën aan de orde specifiek voor Nederland als aardgasland. In andere Europese landen zullen andere afwegingen worden gemaakt door andere geografische factoren en door andere historische ontwikkelingen.

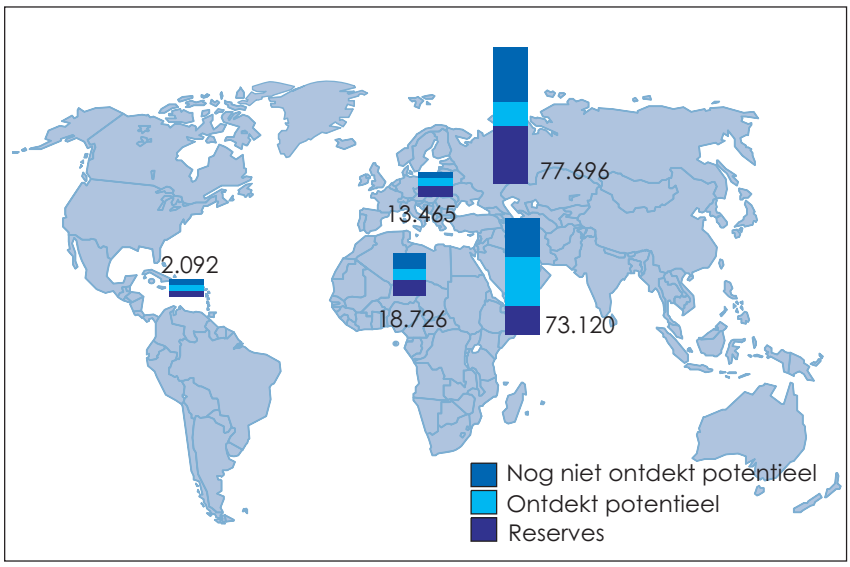
Met veel pijn en moeite zal de vraag naar energiedragers in de Europese landen stabiliseren, bij een groeiende welvaart en daarmee behoefte aan energie. De toenemende welvaart zal nieuwe vraag laten ontstaan (koelbehoefte, beveiliging/regelapparatuur in gebouwen, nieuwe dienstverlening, etc) die door efficiëntieverbetering bij de gebruikers (isolatie, zuinige apparaten en installaties) gecompenseerd zal moeten worden. De afname in de CO_2-emissie, die op dit moment het meest leidend is voor de mate van duurzaamheid van de energiehuishouding, zal bij een ongeveer gelijkblijvende vraag naar energiedragers door hernieuwbare energiebronnen, CO_2-arme fossiele energie en CO_2-opslag moeten worden gerealiseerd.
Het aandeel hernieuwbare energiebronnen zal zo snel mogelijk worden vergroot, maar de kosten daarvan zijn nog erg hoog en het is niet eenvoudig om een marginale bijdrage van een energiebron in hele korte tijd op te schalen tot een substantiële bijdrage.

De komende 40 jaar zullen fossiele brandstoffen daarom nog een belangrijke rol spelen. Zeker mondiaal in de sterk groeiende economieën van Aziatische en Zuid-Amerikaanse landen. Maar ook in Europa zullen fossiele brandstoffen hard nodig blijven om onze energievraag te dekken. Omdat aardgas van alle fossiele brandstoffen de schoonste fossiele brandstof is en met zeer hoge rendementen, en lage milieu-emissies, kan worden omgezet in nuttige toepassingen, zal het een belangrijke rol spelen om de transitiefase van een fossiele energievoorziening naar een hernieuwbare energievoorziening te helpen realiseren. Tot slot zal CO_2-opslag bij industrie en/of elektriciteitsproductie een middel zijn om de uitstoot van de CO_2-emissie te reduceren. Tot nu toe wordt in de discussie CO_2-opslag vooral gekoppeld aan kolencentrales, maar ook bij aardgastoepassingen kan CO_2 worden afgevangen.

4 Is er voldoende aardgas?

De Nederlandse gasvoorraad is voldoende voor de Nederlandse afzet voor de komende 30 jaar op basis van de bewezen voorraden en op basis van de huidige vraag. De ervaring leert dat er meer gas is dan nu is aangetoond. Dit betekent dat voor de transitie naar een duurzame energiehuishouding (50 jaar) Nederland voldoende gas heeft om op het huidige niveau te blijven gebruiken. Dit staat los van de wens om gas te importeren en te exporteren, het concept van de gasrotonde. Dat aspect is echter geen onderwerp van deze notitie.

Figuur 4 Bewezen reserves, voorraden en vermoede voorraden aan aardgas in de wereld (mld M^3/jr)[1]



[1] Voorraden aan gashydraten zijn niet opgenomen in het overzicht, de totalen (reserves + ontdekt potentieel + nog niet ontdekt potentieel) zijn cijfermatig weergegeven.

Mondiaal bezien is er naast de Nederlandse voorraad nog zeer veel aardgas in bewezen voorraden. Rusland heeft de hoogste mondiale gasreserves. Deze reserves zijn ruim 25 keer zo hoog als de reserves in Nederland. Gekeken naar de totale mondiale reserves bevindt zelfs ongeveer 50% van deze reserves zich in Rusland. De reeds ontdekte potentiëlen zijn voornamelijk geconcentreerd in Iran, Qatar en de West-Siberische gasvelden. Om deze voorraden beschikbaar te krijgen zullen nog politieke en technische problemen opgelost moeten worden. Wel worden nu projecten gestart met LNG-aanvoer vanuit Algerije en het Middenoosten.

5 Aardgas snel opmaken?

Vanuit het perspectief van de beschikbare voorraad is de vraag aan de orde of ons aardgas (snel) opgemaakt zou moeten worden of moet worden bewaard voor later. De belangrijkste overwegingen hierbij zijn de prijs nu, de verwachte prijs in de toekomst en de waarde van gasvoorraden voor toekomstige generaties (buiten de prijs). Daarnaast zijn de beschikbaarheid en voorzieningszekerheid overwegingen:

1 Aardgas bewaren voor de nuttigste toepassingen later;
2 Aardgasgebruik spreiden, ook andere brandstoffen, zekerheid voorop;
3 Aardgas opmaken;
   - verkopen aan hoogste bieder;
   - gebruiken voor binnenlandse transitie;
     - voorzieningszekerheid;
     - schoonste milieu;
     - nationale bedrijvigheid.

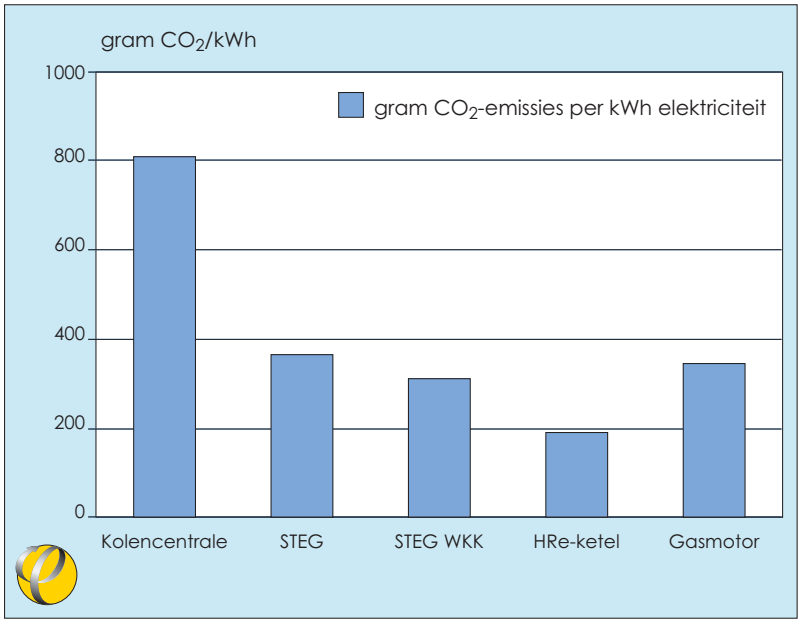
Door een drastische verlaging van de vraag naar energie in vergelijking met de referentiescenario's kan met een gelijke hoeveelheid aardgas (in miljarden m3) een relatief grotere rol aan aardgas worden gegeven. Door een groter aandeel hernieuwbare energie vindt er al diversificatie plaats. Door beprijzing van CO_2 komt energie op een hoger prijsniveau en wordt de relatieve invloed van prijsschommelingen kleiner en de noodzaak om vanuit die reden te diversificeren kleiner. Tot slot blijkt dat op de wereldmarkt alle brandstofprijzen aan elkaar gekoppeld zijn. De aardgasprijs zal (op afstand) altijd de kolenprijs volgen; beide zijn brandstoffen voor de productie van elektriciteit. De CO_2-emissie van kolengestookte centrales is circa twee keer zo hoog als bij gasgestookte centrales (CO_2-opslag zal de eerste 10 jaar nog niet commercieel aantrekkelijk zijn).
De conclusie die hieruit getrokken kan worden is dat het gas juist nu zou moeten worden gewonnen ten koste van toekomstige winning. In het kader van het beschouwen van de rol van aardgas als transitiebrandstof beschouwen we dit als een argument om aardgas als een relatief belangrijke fossiele energiebron te gebruiken, niet om aardgas koste wat kost snel op te maken.

Uitgaande van de maatschappelijke wens om een transitie te bereiken naar een schone energievoorziening kan aardgas een belangrijke rol spelen. Uit het voorgaande wordt duidelijk dat er geen reden is om het relatieve aandeel van aardgas terug te dringen, er is voldoende aardgas om de periode tot 2050 te overbruggen.

6 Zuinige technieken

Doordat installaties die warmte of elektriciteit produceren uit aardgas zeer efficient zijn, maakt aardgas een grote kans om gebruikt te worden in een duurzame energievoorziening. In figuur 5 is de CO_2-emissie voor de productie van elektriciteit van verschillende technieken weergegeven.

Figuur 5 CO_2-emissie van verschillende technieken voor elektriciteitsproductie



Als aardgas een belangrijkere rol krijgt, is dat bij de productie van elektriciteit. Hierbij is het de vraag of dat decentrale productie wordt of centrale productie. Is dat in een STEG van 500 MWe of in een microWKK van 1 à 2 kWe?
In figuur 5 is voor installaties - die zowel warmte als elektriciteit produceren - de elektriciteit verrekend met de beste techniek als referentie (HR-ketel respectievelijk STEG-centrale). Een microWKK in een HR-ketel levert het hoogste rendement uit fossiele energie. Zeker voor de overgangsperiode is dit een techniek in bestaande woningen die niet van vandaag op morgen op hernieuwbare energie gaan draaien. Maar er zijn beperkingen aan deze techniek. Als alle bestaande woningen in 2030 (zo'n 5 miljoen) met een HRe-ketel zijn uitgerust van 1 kW dan produceren deze woningen 5000 MWe, niet regelbaar vermogen. Zodra een deel van dit vermogen regelbaar wordt gemaakt, neemt de efficiëntie af doordat warmte op verkeerde momenten wordt geproduceerd en moet worden opgeslagen, bijvoorbeeld in een boiler. Daarnaast geldt dit vermogen niet als zeker ver-

mogen. Dus slechts een deel van het vermogen kan in microWKK-installaties worden opgewekt. Hierbij moet ook worden opgemerkt dat op gegeven moment de met een HRe-ketel geproduceerde warmte moet concurreren met CO_2-arme en CO_2-loze warmte uit hernieuwbare bronnen en niet meer met de HR-ketel zoals de komende decennia nog het geval is.

Het grootste deel van de Nederlandse elektriciteitsproductie zal bij de industrie plaatsvinden met STEG-eenheden van optimaal formaat (en daarmee efficiëntie) om de warmte direct nuttig te kunnen gebruiken.

Indien er sprake is van CO_2-opslag bij een kolen-, dan wel gascentrale zal er sprake zijn van verlies op het totale rendement. Bij de berekening voor het aantal jaren dat de opslagcapaciteit toereikend is, is onder andere uitgegaan van een afvangpercentage van 90%. Met andere woorden 90% van de geëmitteerde CO_2 wordt ook daadwerkelijk opgeslagen. Daarnaast is de totale capaciteit van de geabondeerde gas- en olievelden meegenomen. Dit is ongeveer 1600 Mton onshore en 1600 Mton offshore. Bij elkaar is dit ongeveer 16 keer de huidige jaarlijkse CO_2-emissie in Nederland. Het is nog niet bekend hoeveel hiervan daadwerkelijk bruikbaar is.

7 Gebruik van aardgas in de verschillende sectoren

De mogelijkheden van aardgas zijn in elke sector verschillend door verschillen in de relatieve prijs van energie, de kosten van CO_2-reductie en/of energievraagbeperking, concurrentieoverwegingen en bereidheid om te betalen voor energie uit hernieuwbare bronnen.

Transport
Aardgas vervult hier als energiebron en als energiedrager nauwelijks een rol, nu niet en waarschijnlijk in de komende decennia ook niet. De efficiëntiewinst van aardgasvoertuigen is gering ten opzichte van (de mogelijkheden van) benzine, LPG en diesel. Op korte termijn kan aardgas een rol spelen omdat het snel de luchtkwaliteit in steden helpt verbeteren, maar dat kan ook met de huidige dieselmotoren.
Kan aardgas dan de voorbereider zijn voor groen gas of waterstofgas in de transportsector? Dat lijkt ook niet waarschijnlijk omdat er makkelijkere toepassingen zijn om groen gas te gebruiken (gebouwde omgeving).
De brandstofmix in deze sector zal de komende decennia wel sterk gaan veranderen waarbij de 2^{e} generatie biobrandstoffen en elektriciteit hoge ogen gooien. Het aardgas kan als energiebron een rol spelen bij de productie van die elektriciteit, mits dit met een zeer hoog rendement wordt geproduceerd.
De voordelen van aardgas als transportbrandstof nu, hebben vooral een basis in de lage ecotax in vergelijking met de hoge accijns op diesel en benzine.

Gebouwde omgeving

De gebouwde omgeving is een sector die aan het einde van de transitieperiode zonder economische schade geheel op hernieuwbare energie kan draaien. Nieuwe gebouwen worden nu al mondjesmaat opgeleverd die per saldo geen fossiele energie meer gebruiken. Dat wordt de trend voor de komende decennia. Dat betekent een terugtredende rol van aardgas als energiedrager in de gebouwde omgeving, eerst in de nieuwbouw vervolgens in de herbouw en tot slot in de bestaande bouw. In deze deelsector zal met een verhoging van de energie-efficiëntie (HRe-ketel, (gas/elek.)warmtepomp, zonnecombi) het aardgasgebruik afnemen en op gegeven moment groen gas gaan worden. Gas zal dus een beperkte rol blijven spelen als energiedrager voor grotere, bestaande woningen.

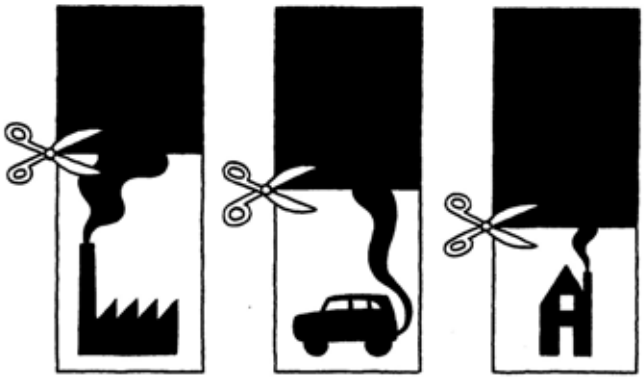
Industrie

Gas is een geschikte energiedrager om met zeer geringe verliezen grote hoeveelheden energie bij de industrie af te leveren die daar efficiënt gebruikt kan worden. Geen stof, geen stank. Ondanks de efficiëntiesprongen die gaan plaatsvinden in de industrie zullen er aan het einde van de transitieperiode nog steeds grote energiestromen naar toe gaan voor stoom en kracht. Dat zal gebeuren met aardgas en elektriciteit. Bij de grootste industrieën waar geconcentreerd veel CO_2 vrij komt kunnen forse hoeveelheden CO_2 worden afgevangen en worden opgeslagen (20 Mton/jaar uit industriële processen).

Elektriciteitproductie

Een kwart van de fossiele brandstofinzet in Nederland wordt thans in de elektriciteitssector omgezet in elektriciteit. Hiervan is ruim de helft aardgas. Het gemiddelde rendement ligt op 45% maar kan technisch veel hoger (60% voor STEG). Door gecombineerde opwekking van warmte en kracht kan ook, mits een zo hoog mogelijk totaalrendement wordt bereikt, nog een forse efficiëntieverbetering worden behaald. Dit kan zowel bij gebruikers in de industrie, glastuinbouw als huishoudens. Kolencentrales zullen door de milieu-eisen steeds moeilijker en kostbaarder worden om te plaatsen in stedelijke gebieden zoals Nederland. Door de beprijzing van CO_2-emissies zal de concurrentiekracht van WKK-installaties groter worden.

Door efficiëntieverbetering wordt elektriciteit uit aardgas bij een CO_2-prijs van € 40 per ton al interessanter. Daar kan dan, indien haalbaar, CO_2-opslag mee worden gecombineerd (circa 40 Mton/jaar voor elektriciteitsproductie).

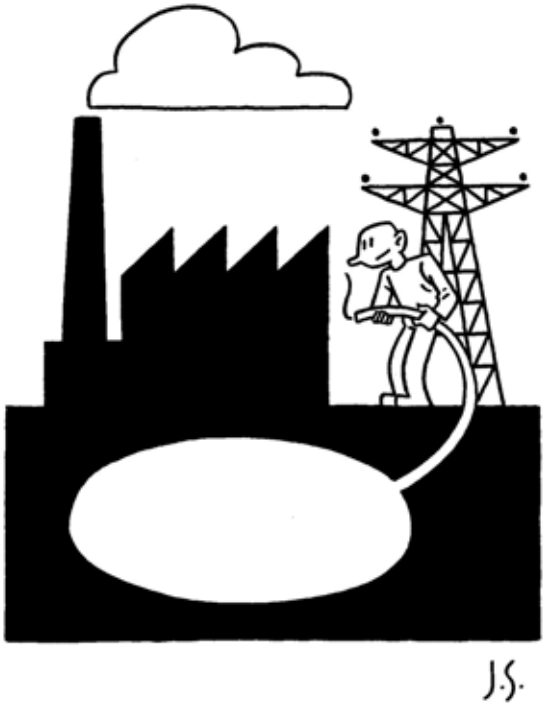


Figuur 6 Toekomstige rol aardgas, hernieuwbaar en overig fossiel per sector (met CO_2 opslag)

	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Elektriciteit
Groei	• Energie-extensieve groei	• Beperking groei mobiliteit	• Energie-extensieve groei	
Efficiëntie	• Isolatie • Zuinige apparaten	• Zuinige voertuigen	• Efficiënte processen	• Zuinige apparaten • Efficiënte centrales
			• WKK	
Hernieuwbaar	• Bodemwarmte • Zonnecombi's • Groen gas	• 2e generatie Bio-brandstoffen	• Zeer beperkt	• Wind • Biomassa
Fossiel	• Afnemende afzet aardgas	• Toenemend elektrisch vervoer	• Behoud rol aardgas	Keuze: • Kolen+CO_2-opslag • Aardgas • Aardgas +CO_2-opslag • Kernenergie

In Figuur 6 zien we de huidige rol van aardgas verschuiven van de gebouwde omgeving, industrie en elektriciteitsproductie, naar energiedrager en bron voor de industrie waar ook alle elektriciteit uit fossiele brandstoffen wordt geproduceerd. De energievraag in alle sectoren is constant verondersteld er van uitgaande dat de efficiëntieverbetering de welvaartgroei mogelijk maakt.
Het beeld dat hiermee ontstaat is dat aardgas een energiedrager/energiebron voor de industrie en elektriciteitsproductiesector wordt. Het voordeel van aardgas is dat het op plaatsen kan worden geleverd die voor andere energiebronnen uiterst veeleisend zijn (kolenstook midden in de stad komt alleen in Amsterdam en Nijmegen voor, en zal in de toekomst waarschijnlijk heel moeilijk te herhalen zijn). De regelbaarheid, nodig bij een groot aandeel hernieuwbare elektriciteit, is ook uiterst goed zodat WKK-toepassingen bij zowel industrie als elektriciteitsproductiesector voor de hand ligt. Het zou goed denkbaar zijn als elektriciteitsbedrijven verplicht worden om hun productie-installaties bij industriële bedrijven te plaatsen om zodoende optimale WKK-installaties te bedrijven. Een andere mogelijkheid is een heffing op de lozing van warmte op het oppervlaktewater in te voeren.

8 Elektriciteit uit kolen of aardgas?

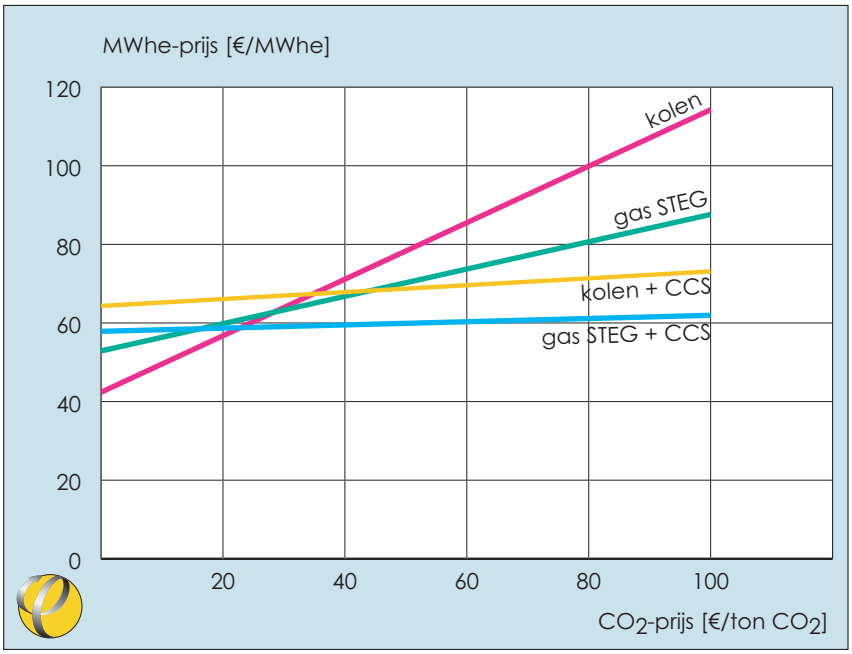


De meest prangende keuze doet zich voor bij het gebruik van fossiele brandstoffen voor de elektriciteitsproductie. Ook al maximaliseren we de efficiëntieverbetering dan zal er toch nog een vraag van ruim 100 TWh elektriciteit blijven bestaan die voor een groot deel met hernieuwbare energie kan worden gedekt en voor het andere grote deel door fossiel gestookte centrales: kolen, kernenergie of aardgas.
De vraag voor de elektriciteitsvoorziening is of we als Nederlandse samenleving durven in te zetten op een schone elektriciteitsvoorziening met bekende technieken, gevolgd door beperkte aanpassingen door vervanging van het aardgas door groene gassen en eventueel afvangen van de CO_2. Of kiezen we voor de brandstofdiversificatie met kolen met de nog niet commercieel realiseerbare CO_2-afvangtechniek?
Belangrijke factoren hierbij zijn:

- de prijs die de industrie betaalt voor elektriciteit
- voorzieningszekerheid
- leveringszekerheid
- warmtelozingen
- bedrijvigheid

Prijs
Elektriciteit uit aardgas is relatief schoon, maar is naar de mening van de industrie te duur. Daarom pleiten zij voor kolen en/of kernenergie. Hierbij wordt echter te weinig rekening gehouden met de prijs voor CO_2 die de komende decennia moet worden betaald. Uit figuur 9 blijkt dat bij een prijs van circa € 40 per ton CO_2 en een prijsscenario met hoge energieprijzen, aardgas goedkoper is dan elektriciteit uit kolen (met CO_2-opslag). Daarbij is nog geen rekening gehouden met de prijs voor NO_x en SO_2 die voor kolengestookte elektriciteit hoger is dan voor aardgas.

Figuur 7 Kostprijs elektriciteit van verschillende technieken bij toenemende CO_2-prijzen



Als Nederland vooral gebruik gaat maken van aardgas lopen de Nederlandse bedrijven het risico dat ze meer moeten gaan betalen voor elektriciteit dan in andere landen waar een andere brandstofmix geldt. Andersom is het natuurlijk ook mogelijk, als de CO_2-prijzen boven de € 50 per ton CO_2 stijgen., en/of de kolenprijs harder stijgt dan de gasprijs, dat elektriciteit uit kolen relatief duurder wordt.

Voorzieningszekerheid
In hoofdstuk 3 hebben we uitvoerig gekeken naar de voorraden aardgas in de wereld. Als we uitgaan van een echte energietransitie waarbij we over 50 jaar nog maar een fractie aan fossiele energie gebruiken, dan kan aardgas heel goed die overstap helpen maken zonder dat de voorzieningszekerheid in gevaar komt.

Leveringszekerheid
Het is zelfs zo dat de leveringszekerheid met aardgas toeneemt doordat dit een zeer goed regelbare elektriciteitsproductie oplevert. We beschikken in Nederland niet over grote waterkrachtreservoirs die pieken en dalen in vraag kunnen koppelen aan basislastcentrales op kolen en/of kernenergie. Aardgasgestookte elektriciteitscentrales kunnen de flexibiliteit leveren die nodig is als er een groter aandeel hernieuwbare energie komt.

Warmtelozingen
Met de toenemende fluctuaties in de waterdebieten van de grote rivieren ten gevolge van de klimaatverandering kan het in de toekomst vaker voorkomen (zoals in 2003) dat centrales op halve kracht moeten produceren door beperking aan de warmtelozingen. Een gasgestookte centrale heeft per geproduceerde kilowattuur een 25% lagere warmtebelasting dan een kolengestookte centrale. Bij gebruik van industriële WKK-installaties is de warmtebelasting voor het oppervlaktewater nog kleiner.

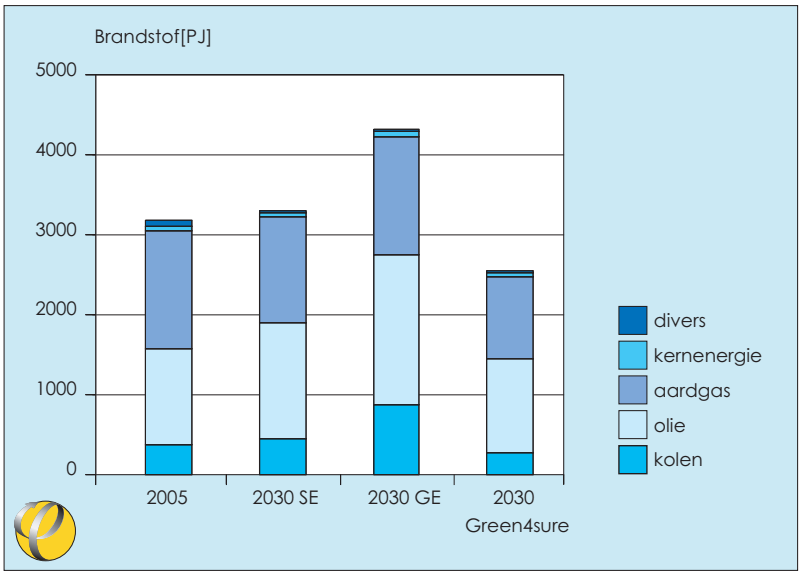
Bedrijvigheid
Nederland is al ruim een halve eeuw gasland en heeft zodoende de nodige ervaring met de productie van gasinstallaties, het transport en de geologie verbonden aan gaswinning. In de komende transitieperiode ligt hier een mogelijkheid om deze ervaring te gebruiken voor de afvang en opslag van CO_2. Dat wordt vaak gekoppeld aan het gebruik van kolen, maar een aardgascentrale of een groot industrieel bedrijf (raffinaderij, kunstmestfabriek) is ook zeer goed aan te sluiten op een CO_2-opslagsysteem.

Nederland en Europa
Kan Nederland er zelfstandig voor kiezen om vooral aardgas te gebruiken? Die vraag doet zich regelmatig voor nu de markt is geliberaliseerd en CO_2 een prijs heeft gekregen via het EU-ETS (emission trading scheme). Het antwoord is 'een beetje' omdat nevenaspecten als locatievergunningen voor nieuwe centrales maar ook overheidsinstrumenten als heffing op warmtelozingen, NO_x-prijs, luchtkwaliteit, medebepalend zijn voor de keuzes van investeerders in nieuwe elektriciteitscentrales. Nu al is te zien dat er veel plannen zijn voor kolencentrales, maar dat er recent vooral beslissingen zijn genomen voor aardgasgestookte centrales (InterGen, EnecoGen). Investeerders zien dat met de huidige brandstofprijzen en CO_2-plafonds, aardgascentrales de kleinste risico's met zich meebrengen. De Nederlandse overheid zal geen expliciete keuze kunnen maken voor aardgas, maar wel indirect door bij locatiebeslissingen van elektriciteitsproducenten de lokale emissies (warmte, NO_x, fijn stof) een belangrijke rol te laten spelen. Vanuit de overheid bezien is er ook geen reden om bij voorbaat te kiezen voor aardgas voor elektriciteitproductie. Als kolencentrales aan dezelfde eisen als aardgascentrales kunnen voldoen is dat voor de Nederlandse samenleving om het even. De verwachting is echter dat aardgasgestookte centrales beter, en daardoor uiteindelijk goedkoper, aan hoge milieu-eisen kunnen voldoen.

9 Beleidscontext

CE Delft heeft in 2007 voor de milieu- en vakorganisaties het groene energieplan Green4sure opgesteld. Hierbij is het accent gelegd op het realiseren van forse reductie van de CO_2-emissie. In de onderhavige notitie wordt gebruik gemaakt van het gedachtegoed dat in Green4sure is ontwikkeld.

Figuur 8 Brandstofmix in verschillende energiescenario's



Aardgas is in Green4sure de belangrijkste fossiele energiebron die zeer efficiënt wordt gebruikt, zonder dat het absolute volume toeneemt. Het is zelfs zo dat het absolute volume in de referentiescenario's (SE, Strong Europe en GE, Global Economy) fors hoger is dan in Green4sure. Hiertegen zijn nooit bezwaren geuit, dus moet het goed mogelijk zijn om met minder PJ aardgas, aardgas toch een belangrijkere rol te laten spelen in onze energievoorziening in de komende decennia. In Green4sure is de strategie uitgewerkt van limitering, en daardoor beprijzing, van CO_2. Daarbij is een differentiatie gekozen van plafonds in drie compartimenten van de economie. Industrie (inclusief E-sector en glastuinbouw), transport en gebouwde omgeving. Vervolgens is een inschatting gemaakt van de technieken die door consumenten en bedrijven worden ingezet. Hierdoor ontstaat een afnemend belang van aardgas in de gebouwde omgeving (ten gunste van hernieuwbare energie), een gelijkblijvende rol van aardgas in de industrie en verkeer en toenemende rol van aardgas in de elektriciteitssector.

10 Wat is nodig voor de transitierol voor aardgas?

Een serieuze rol voor aardgas als transitiebrandstof ontstaat door:

- beperken van de vraag naar energie door efficiëntieverbetering, maar ook door groei van de welvaart met lagere energie-intensiteit,
- maximaal inzetten op vergroten aandeel hernieuwbare energie, zowel elektriciteit als warmte als motorbrandstoffen,
- voor de resterende vraag naar fossiele energie vooral aardgas gebruiken omdat het de schoonste fossiele brandstof is. Dit kan door:
  - gebruik van de eigen voorraad aardgas in Nederland,
  - import van aardgas uit andere landen tbv voorzieningszekerheid;

– alleen nog elektriciteitsproductie in WKK-installaties en/of STEG met hoogste rendementen (meer dan 60%) en zo nodig CO_2-opslag;

Het voordeel van maximaal aardgas voor het fossiele deel van de energievoorziening, is dat er een makkelijkere introductie ontstaat van hernieuwbare energiebronnen doordat aardgas voor de leveringszekerheid zorgt op momenten dat hernieuwbare bronnen niet snel een grotere vraag kunnen leveren of afnemen in productie door bijvoorbeeld windstiltes.

Overheidsinstrumenten

In Green4sure is veel aandacht besteed aan de overheidsinstrumenten (EU en Nederland) die ervoor moeten zorgen dat de huidige energievoorziening transformeert naar een duurzame. Iedereen is het er over eens dat de overheid veel invloed heeft op de mate van onze energievraag, maar ook op de inzet van de verschillende brandstoffen (beprijzing, vergunningen, innovatiesubsidies, maar ook participatie in nutsinfrastructuur). De hiervoor beschreven visie op de rol van aardgas kan heel goed hand in hand gaan met de beleidsaanbevelingen van Green4sure.

GasTerra kan zijn bijdrage leveren aan de transitie van de energievoorziening door bovenop de huidige betrouwbare levering van aardgas:

- nieuwe zuinige technieken, zoals WKK-installaties als de HRe-ketel, te blijven ontwikkelen samen met marktpartijen;
- nieuwe gassen te ontwikkelen en te gaan leveren, met name groen gas voor de (bestaande) gebouwde omgeving;
- bij de overheid te pleiten voor het beprijzen van vervuilende emissies en warmtelozingen en het financieel waarderen van leveringszekerheid, waardoor aardgas een belangrijke rol kan spelen in de energietransitie.

CE Delft
Oplossingen voor milieu, economie en technologie

Oude Delft 180
2611 HH Delft
tel: 015 2 150 150
fax: 015 2 150 151
e-mail: ce@ce.nl
website: www.ce.nl
Besloten Vennootschap
KvK 27251086

Gas4sure

Aardgas als transitiebrandstof

Achtergrond

Rapport

Delft, april 2008

Opgesteld door: F.J. (Frans) Rooijers
L.M.L. (Lonneke) Wielders
B.L. (Benno) Schepers
H.J. (Harry) Croezen
S.M. (Sander) de Bruyn

1 Transitie van de energievoorziening

1.1 Vooraf

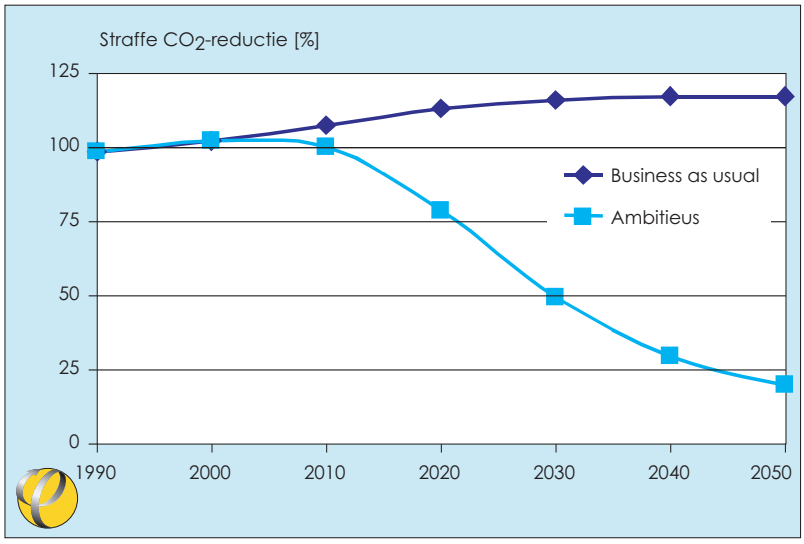
De afgelopen tijd wordt op diverse vlakken gewerkt aan een ingrijpende verandering in onze energievoorziening. Efficiëntieverbetering is sterk toegenomen, maar zal niet voldoende zijn om de milieudoelen te realiseren om de klimaatverandering te beperken. Aardgas heeft al sinds de jaren zestig een belangrijke rol gespeeld in de Nederlandse energievoorziening. Binnen zeer korte tijd veroverde aardgas de gehele markt voor verwarming van gebouwen en voor een deel ook de industriële productie van stoom. Tot slot werd elektriciteit ook meer en meer op basis van aardgas geproduceerd. Vooral dankzij de forse efficiëntieverbetering door STEG-techniek heeft aardgas nu een marktaandeel van 60% van de Nederlandse elektriciteitsproductie. Aardgas is de schoonste fossiele brandstof zowel wat betreft NO_2 en SO_2-emissies als wat betreft de emissies van CO_2.

In dit boekje beschrijven we hoe de Nederlandse energievoorziening geleidelijk kan veranderen met een veranderende rol van aardgas hierin. Natuurlijk heeft GasTerra een commercieel doel om winst te genereren uit deze fossiele energiebron, maar dat ontslaat GasTerra er niet van om na te denken over de beste toepassing van aardgas in de komende decennia. In dit boekje stellen we de vraag of aardgas zo lang mogelijk bewaard moet worden, of dat we het zo snel mogelijk voor specifieke doeleinden ten behoeve van verduurzaming moeten gebruiken.
De vraag die we hier behandelen is welke rol aardgas in de transitie kan spelen naar een duurzame energievoorziening, een energievoorziening in Europa die nog slechts 20% van de CO_2 emitteert van de huidige hoeveelheid (zichtjaar 2050). Wat is de relatie met hernieuwbare energiebronnen, welke concurrentie treedt op en is die goed of juist belemmerend.
Voor de verduidelijking van de route gebruiken we regelmatig het groene energieplan Green4sure dat CE Delft voor de Nederlandse milieu- en vakbeweging heeft opgesteld. Dat is een realistisch scenario met een duidelijke rol voor aardgas, zonder dat we de gehele energievoorziening op aardgas baseren.

1.2 Duurzaamheid en voorzieningszekerheid

De doelstellingen van zowel de Nederlandse als de Europese overheid worden steeds duidelijker: een absolute reductie van de CO_2-emissie van 20 à 30% in 2020. Dat is geen einddoel, maar een doel op weg naar 80-90% CO_2-reductie in de westerse wereld in 2050, met een tussenstation van 50% in 2030.

Figuur 9 Ambitieuze reductie van 80-90% CO_2 reductie in 2050



GasTerra ziet de noodzaak om de milieugevolgen van fossiele brandstoffen, waaronder aardgas zo snel mogelijk te minimaliseren. GasTerra draagt daaraan bij door zuinige gastoepassingen en energiebesparing te stimuleren, onder andere met de stichting Slim met Gas. Daarnaast ziet GasTerra de maatschappelijke vraag naar hernieuwbare energie, waaronder groen gas (gas uit biomassa) ontstaan en wil daar ook nadrukkelijk aan bijdragen. Toch verwacht GasTerra niet dat de Nederlandse, Europese samenleving snel zonder fossiele energie kan. Hernieuwbare energiebronnen zijn duurder dan fossiele energie en kennen nog kinderziektes en zijn niet altijd voldoende zeker. We zijn inmiddels gewend geraakt aan een 99,99% betrouwbare energievoorziening en die eis geldt ook voor een energievoorziening met veel meer hernieuwbare energie.
Aardgas is een belangrijke energiebron in de Nederlandse energievoorziening en zal ook belangrijk blijven voor de voorzieningszekerheid en voor het omschakelingsproces naar een schone energievoorziening.

2 Historische rol aardgas in Nederland en in de wereld

In 1959 boort de NAM naar gas in de buurt van het Groningse plaatsje Slochteren. Het succes van deze proefboring maakte van Nederland een aardgasland. De NAM vindt namelijk één van de grootste aardgasvelden ter wereld. Het Groningen-veld heeft een oppervlakte van ongeveer 900 km^2 en een totale oorspronkelijke winbare gasvoorraad van naar schatting 2.700 miljard m^3.
Bron: www.nma.nl

In 1948 vond de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) aardgas in enkele kleinere gasvelden in Drenthe. Vanaf 1951 was Coevorden de enige gemeente in Nederland die aardgas stookte. Op 29 mei 1959 werd in Kolham bij Slochteren het eerste Groningse gas ontdekt. Deze vondst leidde tot het besluit om geheel Nederland aan te sluiten op aardgas. Op 22 juli 1959 werd het eerste gas gewonnen.

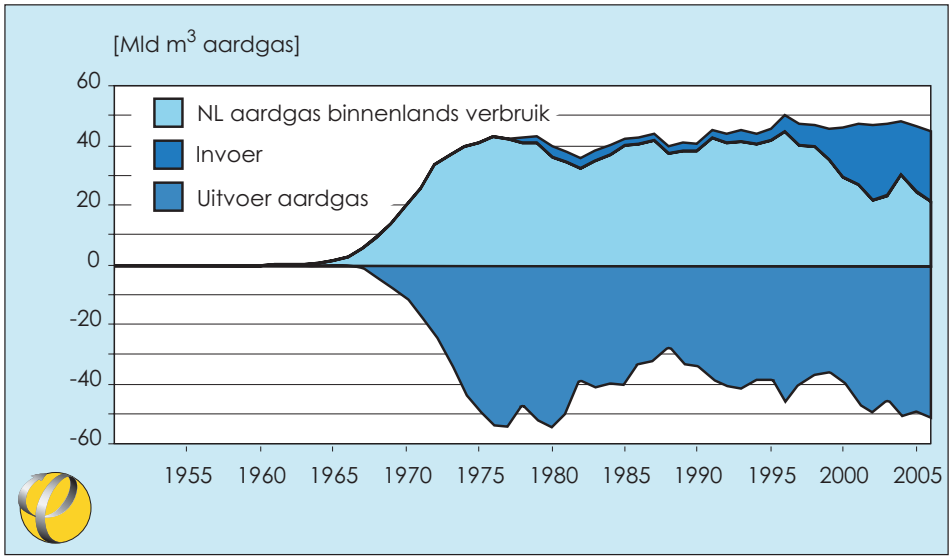
In 1950 waren kolen nog de belangrijkste energieleveranciers, maar de vondst van aardgas brengt in de jaren zestig een grote ommekeer teweeg in de Nederlandse Energiehuishouding. In de periode 1965-1975 neemt het gebruik van aardgas in Nederland zeer sterk toe en wordt gas de belangrijkste energiebron in de Nederlandse huishouding. In de daarop volgende decennia wordt rond de vijftig procent van de Nederlandse energievraag gedekt door aardgas.

In de jaren zeventig en tachtig oefenen de baten uit aardgas tevens een belangrijke invloed uit op het overheidsbudget. De verkoop van gas levert veel geld op en de Nederlandse overheid krijgt een groot deel van de verkoopopbrengsten. Het aardgas in Slochteren heeft dan ook mede bijgedragen aan de welvaartsontwikkeling in Nederland.

Vanaf de jaren negentig wordt het relatieve aandeel van aardgas langzaam kleiner, maar nu wordt nog altijd 44% van de energievraag in Nederland gedekt door aardgas.

Vrijwel direct vanaf de start van de grootschalige winning van aardgas was de productie groter dan de binnenlandse afzet en werd er geëxporteerd. Figuur 10 laat de ontwikkeling van de Nederlandse aardgaswinning zien. Het niveau van winning in 2007 was 72,4 miljard m^3/jaar (CBS, 2008).

Figuur 10 Aardgaswinning verdeeld over binnenlandse afzet en uitvoer[2] (CE Delft en ECN, 2007)



Bron: (CE Delft en ECN, 2007).

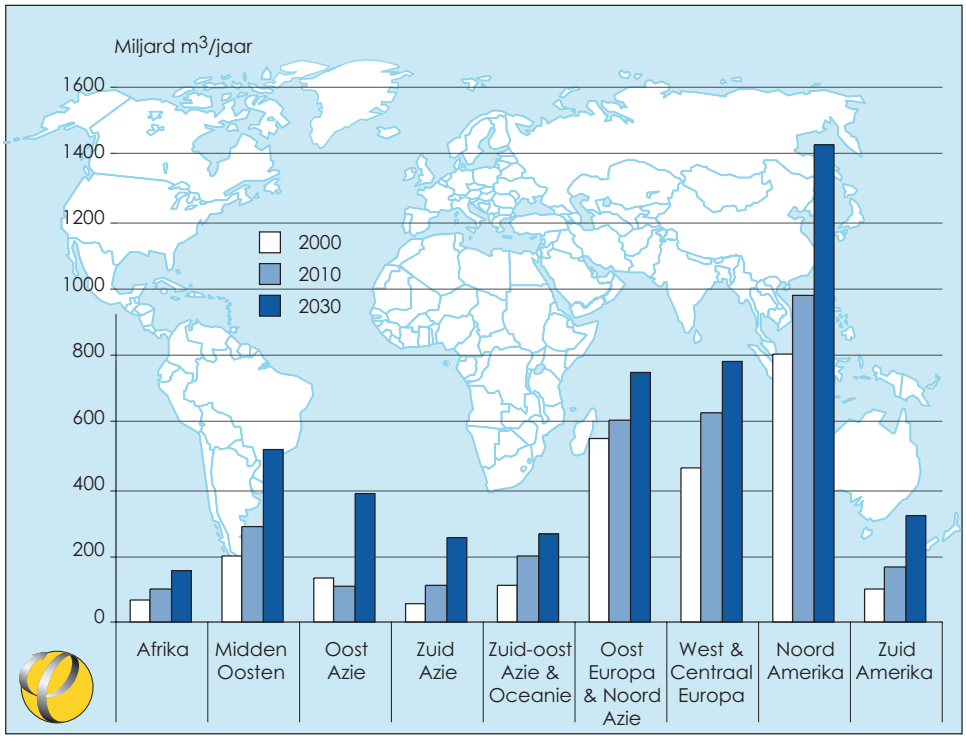
De aardgasconsumptie in Nederland bedroeg in 2006 ongeveer 45 miljard m^3/jaar (CBS, 2008). In Figuur 10 is af te lezen dat in 2005 ongeveer 20 miljard m^3/jaar van dit totale verbruik afkomstig is van Nederlandse bodem en dat de overig 25 miljard m^3/jaar wordt ingevoerd. Naast deze invoer wordt er ook nog ongeveer 50 miljard m^3 Nederlands aardgas per jaar uitgevoerd.
De totale aardgasconsumptie in de Europese Unie bedroeg in 2005 circa 500 miljard m^3/jaar. Hiermee vormt aardgas ongeveer 25% van de totale consumptie aan primaire energie in de EU.

De Europese aardgasconsumptie zal volgens de IGU en EIA, afhankelijk van de marktprijs, in de komende twee decennia gelijk blijven (500 miljard m^3/jaar) tot maximaal toenemen tot 800 miljard m^3/jaar in 2030. Eventuele groei zal vooral plaatsvinden in de elektriciteitssector vanwege een aantal voordelen van aardgas ten opzichte van andere fossiele energiedragers (CE Delft en ECN, 2007). Hier wordt in hoofdstuk 7 verder op ingegaan.

De verwachting is dat ook de totale mondiale aardgasconsumptie de komende jaren zal toenemen. De relatieve groei zal het hoogst zijn in Zuid en Oost Azië. Dit wordt met name veroorzaakt door de sterke economische groei in deze gebieden.

[2] Er is in de figuur vanuit gegaan dat alle ingevoerde aardgas ten goede komt aan de Nederlandse afzet. In de praktijk is Nederland een doorvoerland en zal een gedeelte van het ingevoerde aardgas ook weer worden geëxporteerd.

Figuur 11 Verwachte ontwikkeling in aardgasconsumptie in de wereld in miljard m3/jr



Bron: (IGA, 2006)

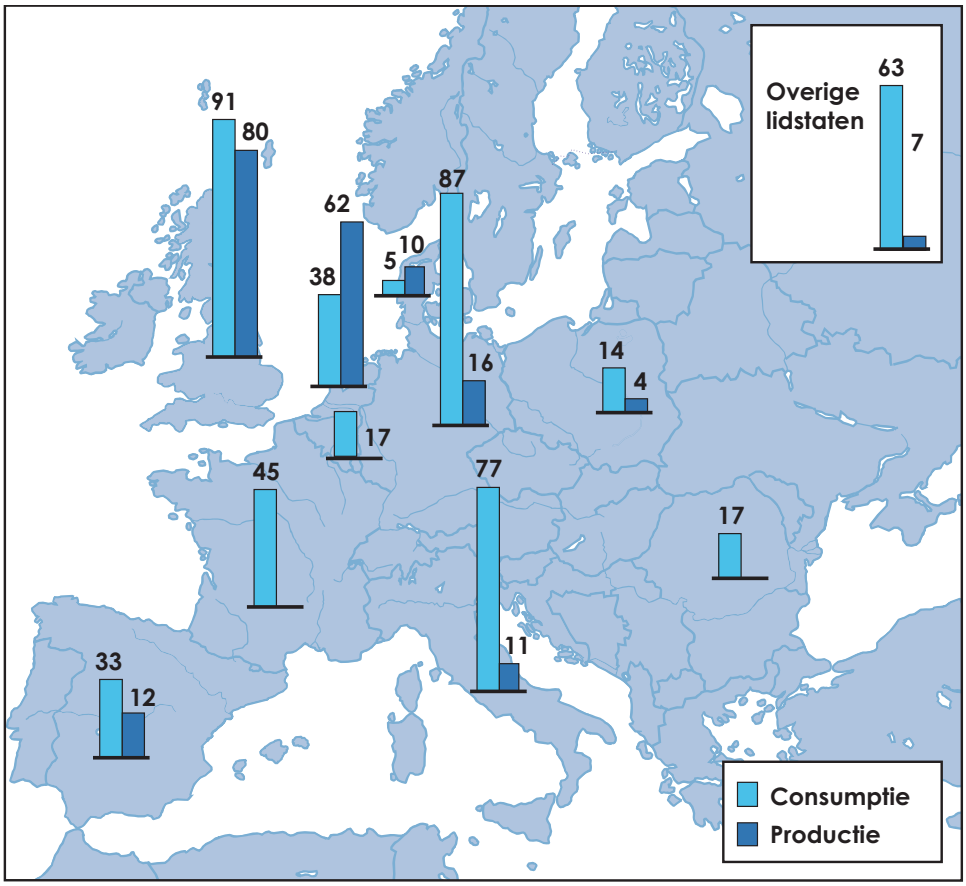
De mondiale vraag stijgt, maar daarnaast zal de gasvraag in 2030 of 2050 uiteindelijk ook in belangrijke mate worden beïnvloed door energiebeleid, bijvoorbeeld door de mate waarop in het beleid wordt ingezet op energiebesparing, gebruik van duurzame energie, CO_2-reductie en CO_2-emissiehandel.

De vraag is nu hoe lang er nog genoeg voorraden zullen zijn om aan de te verwachte stijgende vraag te kunnen blijven voldoen. In het volgende hoofdstuk zal hier verder op ingegaan worden.

3 Beschikbaarheid aardgas in Nederland, Europa, wereld

De consumptie van aardgas in de EU25 van ongeveer 500 miljard m^3/jaar (2005) wordt momenteel nog voor circa 40% gedekt door eigen productie van de verschillende Europese landen. De overige 60% wordt gedekt door pijpleiding-importen en LNG-import (Liquid Natural Gas). De pijpleiding-importen van in totaal 259 miljard m^3 komen met name uit Noorwegen en Rusland. De LNG-import van bijna 60 miljard m^3/jaar komt voornamelijk vanuit Nigeria en Algerije.
De balans tussen de Europese aardgasconsumptie en de aardgasproductie is in Figuur 12 weergegeven.

Figuur 12 Europese aardgasconsumptie en aardgasproductie in 2005 (miljard m^3/jaar)



Bron: (CE Delft en ECN, 2007).

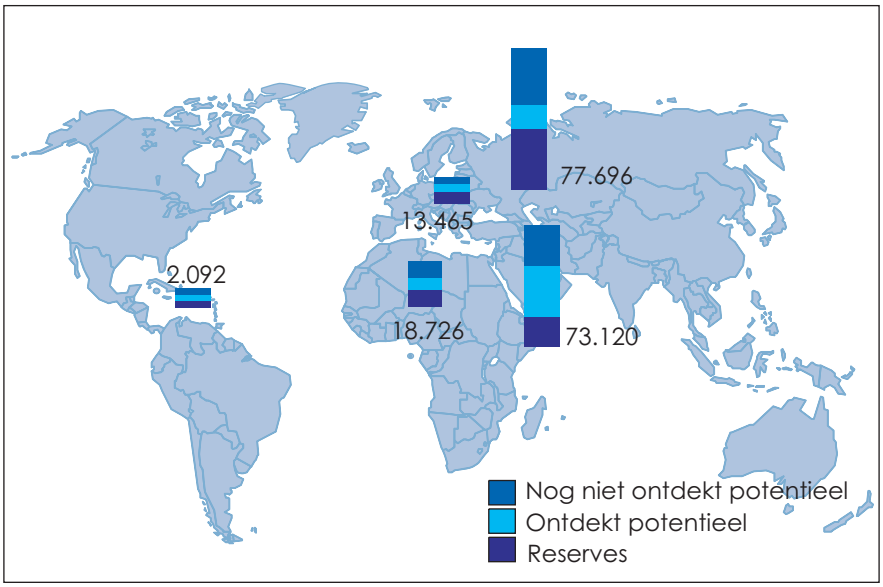
Nederland en Denemarken zijn de enige twee landen binnen de Europese Unie die meer gas winnen dan dat ze zelf consumeren. Ook de voorraadsituatie ligt in Nederland duidelijk anders dan in de andere landen van de Europese Unie. Van de landen in de Europese Unie heeft Nederland de hoogste gasreserves.

Door de OGP (The International Association of Oil & Gas Producers) zijn in 2003 de mondiale voorraadcijfers gepresenteerd. Deze voorraadcijfers moeten met de

nodige slagen om de arm gehanteerd worden gehanteerd als het gaat om de omvang van bewezen en economisch winbare voorraden. Zoals aangegeven heeft Nederland de hoogste gasreserves binnen de Europese Unie. Rusland heeft de hoogste mondiale gasreserves. Deze reserves zijn ruim 25 keer zo hoog als de reserves in Nederland. Gekeken naar de totale mondiale reserves bevindt zelfs bijna 50% van deze reserves zich in Rusland. De reeds ontdekte potentiëlen zijn verder voornamelijk geconcentreerd in Iran, Qatar en de West-Siberische gasvelden. Maar over de mate van beschikbaarheid van een belangrijk deel van deze voorraden wordt door deskundigen getwijfeld (CE Delft, 2007). De mondiale bewezen reserves, voorraden en vermoede voorraden zijn weergegeven in Figuur 13.

Op dit moment is de Europese Unie alleen middels gaspijpleidingen verbonden met Rusland, Algerije en Libië. Leveranties vanuit het Midden Oosten zijn nu nog niet mogelijk omdat deze landen nog niet op het pijpleidingnetwerk zijn aangesloten.

Figuur 13 Bewezen reserves, voorraden en vermoede voorraden aan aardgas in de wereld (mld m^3/jr)[3]



Bron: (OGP, 2003)

In Europa bevindt de grootste reserve, het grootst ontdekte potentieel en het grootst nog niet ontdekt potentieel zich in Noorwegen. In Tabel 1 zijn de Europese bewezen reserves, voorraden en vermoede voorraden weergegeven.

[3] Voorraden aan gashydraten zijn niet opgenomen in het overzicht, de totalen (reserves + ontdekt potentieel + nog niet ontdekt potentieel) zijn cijfermatig weergegeven.

Tabel 1 Bewezen reserves, voorraden en vermoede voorraden aan aardgas in Europa (mld m^3)[4]

Gebied	Bewezen reserves	Ontdekt en nog niet ontdekt potentieel	Totaal
Noorwegen	2.890	4000	6.890
Nederland	1.350	600	1950
Duistland	160	400	560
Groot-Brittannië	480	1500	1980
Ierland	28	100	128
Denemarken	80	0	80
Oostenrijk	24	25	49
Frankrijk	8	0	8
Italië	160	200	360
Hongarije	73	100	173
Polen	100	200	300
Roemenië	630	400	1030

Bron: (OGP, 2003) en (BP, 2007).

Om gevoel te krijgen voor de termijnen waarop aardgas nog beschikbaar is moeten de voorraden worden gedeeld door het huidig verbruik. In Tabel 2 staan enkele van deze ratio's uitgerekend. De ordegroottes van deze cijfers zijn van belang in de discussie over transitiepaden en voor inschattingen van voorzieningszekerheidrisico's.

Tabel 2 Ratio's van voorraden en verbruik (verbruiksniveau 2005)

Gebied	Verbruik (mld m^3/jr)	Ratio (jaar)	
		bewezen, economisch winbare voorraden	totaal aan voorraden
Nederland, binnenlands verbruik	45	30	43
Nederland, verbruik + export	73	18	27
EU25, excl. Noorwegen	500	6	13
Wereld	3.282[5]	19	56

Gebaseerd op (OGP, 2003) en (BP, 2007)

In Europees verband zijn de Nederlandse voorraden aanzienlijk. Dankzij deze gasvoorraden in Nederland is ons land in staat voor een belangrijk deel te voorzien in de eigen energiebehoefte. Als het huidige verbruik wordt gecontinueerd, wordt verschoven zoals in volgende hoofdstukken wordt geschetst en in Green4sure is doorgerekend, kan Nederland met de eigen voorraad, los van importen van gas uit Rusland en Midden-Oosten/Afrika (LNG), 30 - 40 jaar in de vraag voorzien.

In het volgende hoofdstuk zal verder ingegaan worden op het wijze waarop aardgas nu voornamelijk wordt ingezet in de Nederlandse samenleving en welke rendementen daar gehaald worden.

[4] Voorraden aan gashydraten zijn niet opgenomen in het overzicht, de totalen (reserves + ontdekt potentieel + nog niet ontdekt potentieel) zijn cijfermatig weergegeven.

[5] Ten opzicht van verbruiksniveau 2010.

4 Omschakeling naar duurzame energievoorziening

4.1 Doelstellingen

Als we in Europa nog slechts 20% van de huidige CO_2-emissie (t.o.v. 2005) willen bereiken in 2050, dan zal er een ingrijpende verandering nodig zijn in ons energiegebruik van vraag tot en met energiebronnen. Een verdubbeling van de efficiëntie in ons energiegebruik is in een periode van 40 jaar goed mogelijk, maar tegelijkertijd stijgt naar verwachting onze welvaart en wordt de energiewinst weer grotendeels uitgegeven aan nieuwe toepassingen. Zo hebben we de afgelopen jaren een forse toename gezien van de mobiliteitsvraag en van de elektriciteitsvraag bijvoorbeeld voor computers, breedbeeld TV, meer verlichting etc. Dat zal ook de komende decennia gaan gebeuren. Dus de vraag naar energiedragers van huishoudens, automobilisten en bedrijven zal per saldo iets afnemen, maar niet heel veel. Daarom zal een groot deel van de geplande CO_2-reductie moeten komen van hernieuwbare energiebronnen en schone verbranding van fossiele energie.
In Green4sure, het groene energieplan van milieuorganisaties, zien we een forse toename van windenergie (op land en op zee) van biomassa (zowel gebruik restproducten als import van duurzame biomassa).

4.2 Verlaging van de vraag naar energiedragers

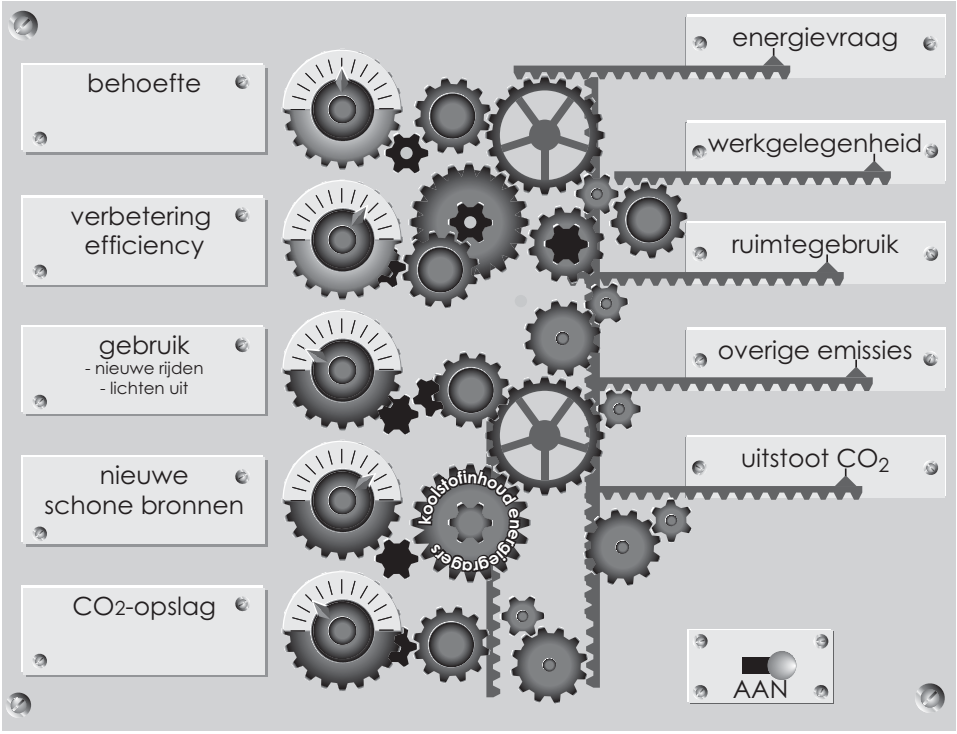
Een leidraad voor veranderingen in de energievoorziening komt voort uit de trias energetica.

De eerste stap vanuit de gedachte van de trias energetica is de beperking van de energievraag. De tweede stap vormt het gebruik van duurzame energiebronnen (bodemwarmte, zonne-energie, wind, biomassa etc.). De derde stap is het efficient gebruik van eindige bronnen.

In het licht van de trias energetica zal de vraag naar aardgas gereduceerd worden, zal onder andere groen gas in toenemende mate ingezet gaan worden en zal het gebruik van aardgas op een zo schone en efficiënte wijze plaatsvinden.

Bij de trias energetica wordt echter geen rekening gehouden met de kosten van de maatregelen en de zogenaamde weerstandskosten (de kosten die consumenten ervaren bij het realiseren van energiebesparend gedrag veroorzaakt door gebrek aan kennis etc., niet zijnde de technische kosten van het realiseren van dat gedrag (CE Delft, 2006)). Tevens doet de trias energetica vermoeden dat eerst stap 1 genomen moet worden, vervolgens stap 2 en als laatste stap 3. In de praktijk zal er altijd sprake zijn van een integrale aanpak. In de volgende figuur is de integrale aanpak weergegeven, het verlagen van de CO_2-emissie is een complex van factoren.

Figuur 14 Overzicht factoren CO_2-emissie



Bron: (CE Delft, 2007a).

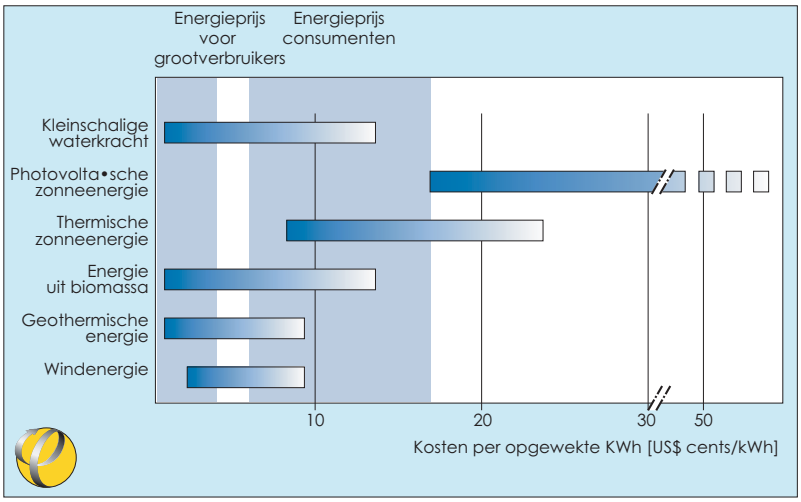
Een van de componenten is het verbeteren van de efficiëntie. Hier is de meeste aandacht van overheid en marktpartijen op gericht. Het gaat dan om zuinige ketels, isolatie, zuinige auto's maar ook WKK-installaties. In de volgende hoofdstukken wordt per sector aangegeven welke ontwikkelingen er zijn op dit punt. Ook wordt ingezet op hernieuwbare energiebronnen wordt ingezet.

4.3 Potenties hernieuwbare energiebronnen

Hernieuwbare energiebronnen zijn er van groot tot klein. We gaan hier geen uitgebreid overzicht geven. Daarvoor verwijzen we naar specialistische studies. In de onderstaande twee figuren hebben we een overzicht gegeven van de potenties en kosten van de belangrijkste hernieuwbare energiebronnen die gebruikt kunnen worden om elektriciteit en warmte te produceren.

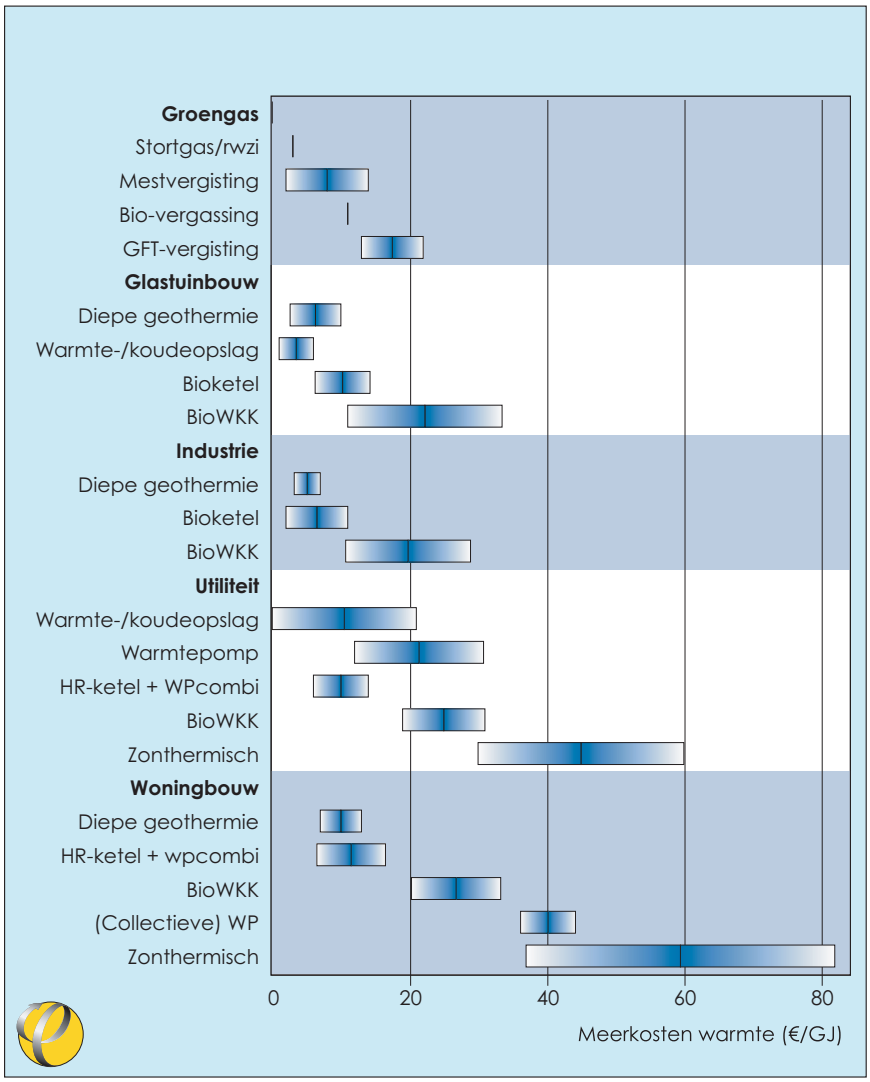
In Figuur 15 is een overzicht gegeven van verschillende technieken om duurzame warmte te produceren. Kanttekening hierbij is dat biomassa niet onbeperkt beschikbaar is en dat er veel partijen zijn die graag gebruik maken van biomassa voor de productie van voedsel, biobrandstoffen, elektriciteit en warmte. Momenteel woedt er een discussie over het duurzame gebruik van biomassa omdat de toenemende vraag leidt tot extra kap van regenwouden en daarmee verlies van natuur en biodiversiteit.

Figuur 15 Kosteneffectiviteit hernieuwbare energie



De kosten zijn weergegeven als meerkosten ten opzichte van conventionele elektriciteit (op basis van een moderne STEG, 60% en een olieprijs van $ 50 per vat). Dit is weergegeven in Figuur 16.

Figuur 16 Meerkosten t.o.v. het gangbare alternatief voor de eindgebruiker per GJ finale warmte[6] in 2020

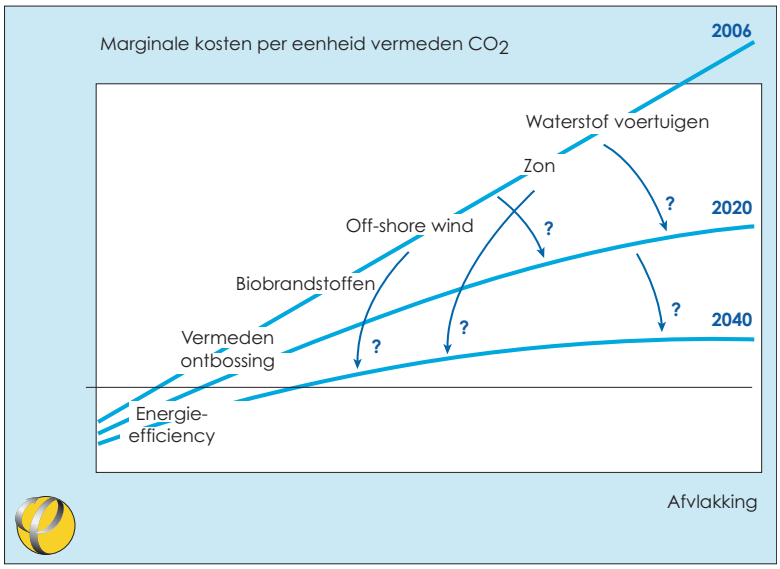


Bron: Ecofys, 2007

Tot slot is het belangrijk om te beseffen dat de kosten van hernieuwbare energie snel zullen dalen, omdat het technieken zijn waar nog slechts beperkte ervaringen mee zijn opgedaan. Dit is weergegeven in Figuur 17.

[6] Tegen de achtergrond van het GE-scenario. Kosten en baten van koude zijn -indien relevant- verrekend in de warmteprijs.

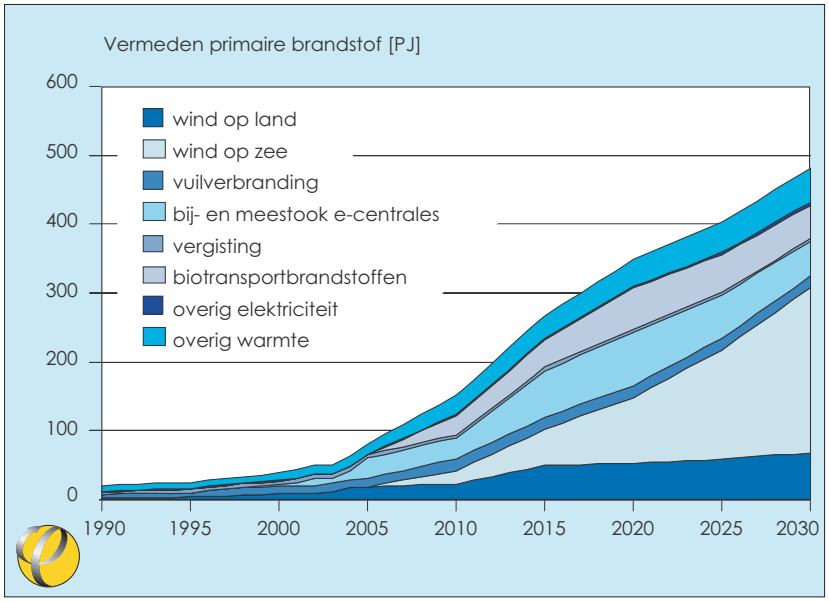
Figuur 17 Kostprijsverlaging nieuwe technieken



4.4 Aardgas als ondersteuning van hernieuwbare bronnen

Hernieuwbare energie neemt in de verschillende energiescenario's en dan met name in Green4sure, een steeds groter deel in van de totale mix van energie-bronnen. Deze hernieuwbare energiebronnen zijn vooral wind op zee, wind op land en biomassa. Zonne-energie speelt tot 2030 nog geen grote rol. Daarna zou dat gestaag kunnen groeien.

Figuur 18 Hernieuwbare energie vermeden primair energie [PJ/jaar]



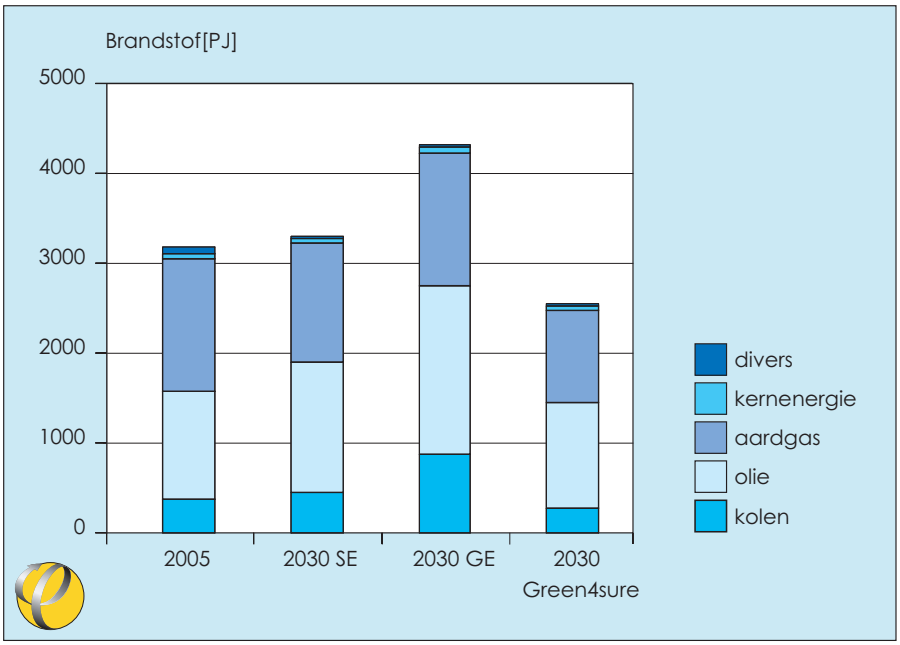
Bron: (CE Delft, 2007b)

Bij het gebruik van hernieuwbare energie is het belangrijk dat er niet getornd wordt aan de leveringszekerheid. Bij het gebruik van (laagwaardige) warmte in de gebouwde omgeving doet dat probleem zich nauwelijks voor. De energiebronnen die zullen gaan voorzien in de lagere vraag naar warmte/koude zullen meestal gecombineerd worden met lokale opslagsystemen.
Voor hoogwaardige warmte (stoom voor de industrie) zal voorlopig vooral gebruik gemaakt blijven worden van aardgas en incidenteel biomassa. Hier doen zich ook geen leveringszekerheidproblemen voor.
Echter, bij de elektriciteitsvoorziening is de leveringszekerheid wel een belangrijk onderwerp. We hebben thans een van de meest zekere systemen op de wereld en de waardering daarvoor bij de klanten is erg groot. Dus ook bij een toenemend gebruik van hernieuwbare energiebronnen zal deze kwaliteit gehandhaafd moeten blijven. Enerzijds kan dat door verschillende hernieuwbare bronnen te gebruiken waarbij de fluctuaties elkaar uitdempen (spreiding windparken, biomassa naast wind). Anderzijds kan aardgas daar een belangrijke rol in (blijven) spelen. Elektriciteitproducerende installaties kenmerken zich door een grote regelbaarheid, binnen zeer korte tijd kunnen gasgestookte (WKK)centrales hun productie sterk verhogen. Andere energiebronnen (kolen, kernenergie) kenmerken zich juist door een trage regelbaarheid. Daarom verwachten we dat aardgas een toenemende rol zal gaan spelen in de elektriciteitsproductie. Hierbij zal de efficiëntie verder omhoog moeten door nieuwste technieken te gebruiken (STEG) en combinatie met hoge efficiënte warmte productie (microWKK, industriële WKK).

4.5 Aardgas in Green4sure

In Green4sure vindt een zeer grote besparing op de vraag naar energiedragers plaats door efficiëntieverbetering bij de energievragers, door beperking van de groei van de vraag naar energiefuncties en door hernieuwbare energiebronnen achter de meter. In de gebouwde omgeving wordt een reductie van 60% van de vraag gerealiseerd waarbij aardgas voor een deel uit de gebouwde omgeving verdwijnt. Maar vooral in de bestaande woningen en gebouwen blijft het nog een belangrijke energiedrager die met nieuwe technieken, zoals de HRe-ketel in de energievraag voorziet. In onderstaande tabel is een vergelijking gemaakt tussen de inzet van de verschillende energiebronnen in 2005, en in drie energiescenario's in het jaar 2030. Green4sure is het enige scenario dat qua CO_2-doelen overeenkomt met de doelen van het huidige kabinet (30% reductie in 2020).

Figuur 19 Brandstofinzet [PJ/jaar]



De totale inzet van aardgas in Green4sure ten opzichte van 2005 leidt tot een afname met 30%. Dit is weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3 Procentuele wijziging per brandstof in de verschillende scenario's in 2030 t.o.v. 2005

	2005	2030 SE	2030 GE	2030 GREEN4SURE
Kolen	100%	120%	237%	73%
Olie	100%	121%	154%	99%
Aardgas	100%	89%	102%	69%
Kernenergie	100%	108%	108%	108%
Divers	100%	24%	24%	4%
Totaal fossiel	**100%**	**104%**	**136%**	**80%**
Hernieuwbaar	100%	472%	184%	659%
Totaal energiebronnen	**100%**	**112%**	**137%**	**93%**

(SE , Strong Economy en GE, Global Europe)

Het aandeel van aardgas is in alle drie de scenario's ongeveer even groot, maar in Green4sure is er een absolute afname van de hoeveelheid fossiele energie die wordt gebruikt. De energievraag is lager en het aandeel hernieuwbare energie is veel groter dan in de andere scenario's, dit is weergegeven in Tabel 4.

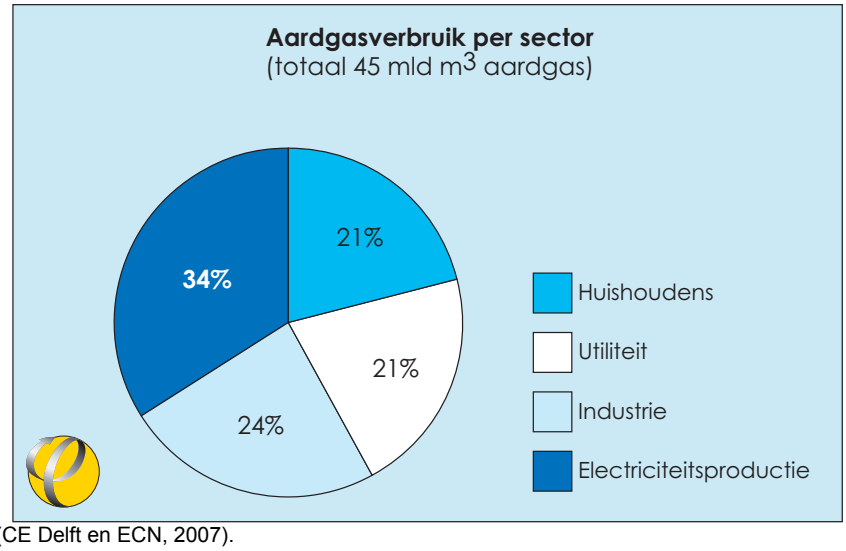
Tabel 4 Aandeel brandstof tov de totale brandstofinzet in de verschillende scenario's in 2005 en 2030

	2005	2030 SE	2030 GE	2030 GREEN4SURE
Kolen	11%	12%	20%	9%
Olie	37%	40%	42%	40%
Aardgas	45%	34%	34%	36%
Kernenergie	1%	1%	1%	1%
Divers	3%	1%	0%	0%
Totaal fossiel	**98%**	**91%**	**97%**	**84%**
Hernieuwbaar	2%	9%	3%	16%
Totaal energiebronnen	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**

4.6 Aardgasverbruik per sector

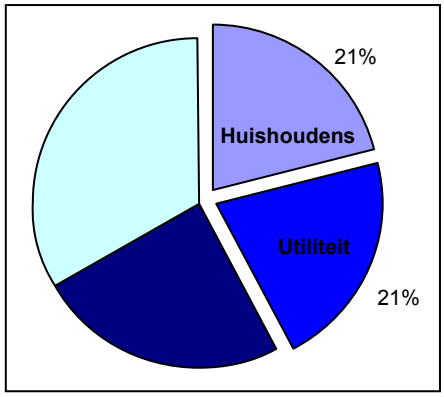
De ontwikkeling naar een duurzame energievoorziening zal niet in alle sectoren op dezelfde wijze plaats vinden. Het gebruik van aardgas, de inzet van duurzame bronnen en de beschikbaarheid van technieken die efficiënter zijn zal per sector verschillen. Het aardgasverbruik verschilt ook per sector. In Figuur 20 is weergegeven hoe het gebruik van aardgas was verdeeld over de verschillende sectoren in 2006. In de hoofdstukken 5,6 en 7 zal verder ingegaan worden op het gebruik, de inzet van duurzame bronnen en de beschikbare technieken per sector bij de overgang naar een duurzame energievoorziening.

Figuur 20 Verdeling verbruiksaldo per sector in 2006



Bron: (CE Delft en ECN, 2007).

5 Aardgas in de gebouwde omgeving

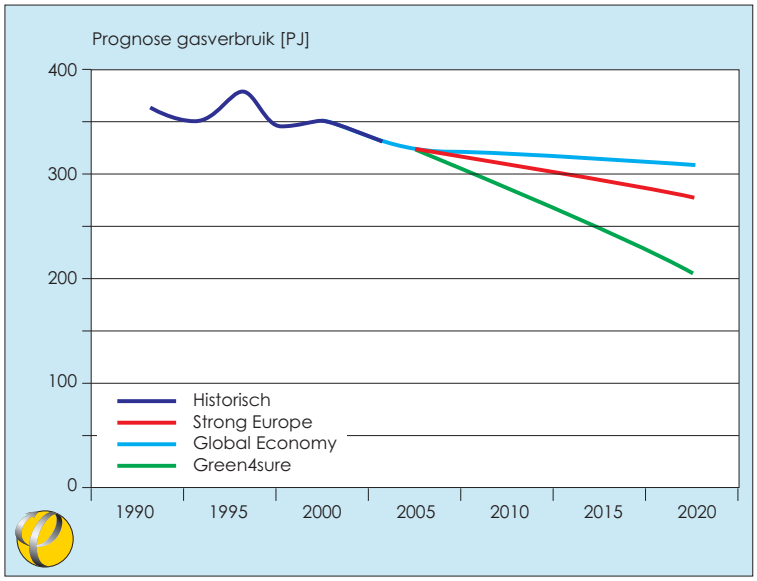


Aardgas heeft op dit moment een belangrijke positie in de gebouwde omgeving. Vrijwel alle bestaande gebouwen hebben een aansluiting op het aardgasnet. Het aardgas wordt vooral ingezet voor ruimteverwarming. In de gebouwde omgeving kan onderscheidt gemaakt worden tussen de woningbouw en de utiliteitsbouw. Binnen de woningbouw worden ook nog de nieuwbouw en bestaande bouw onderscheiden. In de paragrafen 5.1 t/m 5.3 zal ingegaan worden op de rol van aardgas in de woningbouw. In paragraaf 5.4 wordt vervolgens gekeken naar karakteristieken van, en de rol van aardgas in, de utiliteitsbouw.

5.1 Ontwikkeling aardgasverbruik in de woningbouw

Er zijn in de gebouwde omgeving al enkele trendmatige effecten waar te nemen die leiden tot een geleidelijke netto afname van het gasverbruik. Zo neemt de gasafzet per gebouw af door toenemende isolatiegraad en toenemende inzet van efficiëntere technieken.

Figuur 21 Aardgasverbruik in de sector huishoudens



Bron: (Dril en Elzenga, 2005) en (CE Delft, 2007a)

Toenames zijn er door volumegroei en veranderend stookgedrag (meer verwarmde ruimtes en een hogere stooktemperatuur). De trendmatige afname is

Tweegetwee in Figuur 21. Hierin zijn verschillende scenario's (Strong Economy, Global Economy en Green4Sure) weergegeven van de primaire energiebronnen die leiden tot een aardgasverbruik gebruik, waarbij de afzet van het gebruik van zonnestroom in Green4Sure, de gasafzet op gebouwniveau/kleinschalig, wegbestaat en de warmte/koude afnemen, wegbestaat en de warmte/koude afnemen.

Bij extrapolering wordt op basis van de huidige situatie verwacht dat de gas-, stadsverwarming en zonnestroomafzet toenemen.

Tabel 5 Duurzame en efficiënte warmte- en koudeopties voor de nieuwbouw en bestaande bouw

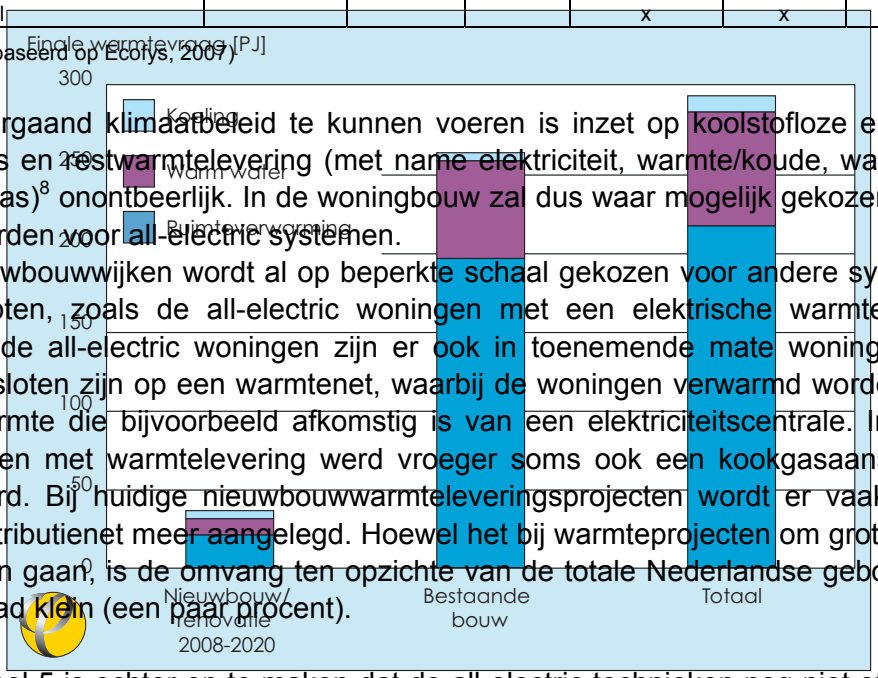
	Nieuwbouw / renovatie			Bestaande bouw		
	Verwarming	Tapwater	Koeling	Verwarming	Tapwater	Koeling
Technieken die **geen** gebruik maken van aardgas						
Warmtepomp	x	x				
Elektr. combiwarmtepomp	x	x				
Warmte/koudeopslag			x			
W/K opslag + warmtepomp	x	x				
Warmtepompboiler					x	
Collectieve bio-WKK (wijk)	x	x				
Diepe geothermie (wijk)	x	x				
Technieken die **op efficiënte wijze** gebruik maken van aardgas						
Gaswarmtepomp				x	x	x
HR-ketel/elektr. warmtepomp				x	x	x
HRe-ketel				x	x	

Bron (gebaseerd op Ecofys, 2007)

5.2 Warmte- en koudevraag in de bestaande bouw en in de nieuwbouw

De totale warmte- en koudevraag in 2020 in het Global Economy scenario voor de bestaande bouw en de nieuwbouw is weergegeven in Figuur 22. Hierin is te zien dat ongeveer 90% van de warmtevraag voor rekening komt van de bestaande bouw en dat de nieuwbouw en renovatie goed zijn voor de resterende 10%. In het Green4sure scenario zal de totale finale warmtevraag ten opzichte van het

Figuur 22 Warmte- en koudevraag in 2020 in nieuwbouw en bestaande bouw (Global Economy)



Om vergaand klimaatbeleid te kunnen voeren is inzet op koolstofloze energiedragers en restwarmtelevering (met name elektriciteit, warmte/koude, waterstof, of biogas)[8] onontbeerlijk. In de woningbouw zal dus waar mogelijk gekozen moeten worden voor all-electric systemen.

In nieuwbouwwijken wordt al op beperkte schaal gekozen voor andere systeemconcepten, zoals de all-electric woningen met een elektrische warmtepomp. Naast de all-electric woningen zijn er ook in toenemende mate woningen die aangesloten zijn op een warmtenet, waarbij de woningen verwarmd worden met restwarmte die bijvoorbeeld afkomstig is van een elektriciteitscentrale. In deze gebieden met warmtelevering werd vroeger soms ook een kookgasaansluiting geleverd. Bij huidige nieuwbouwwarmteleveringsprojecten wordt er vaak geen gasdistributienet meer aangelegd. Hoewel het bij warmteprojecten om grote locaties kan gaan, is de omvang ten opzichte van de totale Nederlandse gebouwenvoorraad klein (een paar procent).

Uit Tabel 5 is echter op te maken dat de all-electric technieken nog niet of in beperkte mate geschikt zijn voor de bestaande bouw. Dit heeft te maken met ruimtegebruik (bv bij de zonneboiler) of met het ontbreken van een lage temperatuursverwarming die noodzakelijk is in combinatie met een elektrische combi-

[8] Deze energiedragers zijn koolstofloos, maar (nog) niet altijd zonder CO_2 bij productie. Biogas is weliswaar niet koolstofloos, maar het betreft dan kortcyclisch koolstof uit niet-fossiele bronnen.

warmtepomp. In de bestaande bouw is sprake van de zogeheten systeemweerstand, het is complex en kostbaar om het huidige systeem van aardgasvoorziening te vervangen door all-electric. Aardgas zal voorlopig dus nog een dominante rol blijven spelen in de voorziening van warmtevraag. In 2004 werd 90% van de woningen in Nederland verward met CV's of gaskachels, 5,6% met blok- of wijkverwarming en 3,7% met stadsverwarming (CE Delft en ECN, 2007). In de volgende paragraaf wordt verder ingegaan op de mogelijkheden voor efficiënte gastechnieken voor in de bestaande bouw.

5.3 Duurzame en efficiënte warmteopties voor de bestaande bouw.

Hoewel er in de bestaande bouw de komende jaren nog sprake is van systeemweerstand en het niet eenvoudig is om over te gaan op all-electric, kan wel in steeds grotere mate gebruik gemaakt gaan worden van technieken met een hoge efficiëntie en betere milieuprestatie om in de warmtevraag te voorzien, zoals de HRe-ketel (de opvolger van de HR-ketel) en de (gas)warmtepomp.

5.3.1 De ontwikkeling, efficiëntie en kosten van de HR-ketel

De sterke verbetering van CV-systemen is te wijten aan de rendementsverbetering die de afgelopen jaren zijn doorgevoerd.
De ontwikkeling van de HR-ketel startte in 1978 binnen Gasunie Research in Groningen (nu GasTerra). In 1981 konden de eerste Nederlandse ketelfabrikanten dit toestel dankzij het ontwikkelingswerk in Groningen op de markt brengen. De HR-ketel leverde een forse energiebesparing, want een ketel met een rendement van 75% was toen normaal. Nu worden er jaarlijks honderdduizenden HR-ketels geplaatst in Nederland. Het toestel is steeds verder geperfectioneerd en er zijn zelfs modellen met een rendement van 109%.

Onderscheiden naar rendement, heb je op dit moment nog de keuze uit drie keteltypen. Verder zijn er nog een aantal alternatieve verwarmingsbronnen zoals de gaskachel. De rendementen van de keteltypen en alternatieve opties zijn weergegeven zijn in Tabel 6.

Tabel 6 CV-ketels met verschillend rendement

Type ketel	Rendement
Conventionele ketel	70 - 80%
Verbeterd Rendement ketel (VR-ketel)	80%
Hoog Rendement ketel (HR107 ketel)	107%[9]
Alternatieve verwarmingsbron	***Rendement***
Houtkachel van speksteen of tegel	90%
Gaskachel	60-80%
Houtkachel van metaal	60% (inbouw) – 75% vrijstaand
Open haard	10 – 20 %

Bron: Milieucentraal, 2007

[9] In HR-ketels zit een warmtewisselaar waarin de waterdamp uit de rookgassen, die ontstaan bij de verbranding van aardgas, worden gecondenseerd. De warmte die daarbij vrijkomt wordt afgestaan aan het verwarmingswater. Dit wordt opgeteld bij het rendement dat door de ketel zelf uit aardgas wordt gehaald.

Een HR-ketel wordt financieel interessant wanneer jaarlijks meer dan 1.500 m³ gas wordt verbruikt. Bij dit verbruik wordt de aanschaf van de duurdere ketel, en de duurdere installatie en duurder onderhoud gecompenseerd door de energiebesparing (Milieucentraal, 2007). Er is uitgegaan van een aanschafprijs zonder installatiekosten, een gasprijs van € 0,56 per m^3 en een gelijkblijvende gasprijs gedurende 15 jaar.

Tabel 7 Investeringskosten en terugverdientijden (TVT) van verschillende CV-ketels

	Aanschaf-prijs[10]	Besparing (m^3/jaar)[11]	Besparing (€)	TVT t.o.v. gewone CV	Winst na 15 jaar
Conventionele ketel	€ 1265,-	--	--	--	--
VR-ketel	€ 1393,-	120	€ 67	1,9 jaar	€ 880
HR107-ketel	€ 1668,-	337	€ 189	2,1 jaar	€ 2428

De potentiële opvolgers van de HR-ketel moeten ook weer een belangrijke milieuwinst leveren. In de opvolgers wordt het opwekken van elektriciteit en warmte gecombineerd in eigen huis. De ketel wordt dan een thuiscentrale, de zogenaamde HRe-ketel.

5.3.2 De ontwikkeling van de HRe-ketel

De HRe-ketel, ook wel microwarmtekrachtinstallatie (micro-wkk) genoemd, is een HR-combiketel die zowel warmte als elektriciteit produceert. De besparing wordt gerealiseerd doordat minder elektriciteit hoeft te worden gekocht van het elektriciteitsbedrijf. Grote elektriciteitscentrales kunnen de laagwaardige warmte niet gebruiken en hebben zodoende een lager rendement.

De ontwikkeling van de HRe-ketel is de afgelopen jaren snel gegaan. Enkele grote ketelfabrikanten hebben reeds prototypes van de HRe-ketel gepresenteerd en ook kleinere fabrikanten zijn volop bezig met de ontwikkeling.
Op dit moment worden verschillende technieken toegepast in de HRe-ketel: de stirlingmotor, de ORC (Organic Rankine Cycle) en de brandstofcel. Elk van deze technieken bevindt zich in een andere fase van ontwikkeling. Van deze drie technieken is de toepassing de stirlingmotor het verst gevorderd en is voor de korte termijn het meest hoopgevend. Met deze techniek worden de eerste veldtesten uitgevoerd. De verwachting is echter dat ook zeer snel veldtesten met andere technieken uitgevoerd zullen worden.

10 Bron: Milieucentraal, 2007
11 Bron: Milieucentraal, 2007

Innovatie: HRe ketel

In ieder huishouden een kleine, efficiënte elektriciteitscentrale, dat is het principe van de nieuwste generatie CV-ketels. De HRe ketel (Hoog Rendement elektra) gaat aan wanneer er warmte gevraagd wordt, maar naast warmte produceert de ketel dan ook elektriciteit.

De warmte die vrijkomt bij de gasverbranding wordt gebruikt voor de aandrijving van de stirlingmotor. Deze motor maakt simpel gezegd gebruik van het uitzetten van gas bij verhitting en het krimpen van gas bij afkoeling. Hij levert hiermee op een efficiënte manier elektriciteit. De HRe ketel is een vorm van micro WKK. De door de ketel geleverde elektriciteit is efficiënter geproduceerd dan die van grote elektriciteitscentrales omdat de warmte in de ketel nuttig gebruikt wordt terwijl in de centrale een groter deel van de warmte verloren gaat
De Nederlandse ketelfabrikant Remeha test de HRe ketel momenteel volop. Als de marktintroductie goed verloopt wil Remeha in Apeldoorn een productielijn opzetten. Verschillende plaatsen in het Noorden van het land (Energy Valley) hebben interesse getoond in het opzetten van productiefaciliteiten voor de stirlingmotoren.

De HRe is minder geschikt voor woningen met een lage warmtevraag. Voor woningen die na 2000 zijn gebouwd is de warmtevraag te laag om tot rendabele toepassing te komen (bij een meerprijs van € 1500,-). Tevens is een micro-wkk alleen geschikt voor een woning die niet is aangesloten op een collectief warmtesysteem.

5.3.3 Efficiëntie, rentabiliteit en kosten HRe-ketel

De rentabiliteitsberekening van een HRe-ketel gaat uit van een meerprijs (t.o.v. een HR-ketel) van € 1500 per toestel op het moment dat deze is uitontwikkeld en seriematig wordt geproduceerd. Bij een gasprijs van € 0,57, een elektriciteitsprijs van € 0,21, een rente van 5% bij een afschrijvingstermijn van 10 jaar en een elektrisch rendement van 15% is de ketel rendabel vanaf een warmtevraag van 22 GJ voor ruimteverwarming en 8,6 GJ voor tapwater (bij elkaar 900 m^3 met een HR-ketel). Deze 900 m^3 aardgas is een belangrijk criterium voor de selectie van woningen die in aanmerking kunnen komen voor rendabele toepassing van de HRe-ketel.

Door verbetering van het elektrisch rendement of verlaging van de meerprijs kan deze grens worden verschoven naar een lagere warmtevraag per woning. Nieuwbouwwoningen zullen door verdere verlaging van de EPC buiten de doelgroep blijven vallen, maar ook bestaande woningen met een laag verbruik vallen uiten de doelgroep. Als het elektrisch rendement in de buurt van de 25% komt kan een HRe-ketel al rendabel zijn op basis van de warmtevraag voor warm tapwater die stijgende is.
Ook is het mogelijk dat de energieprijzen verder stijgen waardoor de grens van rentabiliteit verandert.

Als we uitgaan van een toenemend marktaandeel van 5% in 2012 tot 75% in 2020 voor het segment woningen dat een verbruik heeft hoger dan 900 m^3, dan ontstaat het volgende realistische potentieel.

Tabel 8 Potentieel bij geleidelijke marktintroductie

Vervangingsmarkt per jaar	2010	2012	2013	2014	2020	TOTAAL
Totaal (*1000)	440	440	440	440	440	4840
HRe (aandeel)	0%	5%	15%	30%	75%	
HRe-ketels (*1000)	0	15	40	75	190	985
Overig	440	430	415	390	310	4165

Bij een marktpenetratie van 1 miljoen micro-wkk's in 2020 in Nederland, is een realistische besparing van ruim 1 Mton CO_2 te behalen. Dit is de besparing ten opzicht van de elektriciteitsopwekking in een gasgestookte STEG met een rendement van 55%.

5.3.4 Warmtepomp en koelen op gas

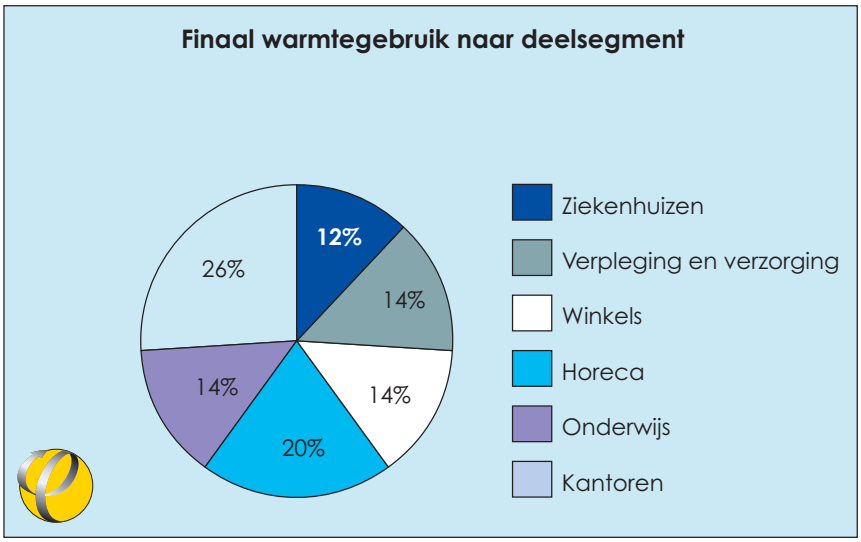
De gaswarmtepomp (diffusieabsorptiewarmtepomp) is een techniek die gas rechtstreeks omzet in warmte of koude. Een klimaatbeheersingssysteem met een gaswarmtepomp werkt als een gesloten systeem waarin door middel van een faseovergang van gas warmte of koude aan de omgeving kan worden ontrokken of toegevoegd. Deze techniek is zuiniger dan de conventionele technieken waardoor niet alleen CO_2-besparing plaats kan vinden, maar ook een kostenbesparing.

In Nederland wordt op dit moment de gaswarmtepomp op kleine schaal toegepast. Het gaat hierbij hoofdzakelijk om toepassingen in utiliteit. In andere landen, zoals Japan, wordt de gaswarmtepomp ook al grootschalig toegepast in woningen. Het is echter niet mogelijk om dezelfde techniek één op één toe te passen in Nederlandse woningen. De karakteristieken van onze woningen zijn namelijk geheel anders.
Om de gaswarmtepomp aan te passen op de Nederlandse woningen zijn veldtesten nodig. Begin jaren 2000 zijn er reeds testen uitgevoerd door verschillende partijen, maar dat heeft tot op heden nog niet geleid tot een brede toepassing in woningen. Verschillende producenten zijn nu bezig, in samenwerking met CV-ketelfabrikanten om tot goed werkende installaties te komen. De komende periode zullen op dit vlak dan ook verschillende veldtesten worden uitgevoerd.

5.4 Ontwikkeling aardgasverbruik in de utiliteitsbouw

De utiliteitssector is een zeer heterogene sector en bestaat uit een groot aantal segmenten waaronder kantoren, winkels en ziekenhuizen. Als het gaat om het energieverbruik zijn de kantoren, de gezondheidszorg en de detailhandel het belangrijkst (Ecofys, 2007). Als het gaat om de warmtevraag zijn de gezondheidszorg en de horeca de belangrijkste segmenten.

Figuur 23 Finaal warmtegebruik naar deelsegment



Bron (Ecofys, 2007)

In het scenario van global economy neemt de totale warmtevraag van 190 PJ ongeveer af tot 180 PJ in 2020. Kortom net als in de woningbouw is er ook in de utiliteitsbouw een absolute afname van de warmtevraag te zien. In de utiliteit wordt de warmtevraag gedomineerd door het aandeel ruimteverwarming. Het aandeel tapwater is alleen bij verzorgingstehuizen en zwembaden significant.

Voor de utiliteitssector geldt ook dat het, om vergaand klimaatbeleid te kunnen voeren, noodzakelijk is om in te zetten op koolstofloze energiedragers (elektriciteit, warmte/koude, waterstof, of biogas). Ook hier zal dus waar mogelijk gekozen moeten worden voor all-electric systemen of restwarmtelevering.

Over het algemeen zijn voor de utiliteitsbouw dezelfde technieken beschikbaar als voor de woningbouw. Echter daar waar de warmtepomp met warmte/koude opslag in de woningbouw nog niet van de grond komt is het in de utiliteitssector reeds een bewezen technologie.

5.4.1 Warmtepomp met warmte/koude opslag

Warmte/koude opslag wordt in Nederland voornamelijk toegepast voor koeling en in mindere mate voor (lage temperatuur-) verwarmingsdoeleinden. In kantoorgebouwen kan energieopslag worden toegepast voor koeling en verwarming. De industrie gebruikt het voor proceskoeling. In de land- en tuinbouw wordt het gebruikt voor koeling en verwarming en in de woningbouw voor verwarming en in de toekomst ook voor koeling (meestal in combinatie met een warmtepomp).

In de utiliteitsbouw worden warmtepompen toegepast in combinatie met warmte/koude opslag in de bodem. De warmtepomp wordt in de winter gebruikt voor ruimte verwarming en in de zomer voor koeling. Deze techniek wordt met succes toegepast en is economisch rendabel als een gebouw jaarlijks meer dan 300 MWh koelvraag heeft. Onbekend is hoe groot het potentieel is in de utiliteitsbouw (ECN, 2004).

Door koude of warmte op te slaan is het mogelijk om in een ander seizoen weer te gebruiken. De bodem is een geschikte 'batterij' voor deze vorm van opslag. Met grondwater en warmtepompen wordt de warmte of koude beschikbaar gemaakt. Dat bespaard aardgas en elektriciteit.

5.5 Voor- en nadelen ten opzichte van andere fossiele brandstoffen

Aardgas heeft lagere CO_2-emissies dan andere fossiele brandstoffen per eenheid energie. Het verschil met kolen is een factor twee. Ook wat betreft andere emissies is aardgas veel schoner dan kolen en aardolie (fijn stof, SO_2 en NO_x, afhankelijk van verbrandingswijze).
De verwachting is dat vooral de CO_2-emissie in de komende tijd het meest sturend milieudoel wordt voor de energievoorziening (omdat de andere emissies al fors zijn verlaagd). De emissie van CO_2 wordt eerst verlaagd door vraagbeperking en hogere efficiëntie, maar zal tot slot door andere energiebronnen (hernieuwbaar) of door CO_2-afvang en opslag verder gereduceerd moeten gaan worden.
Decentrale aardgasverbranding in miljoenen huishoudens betekent veel puntbronnen van CO_2-emissie. Op dit moment zijn er nog geen praktische en betaalbare technieken bekend tot opslag en afvang bij individuele huishoudens, zoals dat wel mogelijk wordt geacht bij grootschalige centrale verbranding van aardgas.

5.6 Ontwikkelingen qua omvang en halvering emissies in 2030

Om een halvering van de emissies in 2030 te realiseren is voor de gebouwde omgeving is een forse trendbreuk nodig. In het Green4sure wordt uitgegaan van een totale emissiereductie van 50% in 2030 ten opzicht van 1990. Wat dit betekend voor de huishoudens is weergegeven in Figuur 21.
Op korte termijn is de inzet van aardgas in de gebouwde omgeving een kosteneffectieve manier om te voorzien in ruimteverwarming waarbij gas op de meest efficiënte wijze moet wordt ingezet bijvoorbeeld door de toepassing van de HRe-ketel en de gaswarmtepomp.
Er is na de jaren 50 grootschalig geïnvesteerd in de hele keten, van winning en transport tot distributie en verbruikstoestellen. De consequentie daarvan is ook een grote ingebouwde weerstand tegen systeemverandering. Er is een grote afhankelijkheid van (aard)gas als brandstof.
Om vergaand klimaatbeleid te kunnen voeren is inzet op koolstofloze energiedragers (elektriciteit, warmte/koude, waterstof, of biogas) onontbeerlijk. Dat betekent een overschakeling op een koolstofloze energiedrager voor de gebouwde omgeving. Niet alleen netto-koolstofloos (zoals syngas uit biomassa, op aardgaskwaliteit), maar echt koolstofloos. De opties zijn: elektriciteit, warmte, en waterstof. Aardgas heeft in die situaties een transitierol als brandstof. Aldus redenerend blijft als eindoptie voor de gebouwde omgeving de all-electric situatie over, op de compactere bouwlocaties te combineren met grootschalige distributienetten, op lage temperatuur, voor restwarmte met invoedingsmogelijkheden voor duurzame warmte (en koude) (CE Delft en ECN, 2007).

In de gebouwde omgeving zal onderscheid gemaakt moeten worden tussen de mogelijkheden in de nieuwbouw, de bestaande bouw en de utiliteitsbouw.

Nieuwbouw

Deze hierboven beschreven transitie is het gemakkelijkst te maken in de nieuwbouw. Tevens kan worden aangesloten op warmtenetten als het dichtbebouwde gebieden betreft. Ook passief bouwen en het stimuleren van kleinschalige warmte uit lokale bronnen in andere gebieden zijn goede opties.
Dit gebeurt op basis van marktwerking en comforteisen, met door de overheid gestelde randcondities op het gebied van energiezuinigheid (EPC-eisen). De aangekondigde verdere aanscherping van de EPC werkt deze transitie in de hand. Daarnaast kunnen systeembarrières worden weggenomen rond benutting van warmte/koude-opslag, en inzet van warmtepompen en andere technieken. Er zijn genoeg concurrerende technieken en concepten beschikbaar (CE Delft en ECN, 2007).

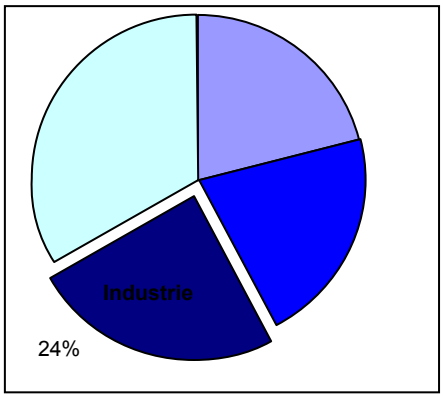
Bestaande bouw

Voor de bestaande bouw is de systeemweerstand aanzienlijk groter. Ook wanneer in versneld tempo de bestaande gebouwvoorraad wordt aangepakt zal nog decennia lang aardgasverbruik op grote schaal (zij het afnemend) plaats vinden in deze sector. Inzet op vraagreductie door onder andere verbeterde isolatie en inzet van duurzame(r) warmtebronnen (zonneboilers, elektrische warmtepompen) die geen aardgas gebruiken passen in deze transitie. In de tussentijd dient zo efficiënt mogelijk gebruikt gemaakt te worden van aardgas door het benutten van de meest efficiënte technieken zoals de HRe-ketel en de gaswarmtepomp.
Op die manier wordt geleidelijk toegewerkt naar het eindbeeld. Marktprikkels en randcondities (zoals inzet van de EPBD) versnellen dit. Het eindbeeld kan gefaciliteerd worden, de keuze welke technieken voor dat eindbeeld worden ingezet kan aan de markt worden overgelaten.

Utiliteitsbouw

Naast de nieuwbouw is de transitie ook relatief eenvoudig te maken in de utiliteitsbouw. Ook nu al worden veel kantoorgebouwen all-electric gebouwd en uitgerust met warmte/koude-opslag en warmtepompen, zonder gasaansluiting. Ook in de utiliteitsbouw kan dit versneld worden door marktprikkels en randcondities (zoals inzet van de EPC en de EPBD). Het eindbeeld kan gefaciliteerd worden, de keuze welke technieken voor dat eindbeeld worden ingezet kan aan de markt worden overgelaten.

6 Aardgas in de industrie

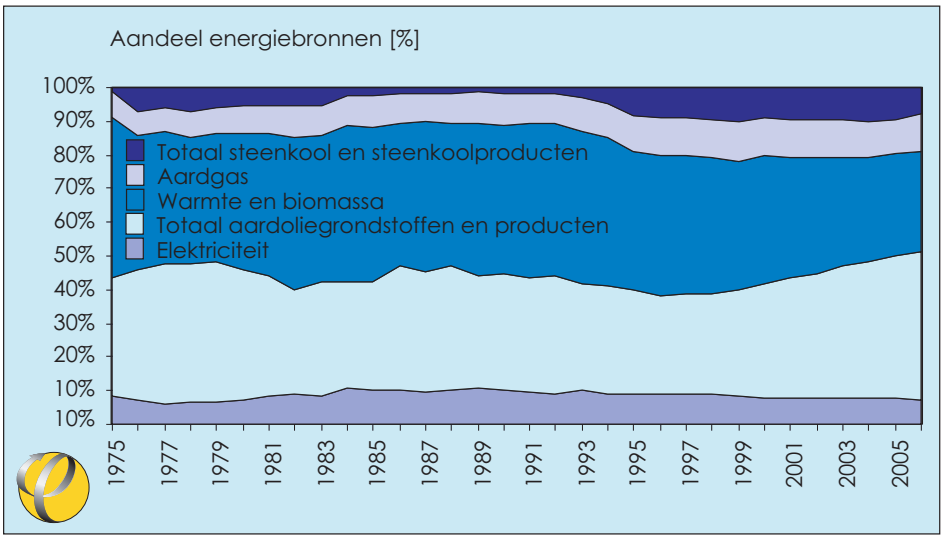


Naast het aardgasgebruik in huishoudens en de energie-industrie, is de industriesector de derde grote gebruiker van aardgas in Nederland. In 2006 vond 24% van het aardgasverbruik plaats in de industrie. Aardgas wordt in de industrie op twee manieren ingezet: als brandstof en als grondstof. In dit hoofdstuk zullen deze toepassingen verder worden toegelicht en zal de toekomst van aardgas in de industrie worden beschreven.

6.1 Ontwikkeling aardgas in de industrie

Sinds de introductie van aardgas in de Nederlandse energiehuishouding heeft aardgas een belangrijke rol gespeeld in de industrie. In 1975 werd reeds 48% van het energieverbruik in de industrie voorzien door aardgas. Hoewel de laatste decennia het aandeel geleidelijk aan iets is afgenomen, neemt aardgas tot op de dag van vandaag een prominente plaats in (24% in 2006, zie Figuur 24).

Figuur 24 Aandeel energiebronnen in het energetisch verbruik in de industrie

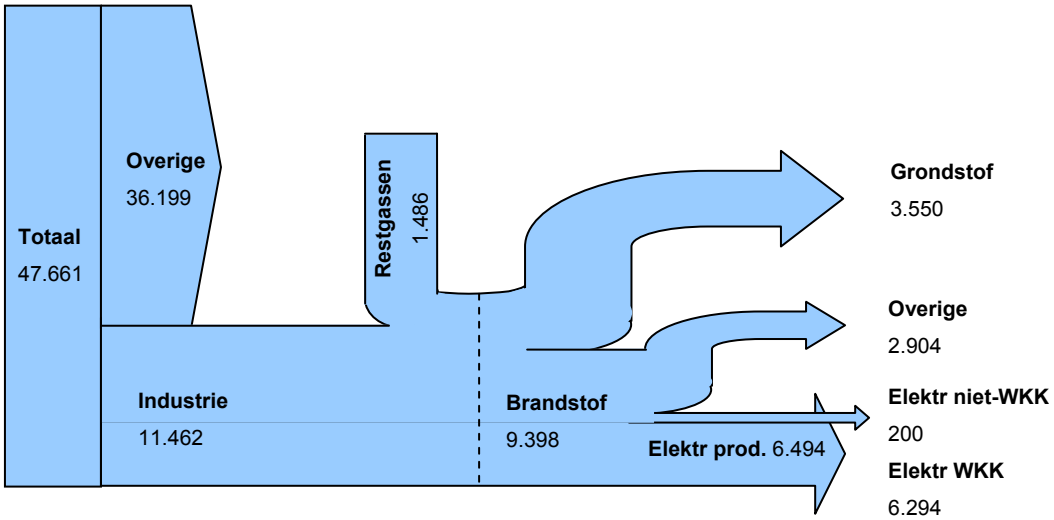


Bron: CBS (2008).

Het aardgasgebruik in de Nederlandse industrie is zeer sterk verdeeld. Als gevolg van een klein aan grootverbruikers verbruikte in 2000 1,3% van de industriële bedrijven 89% van het totale gasverbruik in de sector. Van het aardgas dat wordt ingezet in de industrie, wordt iets meer dan een kwart gebruikt als grondstof van verschillende industriële processen en driekwart als brandstof voor de

energieomzetting door middel van warmtekrachtkoppelingen of ondervuring (CBS, 2008).
In Figuur 25 staat de verdeling van het aardgas in de industriesector (2003).

Figuur 25 Aardgasstromen in 2003 (mln m3)[12]



Bron: CBS, 2008

6.2 Aardgas als brandstof

Ongeveer drie kwart van het gasverbruik in de industrie wordt ingezet als brandstof voor zowel de productie van warmte als van elektriciteit. In 2003 werd 6,4 miljard m^3 aardgas ingezet voor de productie van elektriciteit. Hiervan werd 97% ingezet in warmtekrachtkoppelingen (WKK). De meest toegepaste WKK-techniek is de STEG, bijna twee derde van het totale gasverbruik voor de elektriciteitsproductie vond hierin plaats, gevolgd door de gasturbine met 30% (CBS, 2008).

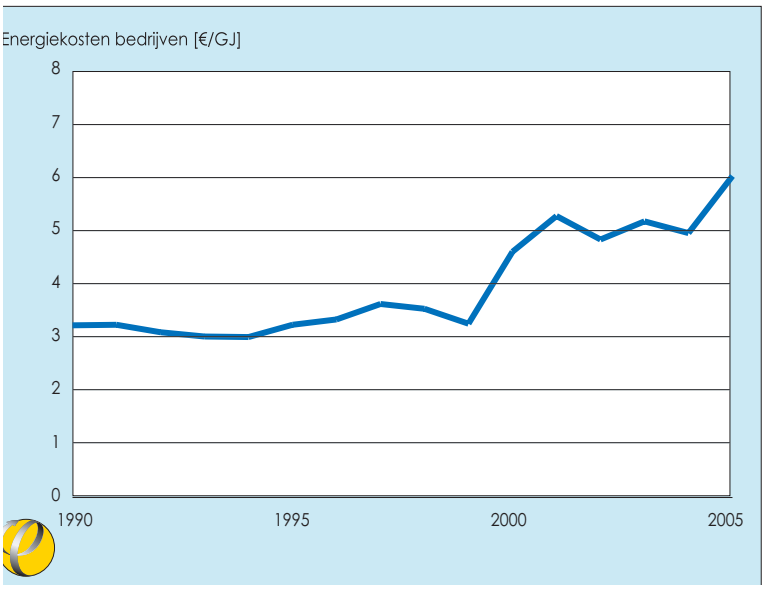
6.2.1 Kosten en milieuprestaties

De kosten van het grootschalige aardgasgebruik in de industrie komen grotendeels overeen met de kosten van het aardgas in de elektriciteitssector. Dit betekent dat ook hier de kosten voor de verschillende opties nogal uiteen liggen. Vooral met betrekking tot de warmtekrachtkoppeling is het sterk afhankelijk van de grootte van de installatie, wat de kosten zijn. Grootschalige WKK kost vanaf 800 €/kW_e. Een STEG met CO_2-afvang zal ongeveer 680-900 €/kW_e gaan kosten en de combinatie gasturbine-brandstofcel (SOFC) 900-1.150 €/kW_e (Dril en Elzenga, 2005)
De energiekosten van aardgas zijn de laatste jaren sterk gestegen. In figuur 26 is te zien dat tot 2000 de kosten per GJ nagenoeg constant waren. Vanaf 2000 zijn

[12] Binnen de industrie wordt niet alleen aardgas ingezet als brandstof, ook restproducten uit de productie zoals chemisch restgas kunnen worden ingezet en verhandeld als brandstof. Door deze interne productie is de hoeveelheid gas die verbruikt wordt binnen de sector hoger resulteert uit de energiebalans.

de kosten echter met 11% per jaar gestegen, wat in zes jaar resulteerde in bijna een verdubbeling.

Figuur 26 Energiekosten industriële bedrijven (€/GJ)



Bron: CBS (2008)

Ondanks dat de toepassing van decentrale WKK in Nederland de laatste jaren al sterk is gegroeid, blijft een groot potentieel aanwezig. Het benutten van dit potentieel is echter wel sterk afhankelijk van de stimulerende werking vanuit de overheid (CE Delft, 2007b). Het technisch besparingspotentieel voor WKK in de industrie wordt geschat op 38 PJ primaire energie. Dit kan worden bereikt door betere potentieelbenutting van de huidige WKK, ondervuring vervangen door WKK en nieuwe WKK-concepten (ECN, 2006).
Naast de toepassing van aardgas in een WKK, wordt aardgas ook gebruikt als brandstof voor de ondervuring van fornuizen. Hierbij wordt enkel warmte geproduceerd en geen elektriciteit. Omdat de toepassing van ondervuring aanzienlijk minder efficiënt is dan WKK, zal ondervuring steeds minder worden toegepast, ten gunste van WKK (ROMr3, 2003).

6.3 Aardgas als grondstof

In 2003 werd 27% van het aardgas in de industrie ingezet als grondstof. Het grootste deel hiervan wordt ingezet in de chemische industrie. De belangrijkste producten zijn methanol, ammoniak en waterstof. En recent zijn daar ook nog de gas-to-liquids (GTL) aan toegevoegd. Dit zijn benzine, diesel en aanverwante petrochemische producten op basis van aardgas.
Het gebruik van aardgas als grondstof is de laatste jaren redelijk stabiel. Gemiddeld wordt ongeveer 3.500 miljoen m^3 aardgas per jaar als grondstof ingezet (CBS, 2008).

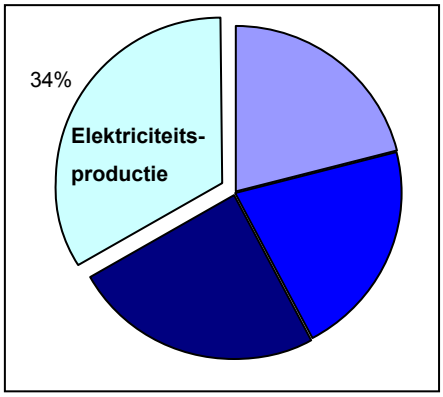
6.4 Voor- en nadelen ten opzichte van andere fossiele brandstoffen

In relatie met andere fossiele grondstoffen moet aardgas op twee manieren vergeleken worden: als brandstof en als grondstof.
In de huidige situatie is er voor aardgas als grondstof in feite geen economisch alternatief. Steenkoolvergassing zou een alternatief kunnen zijn, maar de benodigde vergassingstechniek vergt aanzienlijk hogere investeringen, vergeleken met de voor aardgasconversie toegepaste technieken. Bovendien heeft aardgas een voor de beoogde producten aanzienlijk gunstigere chemische structuur.
Ook voor de toepassing van aardgas als brandstof in een WKK lijkt er weinig bedreiging te komen van andere fossiele brandstoffen. Helemaal gezien de sterke ambitie binnen de EU om het aandeel WKK te laten groeien in de komende jaren. Met betrekking tot ondervuring zijn er wel alternatieven voor aardgas, zoals stookolie. Echter, vanwege de slechtere milieueigenschappen bij de verbranding van olieproducten, vormen zij op dit moment geen reëel alternatief voor aardgas.

6.5 Ontwikkelingen qua omvang en halvering emissies in 2030

Net als de kosten, zijn ook de toekomstige ontwikkeling van aardgas in de industrie sterk gekoppeld aan de ontwikkelingen in de energiesector. Uit verschillende scenariostudies blijkt dat de komende decennia veel ontwikkeling plaats zal vinden in WKK die in joint ventures geplaatst gaan worden (Dril en Elzenga, 2005; ROMr3, 2003). De verwachting is dat ongeveer tweederde van de elektriciteit in de industrie door deze joint ventures tussen industriële bedrijven en energiebedrijven geproduceerd zal worden. Zoals al gezegd is het overheidsbeleid bepalend hoe groot de omvang is van de ontwikkeling.
Daarnaast is in Europees verband als doelstelling geformuleerd dat in 2020 ongeveer 18% van de totale elektriciteitsproductie door gasgestookte WKK-installaties moet worden geleverd (EU, 2007). Ook Nederland heeft een doelstelling voor meer WKK-vermogen: in 2030 moet voor 4.000 MWe aan extra WKK-vermogen zijn bijgeplaatst. Dit is een uitbereiding van bijna 35% van het huidige WKK-vermogen. Het potentieel binnen de industriële sector zal hiervoor een groot deel worden aangesproken.
Echter, voor de industriële WKK's is de warmtevraag leidend bij de inzet van de WKK. Slechts een beperkt aantal industriële WKK's heeft wel mogelijkheden tot flexibele inzet van de WKK. Het gevolg hiervan is dat de geproduceerde elektriciteit in de nacht concurreert met door kolen geproduceerde elektriciteit van de grote centrales die de basislast voorziening voor hun rekening nemen. Door het verschil in de kolen- en gasprijs is deze situatie bij de huidige brandstof en CO_2-prijzen verliesgevend voor de WKK. De variabele kosten van het gas, noodzakelijk voor het elektriciteitsdeel van de productie, zijn hoger dan de opbrengst van de geproduceerde elektriciteit. Op dit moment wordt elektriciteit 's nachts met verlies verkocht en het risico is groot dat dit verlies verder zal groeien (CE Delft, 2007b).

7 Aardgas in de elektriciteitsproductie

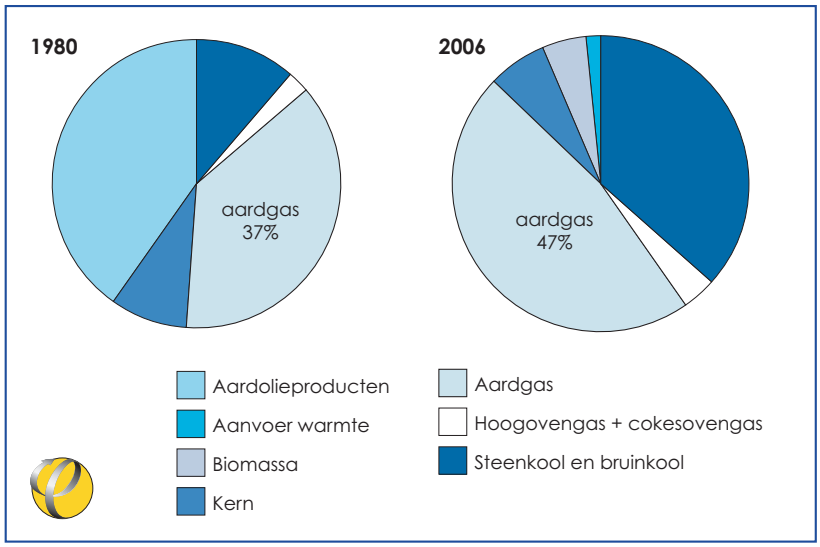


Aardgas speelt een zeer dominante rol in de Nederlandse energiehuishouding. Naast de grootschalige inzet in de gebouwde omgeving, industrie en landbouw, wordt ongeveer één vijfde van het aardgasgebruik in Nederland in 2006 voor rekening genomen van de elektriciteitsproductiebedrijven. In dit hoofdstuk zal daarom verder in worden gegaan op historische en toekomstige ontwikkelingen en zullen de prestaties van aardgas worden vergeleken met die van andere fossiele brandstoffen.

7.1 Ontwikkeling aardgas in de elektriciteitsproductie

Hoewel aardgas al langer werd gebruikt in Nederland, heeft het gebruik pas echt een vlucht genomen sinds de vondst van het aardgas in de Groningse bodem in 1959. De tot dan toe grootste aardgasvoorraad in de wereld heeft een zeer grote invloed gehad op de Nederlandse energiehuishouding en vooral op de elektriciteitsproductie. In de onderstaande figuur is het verschil tussen de brandstofinzet in elektriciteitscentrales tussen 1980 en 2006 weergegeven. Aardolieproducten worden al vanaf 1984 amper meer gebruikt als brandstof. De inzet van de aardolieproducten wordt grotendeels vervangen door de inzet van aardgas, welke in 1984 zelfs even 60% van het totaal bedroeg. Dit is later weer afgenomen naar 47% van het totaal.

Figuur 27 Brandstofinzet elektriciteitscentrales



Bron: ECN (2007).

Uit de figuur valt op te maken dat, met een dipje rond de jaren ’80, aardgas de afgelopen decennia een zeer belangrijke rol heeft gespeeld bij de productie van elektriciteit in Nederland. Ongeveer 60% van de totale Nederlandse elektriciteitsproductie is gebaseerd op gas.

7.2 Warmtekracht (groot tot klein), STEG

Elektriciteitsproductie uit aardgas is in de huidige elektriciteitsproductie voor het grootste deel gebaseerd op STEG’s (Stoom en Gasturbine). Dit is een elektriciteitscentrale waarbij twee turbines worden aangedreven. De gasturbine wordt aangedreven door het verbranden van aardgas. De tweede turbine wordt aangedreven door stoom. Deze stoom wordt geproduceerd door water te verhitten met de warmte van de afgassen van de gasturbine in een afgassenketel. Het rendement van een STEG is bijna 60% en een STEG kan flexibel inspelen op een vraag naar piekstroom. De flexibiliteit maakt dat aardgas in de Nederlandse elektriciteitsproductie een unieke positie heeft voor het opvangen van de dagelijkse reguliere en eventuele onverwachte pieken in de elektriciteitsvraag. De enige technieken die momenteel dezelfde rol kunnen vervullen zijn waterkracht en flex-fuel-centrales (waarbij de flexibiliteit op het conto van gas als brandstof komt) (CE Delft en ECN, 2007). Voor veel landen is de STEG ook de eerste keuze als het gaat om nieuwe elektriciteitscentrales. In Nederland wordt op dit moment 40% van de elektriciteit opgewekt door middel van een STEG (voor 90% wordt dit voor rekening genomen door aardgas) (CBS, 2007).

STEG-installaties die naast elektriciteit ook warmte leveren zijn warmtekrachtkoppelingen, oftewel WKK-installaties. Ook de gasturbine en de gasmotor zijn voorbeelden van WKK-installaties die zowel elektriciteit als warmte leveren. De gasmotor wordt voornamelijk toegepast in de glastuinbouw.

In Tabel 9 zijn de rendementen van de verschillende WKK installaties gegeven.

Tabel 9 Rendementen van verschillende WKK-installaties.

Type	Vermogen [MWe]	Elektrische rendement [%]	Thermisch rendement [%]	Gemiddelde vollast draaiuren
STEG (alleen E)	> 250	60	-	8.500
Grote STEG	250	39,4	35,6	5.900
Kleine STEG	80	24,0	59,9	6.700
Grote gasturbine	25	31,6	46,0	6.800
Gasmotor - tuinbouw	1	35,0	52,3	3.500

Bron: (ECN, 2005).

Zowel warmte als elektriciteit zijn vormen van energie, maar ze zijn niet gelijkwaardig. Voor een goede vergelijking dienen we rekening te houden met de omzetbaarheid van energie in een andere energievorm. Niet alle vormen van ener-

gie zijn immers volledig omzetbaar in andere. Exergie is dat gedeelte van de energie dat volledig omzetbaar is in andere energievormen.

In WKK-installaties wordt de hoogwaardige warmte (1.200°C) die vrijkomt bij het verbranden van de brandstof eerst gebruikt voor het produceren van mechanische energie, die dan verder via een alternator wordt omgezet in elektriciteit. Hierna blijft de laagwaardige restwarmte (bijvoorbeeld 500°C) over, en deze wordt dan gebruikt om te voldoen aan de specifieke warmtevraag van een bedrijf.

Men kan dus stellen dat een WKK een slimme manier is om warmte te produceren, waarbij een veel hoger exergetisch rendement bekomen wordt. Warmte is inderdaad de belangrijkste factor, en het is dan ook essentieel dat de warmte nuttig aangewend wordt. Daarom wordt een WKK-installatie ook bij voorkeur op de warmtevraag gedimensioneerd. De elektriciteitsopwekking wordt hierbij gebruikt om de warmte op de gewenste temperatuur te produceren, en zorgt daardoor voor minder exergieverlies en voor een meer rationeel energiegebruik (i-dacta, 2008).

In de huidige situatie concurreert een gasgestookte STEG voornamelijk met een kolengestookte energiecentrale. Hier wordt hierna verder op ingegaan.

7.2.1 Kosten

Buiten de bovengenoemde voordelen van het hoge rendement en de flexibiliteit, is een STEG ook relatief snel te bouwen (ongeveer twee jaar) en vergt het een relatief lage investering; in 2005 kostte een grote STEG 525-630 €/kW_e. Daarnaast zijn ook de onderhoudskosten van een STEG relatief laag, rond de 20 €/kW_e (Dril en Elzenga, 2005).
Daartegenover staat echter de hoge brandstofprijs van aardgas. Deze is gekoppeld aan de ruwe olieprijs, welke de laatste jaren sterk gestegen is. Dit heeft tot gevolg dat de kosten per kWh opgewekt met gas ook sterk gestegen zijn de laatste jaren. In paragraaf 7.2.3 is de elektriciteitsprijs voor verschillende productietechnieken weergegeven; In die prijs zijn alle kosten (afschrijving, brandstof, CO_2) verdisconteerd.

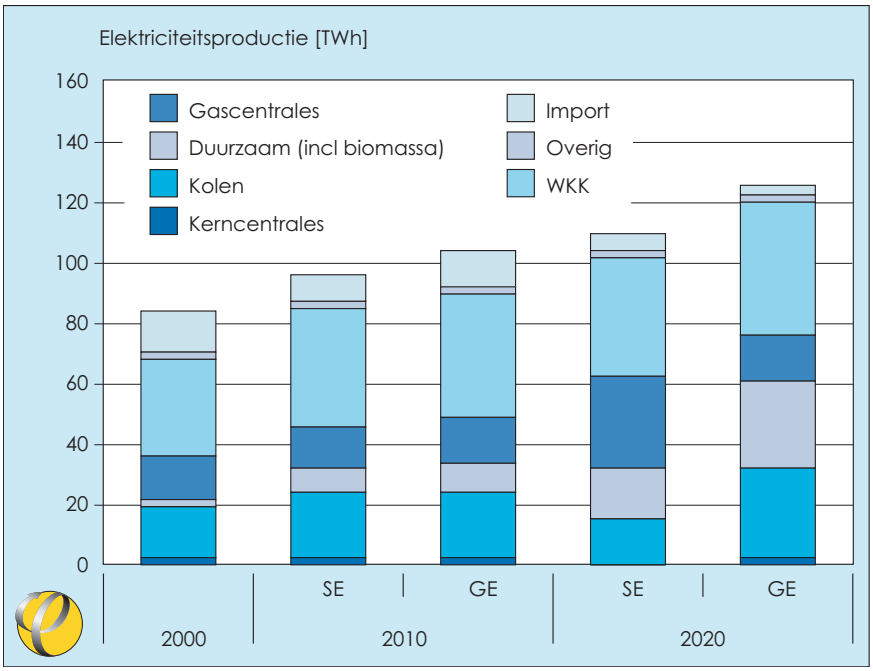
7.2.2 Milieuprestaties

Aardgas is een fossiele grondstof en aan de inzet daarvan kleven de “standaard” nadelen van het gebruik hiervan: CO_2-emissie, uitstoot van PM_{10}, NO_x en SO_2. Echter per eenheid energie is deze uitstoot wel aanzienlijk lager dan bij alternatieven zoals kolen en olie. Deels vanwege het hoge rendement dat gastechnieken behalen en deels door de eigenschappen van aardgas zelf.
Voor CO_2 geldt bij de toepassing van aardgas in de elektriciteitsproductie dat er gemiddeld 0,45 kg/kWh wordt uitgestoten (CE, 2004). Dit betekent dat de inzet van gas voor de productie van elektriciteit in 2005 goed was voor 26-27 Mton CO_2, dit is ongeveer 15% van de totale CO_2-uitstoot in Nederland.

7.3 Nieuwe ontwikkelingen, CO2-afvang, ZEPP

In Nederland zijn er op dit moment verschillende ontwikkelingen op het gebied van aardgasgebruik voor de elektriciteitsproductie. De belangrijkste zijn de warmtekrachtkoppeling (centraal en decentraal), CO_2-afvang en de ZEPP ("zero emission power plant"). Naast het gasgebruik in huishoudens is ook de samenstelling van de productie van elektriciteit door ECN doorgerekend voor het SE (Strong Europe) en GE (Global Economy). Figuur 28 geeft aan welk aandeel gas heeft in de productie van elektriciteit in deze verschillende scenario's.
Vooral van de eerstgenoemde, de warmtekrachtkoppeling (W/K) wordt veel verwacht de komende jaren. Zo is in Europees verband als doelstelling geformuleerd dat in 2020 ongeveer 18% van de totale elektriciteitsproductie door gasgestookte WKK-installaties moet worden geleverd (EU, 2007). Ook Nederland heeft een doelstelling voor meer WKK-vermogen: in 2030 moet voor 4.000 MWe aan extra WKK-vermogen zijn bijgeplaatst. Dit is een uitbereiding van bijna 35% van het huidige WKK-vermogen. Het totaalrendement van een WKK-installatie kan door het nuttig gebruik van de warmte oplopen tot boven de 80%. De door de overheid beoogde uitbereiding van het WKK-vermogen heeft betrekking op de grootschalige installaties.

Figuur 28 Samenstelling elektriciteitsproductie [TWh] volgens SE- en GE-scenario



Bron: Dril en Elzenga, 2005.

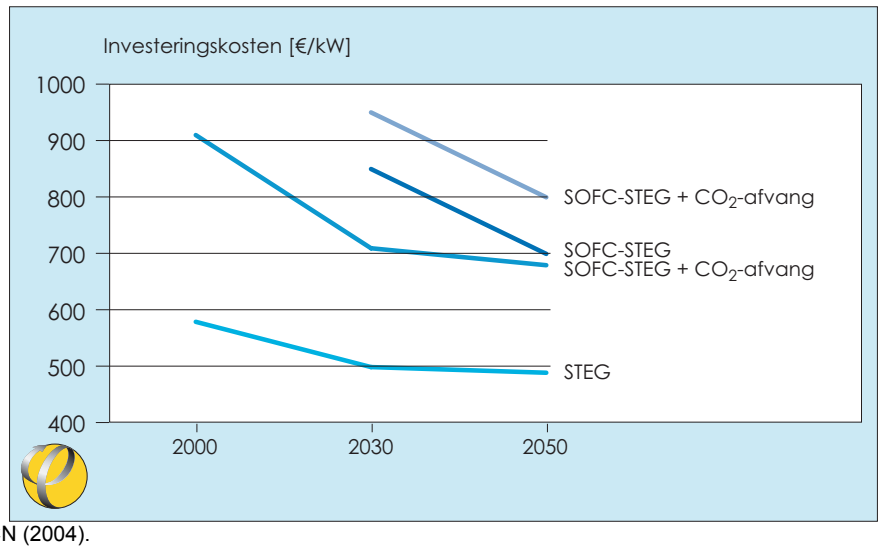
De op aardgas gebaseerde elektriciteitsproductie is op zich vrijwel klimaatneutraal te maken door CO_2-afvang. Er is vooral veel potentieel voor afvang bij aardgas door de *post combustion* techniek. De gevolgen hiervan zijn bij de huidige techniek een teruggang van het rendement met 8 tot 10 procentpunt tegen kosten van 40 tot 50 €/ton CO_2. Door optimalisatie met behulp van nieuwe tech-

nieken is deze rendementsdaling te beperken tot 3 à 4 procentpunt (met behulp van de *chilled amonia* techniek) en de kunnen de kosten worden gereduceerd tot onder de 20 €/ton CO_2 (via rookgasrecirculatie en de *chilled amonia* techniek). De *pre combustion* techniek lijkt op de korte termijn minder geschikt voor de afvang van CO_2 bij aardgasinstallaties.
Een bijzondere vorm van CO_2-afvang is de ZEPP, de Zero Emission Power Plant. Dit concept is uniek in de wereld en de eerste experimenten worden in Nederland opgezet en uitgevoerd. Het idee van ZEPP behelst de productie van elektriciteit op basis van aardgas, waarbij de afgevangen CO_2 wordt teruggepompt in een nabij gelegen aardgasveld. Door dit terugpompen ontstaat een grotere druk in het gasveld en wordt het mogelijk om aardgas te winnen dat met conventionele methoden niet (meer) winbaar was. Hierdoor ontstaat een 'gesloten kringloop' waardoor de elektriciteit klimaatneutraal opgewekt kan worden (SEQ, 2007).
Ook de toepassing van brandstofcellen biedt veel mogelijkheden voor het gebruik van aardgas voor de productie van elektriciteit. De combinatie brandstofcel-gasturbine maakt een netto rendement van 75% mogelijk. Een nadeel hierbij is echter wel dat brandstofcellen (SOFC) niet zo flexibel inzetbaar zijn in de bedrijfsvoering als gasturbines.
Buiten de bovengenoemde nieuwe technieken, zijn ook de huidige STEG's verre van uitontwikkeld en vinden er nog steeds rendements-verbeteringen en optimalisaties plaats. Zo zou een rendement van rond de 65% kunnen worden gehaald en zouden de kosten kunnen worden gereduceerd tot minder dan 400 €/kW_e.

7.3.1 Kosten

De kosten voor de verschillende opties liggen nogal uiteen. Vooral met betrekking tot de warmtekrachtkoppeling is het sterk afhankelijk van de grootte van de installatie, wat de kosten zijn. Grootschalige wkk kost vanaf 800 €/kW_e

Figuur 29 Verwachte investeringskosten gasgestookte elektriciteitsopwekking



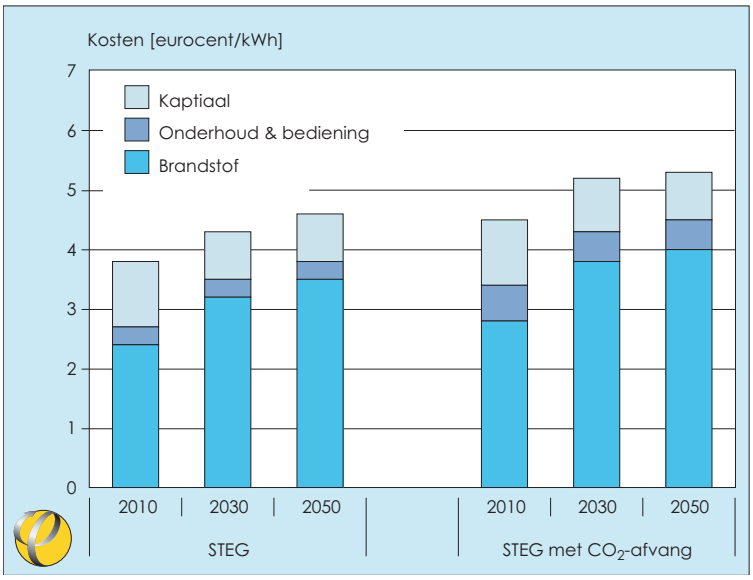
Bron: ECN (2004).

Een STEG met CO_2-afvang zal ongeveer 680-900 €/kW_e gaan kosten en de combinatie gasturbine-brandstofcel (SOFC) 900-1.150 €/kW_e (Dril en Elzenga, 2005). In Figuur 29 staat de ontwikkeling van de kosten in de komende jaren.
De ontwikkeling van de ZEPP bevindt zich nog in de experimentele fase en de eerste echte veldtesten moeten nog ondernomen worden. De kosten van een dergelijke gastoepassing zijn dan ook nog niet bekend.

7.3.2 Milieuprestaties

Net als de kosten zijn ook de milieuprestaties van de opties zeer verschillend. De 'conventionele' technieken als de grootschalige en micro-wkk bieden naast een significante rendementsverbetering ook een vermindering in de CO_2-uitstoot, maar blijven nog wel CO_2 uitstoten. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de ZEPP, waarbij geen enkele uitstoot plaats vindt (in principe).
Een grootschalige WKK-installatie heeft gemiddeld een CO_2-uitstoot van 0,30 kg/kWh (varieert tussen de 0,20 en 0,40), ofwel ruim 30% minder dan een conventionele gasinstallatie en ruim 60% minder dan een koleninstallatie (CE Delft, 2004). In 2006 is totaal 55,8 TWh elektriciteit opgewekt met wkk-installaties en 43,1 TWh met niet-wkk (CBS, 2007). Het aandeel is inmiddels dus al redelijk hoog.
Begin 2007 waren er in Nederland plannen om vijf nieuwe kolencentrales bij te bouwen met een gezamenlijk vermogen van 5.500 MW_e, dit komt overeen met een uitbereiding van een kwart van het huidige productiepark. Deze kolencentrales zullen een extra jaarlijkse CO_2-uitstoot veroorzaken van 29,6 Mton. Buiten de vraag of deze extra capaciteit noodzakelijk is, zou de keuze voor een conventionele STEG of een gasgestookte wkk in plaats van een kolencentrale een besparing van respectievelijke 15,6 Mton en 20,3 Mton CO_2-uitstoot opleveren. Hierbij komen ook nog de voordelen van een lagere uitstoot van andere schadelijke stoffen als NO_x en PM_{10}.

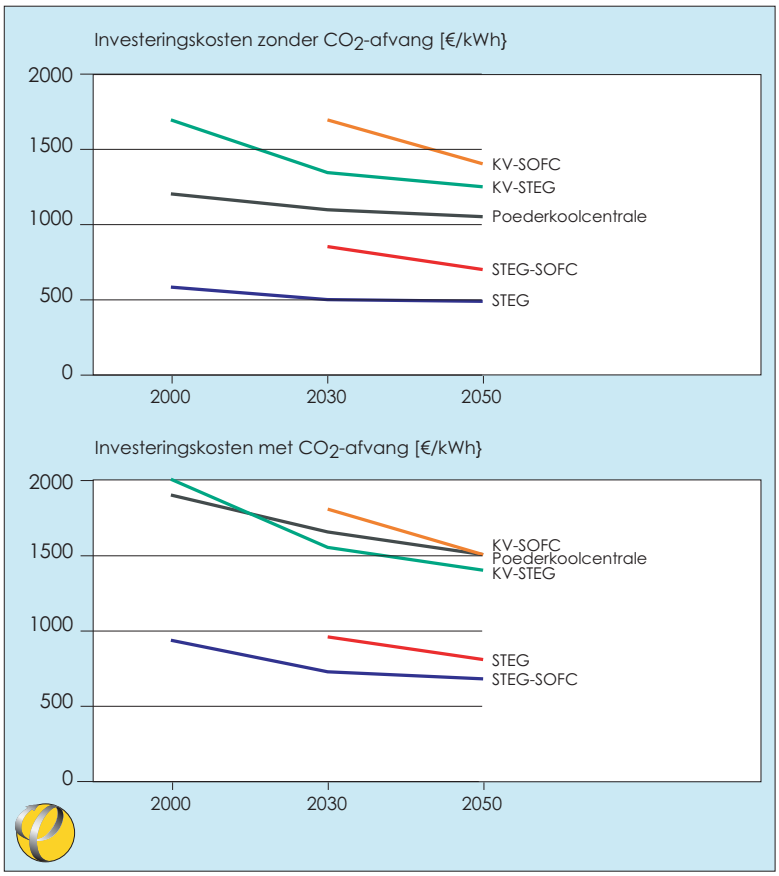
Figuur 30 Kosten per kWh zonder en met CO_2-afvang



Bron: ECN, 2004.

CO_2-afvang heeft uiteraard een grote invloed op de emissies van de elektriciteitsopwekking. Volgens berekeningen van ECN kan door toepassing van CO_2-afvang op STEG-installaties in 2050 een extra reductie van CO_2-uitstoot worden bewerkstelligd van 16,5 Mton per jaar[13] (ECN, 2004). Net als bij de wkk-toepassing komen er nog wel andere emissies vrij, zoals NO_x. De hoeveelheid emissies is echter sterk afhankelijk van de gekozen techniek. Volgens ECN zal er echter geen toename van NO_x-emissies plaatsvinden in de periode 2000-2050.
Toepassing van CO_2-afvang heeft echter wel consequenties voor de kosten van elektriciteit. In Figuur 31 zijn de verschillen zichtbaar van de ontwikkeling van de kosten van wel en geen afvang in de komende decennia.

Figuur 31 Investeringskosten nieuwe centrales



Bron: ECN, 2004.

Bij de toepassing van de ZEPP is het idee dat er geen enkele vorm van uitstoot plaatsvindt. De ontwikkeling van deze techniek staat nog in de kinderschoenen en over het potentieel van deze techniek is dan ook nog weinig bekend.
Toepassing van een brandstofcel (SFOC) in combinatie met een STEG kan bij dezelfde voorspelling van ECN een extra reductie leveren van 2,5 Mton CO_2 per jaar. Het gebruik van een SOFC zorgt er tevens voor dat er amper uitstoot van NO_x is (ECN, 2004).

[13] Hierbij wordt aangenomen dat de elektriciteitsvraag ten opzichte van 2000 is verdubbeld naar 200 TWh per jaar en dat gas hiervan 30% voor zijn rekening neemt.

Ook de rendementsverbetering van de huidige gastechnieken leveren de komende decennia nog hun bijdrage aan de reductie van schadelijke emissies. Het verbeteren van het rendement van de STEG-techniek ten opzichte van de techniek in 2000, kan in 2050 een extra reductie van CO_2-uitstoot leveren van 2 Mton per jaar (ECN, 2004).

Indien in 2050, zoals ECN stelt, 30% van de elektriciteitsvraag zou worden opgewekt met aardgas, dan komt dit overeen met 60 TWh. Indien dit met de huidige techniek zou worden opgewekt, dan levert dit een CO_2-uitstoot van 27 Mton per jaar (ongeveer gelijk aan de huidige uitstoot van de toepassing van aardgas). De bovengenoemde ontwikkelingen kunnen hierop maximaal een besparing behalen van ongeveer 20 Mton. Een groter aandeel van aardgas in de toekomstige elektriciteitsproductie levert uiteraard een grotere besparing als dit ten koste gaat van opwekking door middel van kolen.

7.4 Voor- en nadelen ten opzichte van andere fossiele brandstoffen

Aardgas heeft de connotatie een dure brandstof te zijn. Dit heeft tot gevolg dat bij de afweging voor nieuwe initiatieven de voordelen van aardgas in Nederland het vaak afleggen tegen de nadelen, dit in tegenstelling tot in de rest van de EU (CE Delft, 2007). Hierdoor valt de keuze vaak op alternatieven zoals kolencentrales. Een keuze die op zijn beurt weer verschillende nadelige consequenties heeft.
In de onderstaande tabel wordt een kwalitatief overzicht gegeven van de verschillen tussen het gebruik van aardgas en kolen in de productie van elektriciteit. De inzet van stookolie is in Nederland minimaal en de toepassing van kernenergie is onderhevig aan controverse en lijkt voor de komende jaren geen concrete optie. Zij zijn dus niet meegenomen in deze vergelijking.
In Tabel 10 staan de verschillende investeringskosten per techniek voor elektriciteitsopwekking.

Tabel 10 Aardgas vs. kolen in de productie van elektriciteit

	Aardgas	Kolen
Investeringskosten	+	-
Bouw centrale	+	-
Brandstofkosten	-	+
Voorzieningszekerheid	+/-	+
Rendement	+	+/-
CO_2-uitstoot	+/-	-
Overige emissies	+	-
Flexibiliteit	+	-

Bron: ECN, 2004

De waardering bij brandstofkosten is op dit moment minder duidelijk door de recente prijsstijgingen van zowel aardgas als kolen.

8 Aardgas in het transport

Het huidige verkeer- en vervoerssysteem is in hoge mate afhankelijk van op aardolie gebaseerde brandstoffen (benzine, diesel, LPG, kerosine, stookolie). Alternatieven voor de korte termijn zijn LPG, aardgas en biobrandstoffen. Opties voor de langere termijn zijn geavanceerde biobrandstoffen, waterstof en elektriciteit.

Het gebruik van aardgas als voertuigbrandstof is technisch gezien uitgerijpt maar staat qua markttoepassing nog in de kinderschoenen. In landen als Italië, Duitsland, Zweden en Frankrijk heeft aardgas weliswaar een groter marktaandeel als transportbrandstof dan in Nederland, maar is dat marktaandeel nog steeds zeer bescheiden.

8.1 Personenauto's en bussen op aardgas

Personenauto's
Een ottomotor kan behalve op benzine ook op gasvormige brandstoffen rijden. LPG is in Nederland reeds op grote schaal in gebruik. Het gebruik van aardgas is als brandstof (in de vorm van 'compressed natural gas' of CNG) is technisch uitgerijpt.

LPG- en aardgasvoertuigen zijn in de regel bi-fuel voertuigen in de zin dat ze zowel op benzine als LPG of aardgas kunnen rijden. De voertuigen bevatten dus twee parallelle brandstofinjectiesystemen en naast een benzinetank ook een hogedruktank voor opslag van LPG of aardgas. LPG- en aardgasinstallaties kunnen af-fabriek worden geleverd maar ook naderhand worden ingebouwd (retrofit). Behalve aanpassingen aan het voertuig is ook extra infrastructuur nodig voor de distributie van gasvormige brandstoffen.

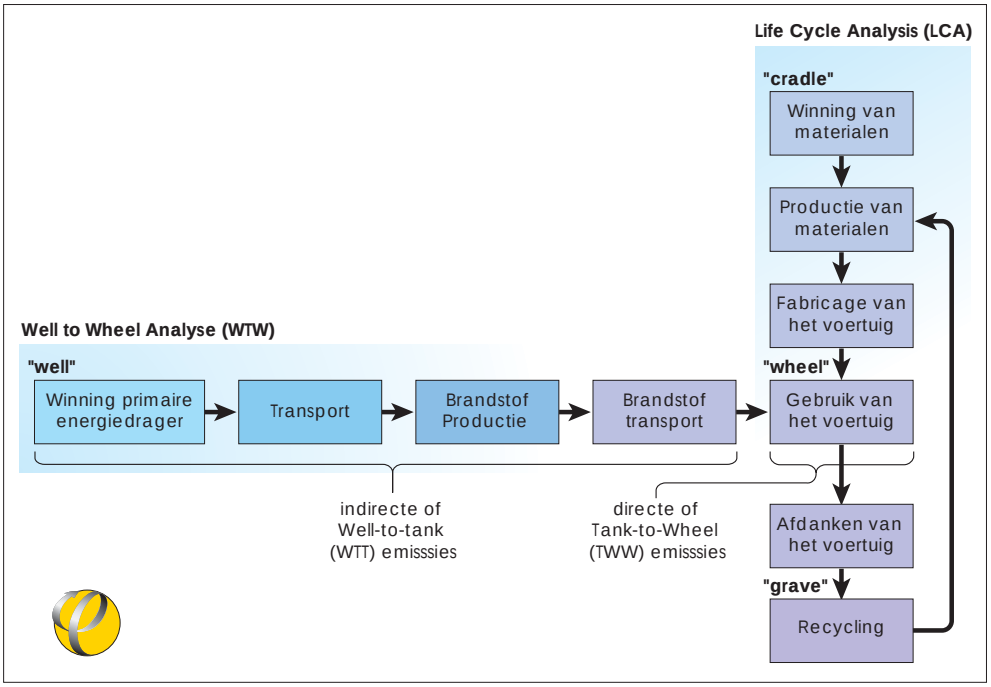
Retrofit-installaties zijn vooralsnog niet toepasbaar op benzinemotoren met directe inspuiting. Af-fabriek gasvoertuigen zullen dus waarschijnlijk een grotere rol spelen in de toekomst. Met deze fabrieksvoertuigen zal het ook beter mogelijk zijn om aan toekomstige emissie-eisen te voldoen en om de emissieperformance in de praktijk ook op het vereiste niveau te houden. Aardgas is in principe zeer geschikt voor toepassing in direct ingespoten motoren en biedt daarbij ook mogelijkheden voor verdere verbetering van het motorrendement (CE Delft, 2007).

Bussen
LPG en aardgas zijn belangrijke alternatieven voor aandrijving van bussen. Beide brandstoffen vereisen toepassing van een otto-motor (vonkontsteking) en relatief volumineuze opslagtanks.

8.2 Kosten en milieuprestaties

Bij de beoordeling van alternatieve energiedragers in het licht van vermindering van broeikasgasemissies is het van belang om niet alleen naar de directe emissies te kijken die door het voertuig worden geproduceerd ('Tank-to-Wheel' (TTW)), maar naar de emissies in de gehele productieketen van de energiedrager ('Well-to-Wheel' (WTW)). Dit is geïllustreerd in Figuur 32.

Figuur 32 Illustratie van 'well-to-wheel' (WTW) analyse en 'life-cycle analysis'(LCA) van producten



Emissiereductie aardgas als brandstof voor personenauto's

Aardgas heeft, gerekend over de hele 'well-to-wheel' keten (WTW) en afhankelijk van de herkomst van het gas, een tot 20% lagere CO_2-emissies dan benzine en scoort daarmee in sommige toepassingen zelfs iets beter dan diesel. De voordelen zijn het grootst wanneer aardgas uit de huidige mix van oorsprongsgebieden wordt gebruikt, waarbij een groot deel van het gas in Europa (of in NL in het geval van voertuigen die in NL rijden) wordt gewonnen. NL en Europa zijn inmiddels echter netto importeurs van aardgas geworden zodat de additionele vraag a.g.v. toepassing van aardgasvoertuigen zal worden gedekt uit extra import. Voor de korte en middellange termijn betreft dit aardgas dat gemiddeld over transportafstanden van zo'n 4.000 km wordt aangevoerd. Op de lange termijn zullen ook verder gelegen bronnen in beeld komen.

Bijmenging van biogas, synthetisch methaan uit biomassa of duurzaam geproduceerd waterstof biedt mogelijkheden voor het verlagen van de WTW CO_2-emissie van CNG op de lange termijn. De vraag is echter of dit perspectief een motivatie mag zijn voor stimulering van aardgas als autobrandstof in Nederland. De genoemde duurzame gasvormige brandstoffen die kunnen worden bijgemengd zullen nog lange tijd slechts in beperkte volumes beschikbaar zijn en leveren bij ge-

bruik in andere aardgas gebruikende toepassingen (industrie, huishoudens, tuinbouw en elektriciteitsopwekking) door de lagere omzettingsverliezen in de keten waarschijnlijk tegen lagere kosten hogere CO_2-reducties op (CE Delft, 2007).

Tabel 11 CO_2-emissies/voertuigkm van aardgasvoertuigen (TNO 2006a, Concawe 2006 uit CE Delft, 2007c)

	TTW		WTT	WTW	
	CO_2 –emissies (gCO_2 /km)		CO_2-emissies (gCO_2 /gCO_2_TTW)	CO_2 –emissies (gCO_2 /km)	
Benzine	148,0	100%	0,170	173,2	100%
Diesel	125,8	85%	0,195	150,3	87%
CNG EU-mix	115,4	78%	0,149	132,7	77%
CNG 4000 km	115,4	78%	0,249	144,2	83%
CNG 7000 km	115,4	87%	0,386	160,0	92%

CNG = compressed natural gas.

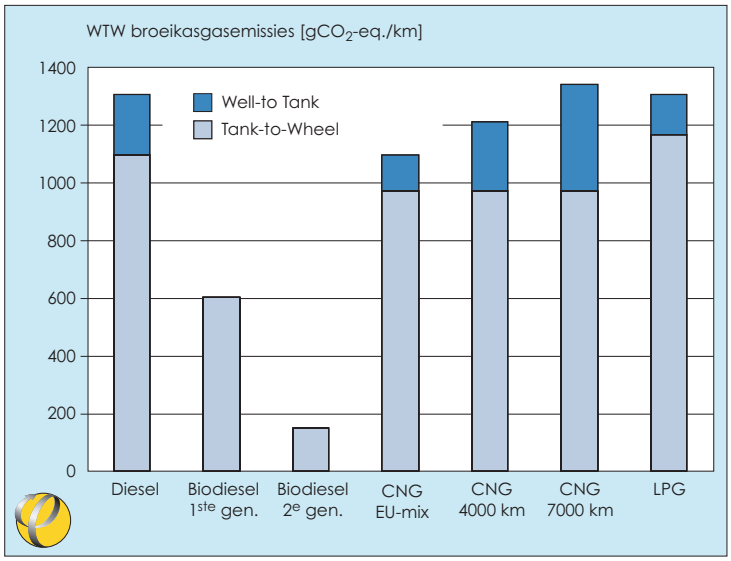
Tabel 12 Additionele kosten,relatieve TTW CO_2-reductie aardgasvoertuigen (TNO 2006a uit CE Delft, 2007c)

	'Natural gas vehicle' vergeleken met benzine voertuigen		
	Klein	Midden	Groot
Additionele fabricagekosten	€ 1.450,=	€ 1.750,=	€ 2.050,=
Additionele verkoopsprijs	€ 2.090,=	€ 2.520,=	€ 2.950,=
TTW CO_2 reductie	22%	22%	22%

Emissiereductie aardgas als brandstof voor bussen

Een ottomotor heeft een lager rendement dan een dieselmotor maar door de gunstige C/H-verhouding van aardgas produceert een aardgasbus zowel op voertuigniveau (tank-to-wheel) als op ketenniveau (weel-to-wheel) minder broeikasgasemissies dan een dieselbus op fossiele diesel. Het voordeel wordt kleiner wanneer het gebruikt aardgas over grote transportafstanden wordt aangevoerd.

Figuur 33 WTW broeikasgasemissies van bussen op diesel, biodiesel, aardgas en LPG



Bron: (TNO, mede op basis van data uit (Concawe, 2006) uit CE Delft, 2007c).

8.3 Voor- en nadelen ten opzichte van andere fossiele brandstoffen

Qua voertuigprestaties doen moderne aardgasvoertuigen niet meer onder voor voertuigen op benzine. De belangrijkste nadelen van beide brandstoffen zijn de ruimte die wordt ingenomen door de extra brandstoftank en de beperktere actieradius bij rijden op gas.
Rijden op aardgas vereist ook een aparte tank-infrastructuur. Dit is bij bussen in de regel geen probleem omdat deze iedere dag in remise terugkomen en daar getankt kunnen worden. Wel duurt het tanken langen waardoor het vullen van grotere aantallen bussen extra logistiek en meer werk vergt. Tot nu toe was de levensduur en onderhoud nog een probleem bij bussen op aardgas maar dat lijkt bij de nieuwste generatie CNG-voertuigen minder het geval te zijn (CE Delft, 2007).

De emissies van CO_2, PM10 en NO_X (iets) lager zijn dan de emissies van diesel. Daar tegenover staat dat er hoge kosten nodig zijn om de gehele keten op te bouwen (distributienet, pompstations en een aangepast wagenpark). Het aanpassen voor de keten is zoals gezegd bij bussen niet zeer complex. Voor personenauto's ligt dit duidelijk anders. Er is hier sprake van het zogenaamde kip-ei probleem.
Door nu in te zetten op aardgas in transport wordt straks de overstap naar biogas in het transport mogelijk. Wel is het zo dat de (huidige) beschikbaarheid van biogas is zeer beperkt, waardoor het nog lang zal duren voordat biogas het aardgas (deels) kan vervangen (zie hoofdstuk 9). Vanwege strenge emissie-eisen aan voertuigen en motoreigenschappen worden er hoge eisen gesteld aan de kwaliteit van het aardgas en biogas dat in de transportsector wordt gebruikt. Biogas uit een vergistingsinstallatie e.d. moet derhalve worden opgewerkt voordat het kan worden getankt[14].

8.4 Ontwikkelingen qua omvang en halvering emissies in 2030

De toepassing van aardgas in de transportsector draagt bij aan de vermindering van de afhankelijkheid van de economie van olie, maar draagt op zich slechts weinig bij aan CO_2-reductie. CO_2-reductie kan op termijn wel worden bereikt als het aardgas wordt vervangen door biogas of syngas op basis van biomassa (in beide gevallen opgewerkt tot aardgaskwaliteit). Als dat niet gebeurt wordt de afhankelijk van olie slechts ingeruild voor een afhankelijkheid van aardgas. Het gebruik van aardgas is geen voorbereiding voor het gebruik van waterstofgas omdat de technieken die gebruikt worden wezenlijk verschillen. Daarom ligt het niet voor de hand om de route van aardgasmotoren als kansrijke optie te zien voor een forse reductie van de CO_2-emissies.

Kan aardgas een relevante rol spelen als mobiliteitsbrandstof? Nee, de efficiëntiewinst is gering ten opzichte van (de mogelijkheden van) vloeibare koolwaterstoffen. Nu kan aardgas een rol spelen omdat het een snelle verbetering van de luchtkwaliteit in steden helpt verbeteren, maar dat kan ook met diesel.

[14] http://engva.org/Content.aspx?PageID=190

Kan aardgas dan de voorbereider zijn voor groen gas of waterstofgas in de transportsector. Dat lijkt ook niet waarschijnlijk omdat er makkelijkere toepassingen zijn om groen gas te gebruiken (gebouwde omgeving). Elektrisch vervoer lijkt eerder de concurrentie aan te kunnen met vloeibare koolwaterstoffen en biobrandstoffen.

9 Andere gassen

In de transitie naar een schone energievoorziening zullen ook andere gassen dan aardgas een rol spelen, zowel gassen uit hernieuwbare energiebronnen (groen gas) als schoon fossiele gassen. In dit hoofdstuk wordt verder ingegaan op de eigenschappen en mogelijkheden van deze gassen.
De politieke aandacht is momenteel vooral gericht op groen gas, gas uit biomassa, als mogelijkheid om het aardgasgebruik te verduurzamen. Er is echter een grote concurrentie voor het gebruik van biomassa: voedsel, biobrandstoffen, elektriciteitproductie en dus ook groen gas. Een mogelijkheid die in Nederland nog weinig aandacht krijgt is de productie van gas uit steenkool. Dat zou het gebruik van een fossiele bron met zeer grote voorraden met toepassingen kunnen maken, het is echter geen CO_2-vrije gasproductie, tenzij er waterstofgas van wordt gemaakt met opslag van CO_2. In het transitieproces kan dit een zinvolle toevoeging zijn aan het arsenaal van schonere brandstoffen..

9.1 Groen gas

Groen gas is een container begrip voor brandbaar gas van aardgaskwaliteit geproduceerd op basis van biomassa. Dat de kwaliteit vergelijkbaar is met die van aardgas impliceert dat het gas vooral bestaat uit methaan.

9.1.1 Technische ontwikkeling en indicatieve productiekosten

Er zijn twee verschillende technieken, de vergistingstechniek en vergassing. De Stand van de technologische ontwikkelingen van beide technieken wordt hieronder toegelicht.

Vergisting
Vergistingtechniek wordt commercieel aangeboden, maar is nog niet uitontwikkeld. Er wordt gewerkt aan verbetering van conversierendementen middels voorbehandeling van de te vergisten biomassa met verhoogde druk of verhitting en middels toepassing van ultrasoon geluid tijdens vergisting. Verlaging van proceskosten kan mogelijk worden gerealiseerd door toepassen van nieuwe typen reactoren en door zo vroeg mogelijk afscheiden van niet vergistbaar materiaal.

Vergisting wordt al sinds ruim twee decennia op industriële schaal toegepast voor groen gas productie in Denemarken en Zweden. In diverse regio's in Zweden (o.a. Göteborg) zijn lokale systemen voor vergisting, opwerken van biogas en lokale distributie van het geproduceerde groene gas naar tankstations.
De gebruikelijke schaalgrootte voor een industriële vergistinginstallatie is op dit moment 100 - 150 kton/jaar aan biomassa en een biogas productie van 10 - 18 miljoen Nm3/jaar (Juliper, 2007). Hieruit kan netto (na aftrek van eigen gebruik) 6,5 – 8,5 miljoen Nm3/jaar aan groen gas worden geproduceerd.

Productiekosten voor groen gas uit biomassa bedragen c€ 15 – c€ 17 per Nm3 (G-gas) aan procesgerelateerde kosten (afschrijvingen, operationele kosten exclusief biomassa) en c€ 25 – c€ 30 per Nm3 (G-gas) wanneer wordt uitgegaan van covergisting van maïs (Welink, 2007). De aardgas commodity prijs bedraagt op dit moment € 6 - € 7 per GJ of c€ 19 – c€ 22 per Nm3 (G-gas).

Vergassing

Methaan productie uit synthesegas is op zichzelf een bewezen techniek. Bij deze fabriek wordt bruinkool als brandstof gebruikt.

Maar vergassing van biomassa is een in ieder geval deels nog in ontwikkeling zijnde techniek. Om een indruk van de stand der techniek te geven hieronder enkele opmerkingen:

1 Stoom vergassing (steam gasification) is technische en op semicommerciële schaal bewezen met de sinds 2002 in bedrijf zijnde installatie in Güssing Oostenrijk. Bij deze installatie zijn ook proeven uitgevoerd met de productie van SNG.

2 Vergassing van biomassa in een stofwolk vergasser is nog nooit bewezen. Bij de NUON Willem-Alexander centrale Buggenum wordt vanaf 2008 hooguit 30% aan biomassa meevergast. De eigenschappen van biomassa is in combinatie met de hoge temperatuur in de reactor (> 1.400°C maken biomassa in onbewerkte vorm onaantrekkelijk voor deze techniek.
Een mogelijkheid om dit obstakel te omzeilen is om de biomassa te pyrolyseren en de pyrolyse-olie te vergassen. Hiermee zijn nog geen ervaringen opgedaan. Pyrolyse van biomassa en inzet van enkel de olie (en niet pyrolysegas en char) betekent ook een afname van het conversierendement over de gehele keten van biomassa tot SNG. De olie vertegenwoordigd ongeveer 50% - 70% van de energie-inhoud van de biomassa.

3 Vergassing met zuurstof in een wervelbed reactor is op zich al eind jaren tachtig bewezen op commerciële schaal.
De techniek is toepasbaar tot een maximale schaalgrootte van 750 MW-brandstof. Een installatie zou een jaarproductie van 12 – 13 PJ SNG genereren. Investeringen voor wervelbedvergassing met zuurstof zijn vergelijkbaar met de investeringen voor stoomvergassing (ECN, 2005)[15]. Het energetisch rendement is net als bij stoomvergassing ongeveer 65%. De operationele kosten exclusief afschrijvingen en brandstofkosten worden geschat op € 2,5 - € 3,0 per GJ SNG.

SNG productie uit biomassa is dus niet direct realiseerbaar, maar zou volgens planning wel binnen 5 jaar commercieel moeten worden geproduceerd. De meest relevante technieken zijn stoomvergassing en wervelbedvergassing met zuurstof.

[15] De investeringen worden in deze studie voor een 100 MWbrandstof installatie geschat op M€ 45 – M€ 50, een factor twee lager als de indicatie voor de installatie voorzien in het GoBiGas initiatief.

9.1.2 Afzetmogelijkheden

In principe zijn er drie afzetmogelijkheden voor groen gas:

- levering aan het door Gasunie Transportnet beheerde hoge druk netwerk (HTL, RTL).
- levering aan regionale en lokale lage druk netten;
- levering via aparte pijpleiding of via apart netwerk.

De laatste twee opties zijn in Nederland al in gebruik (geweest) voor de afzet van opgewerkt stortgas afkomstig van stortplaatsen en voor opgewerkt biogas van GFT vergistinginstallaties. Enkele stortplaatsen leveren opgewerkt stortgas aan lokale bedrijven of regionale of lokale aardgasnetten (bijvoorbeeld de stortplaats in Wijster). De inmiddels gesloten vergistinginstallatie in Tilburg leverde eveneens groen gas aan het aardgasnet.
Voor levering aan het Gasunie Transportservices netwerk zal groen gas in ieder geval moeten voldoen aan dezelfde specificaties als elke andere aardgasbron (zie Tabel 13).

Tabel 13 Specificaties aardgas

	EDB[a)]	RTL[b)]	HTL (G-gas)[c)]
Druk (bar)	1,1 – 8,0	40	67
Wobbe-index (MJ/Nm3)	42,7 - 45,2	42,7 - 47,1	43,5 - 44,4
Waterdauwpunt (°C) – voor G-gas	< -8	< -8	< -8
Zwavelgehalte (mg/Nm3)	< 45	< 45	< 20
H2S gehalte (mg/Nm3)	< 5	< 5	< 5
Mercaptanen gehalte (als mg/Nm3 S)	< 10	< 10	< 6
BTX gehalte (mol%)	< 1	< 1	< 1
CO_2-gehalte (vol%)	< 8	< 8	< 2
O_2-gehalte (vol%)	< 0,5	< 0,5	< 0,0005
H_2-gehalte (vol%)	-	-	< 0,02

a) EDB = Energiedistributiebedrijven, b) RTL = Regionaal TransportLeiding net, c) HTL = Hoge druk TransportLeiding net

Voor Syngas lijkt afzet op RTL en HTL logischer vanwege de potentiële schaalgrootte van de installaties. Een 750 $MW_{brandstof}$ installatie produceert jaarlijks 380 - 410 miljoen Nm3 groen gas, een volume vergelijkbaar met de jaardoorzet van een grote GOS[16].
SNG voldoet vanwege de toegepaste techniek aan alle criteria behalve aan de Wobbe-index eis, omdat SNG uit pure methaan (Wobbe-index 52 MJ/Nm^3) bestaat. Voor levering aan G-gas netwerken, maar ook voor afzet als H_L-gas (Wobbe-index 49,1 MJ/Nm^3) zal stikstof moeten worden bijgemengd. Die stikstof is op zich beschikbaar bij toepassing van vergassing met zuurstof omdat de luchtscheiding voor zuurstofproductie ook de mogelijkheid biedt om zuivere stikstof te produceren.

[16] GOS = Gas Overslag Station, waar aardgas vanaf HTL en RTL wordt overgeslagen op de regionale en lokale distributie netwerken.

Productie van groen gas middels vergisting produceert bescheidener volumes op van 6,5 - 8,5 miljoen Nm3/jaar, waardoor ook levering aan regionale netwerken qua capaciteit reëel is. Het opwerken van biogas tot voldoende droog en schoon groen gas is in principe al in de praktijk bewezen. Aan de Wobbe-index eis voor G-gas kan worden voldaan door een beperkt percentage CO2 in het groene gas te laten, > 7,5 vol% voor levering aan EDB netwerken en > 5,5 vol% voor levering aan RTL.

Voor biogas worden in de toekomst mogelijk aanvullende eisen gesteld. Biogas bevat componenten die niet of nauwelijks in aardgas voorkomen. Invloed van deze componenten op transport/distributie infrastructuur, gastoepassingen, gezondheid e.d. is (nog) niet volledig bekend. Door Gasunie Transportservices is met het oog hierop in 2007 gestart met het Europese BONGO-project (Biogas and Others in Natural Gas Operation) waarin zij dit onderzoekt.
Uit een recente Zweedse studie blijkt overigens dat biogas geen ziekteverwekkers als virussen e.d. bevat.

9.1.3 Beleidsambities van groen gas

Ambities in Nederland en de EU voor de implementatie van groen gas zijn groot. Zo heeft de Europese Commissie haar lidstaten in 2003 al voorgeschreven andere toeleveranciers toe te laten op het aardgasnet. Als reactie hierop is de Gasunie het BONGO-project (Biogas and Others in Natural Gas Operation) gestart waarin zij de mogelijkheden en beperkingen hiervan onderzoekt.

In de tweede kamer zijn er verschillende moties ingediend over dit onderwerp, de belangrijkste is misschien wel de Motie van der Ham. Op basis waarvan de werkgroep Groen Gas van het Platform Nieuw Gas (PNG) haar update “Groen Gas” heeft geschreven. Het Platform Nieuw Gas is onderdeel van de Nederlandse Transitie Paden die zijn ingesteld om de Nederlandse energievoorziening de 21-ste eeuw in te leiden (o.a. met SenterNovem en ECN). De commissie Cramer heeft aanbevelingen gedaan t.a.v. het gebruik van biomassa. Een van de belangrijkste aanbeveling is het opzetten van een certificatensysteem voor groen gas zoals dat nu al wordt gehanteerd voor groene stroom. Een andere ontwikkeling is het ondertekenen van het Manifest “Nederlandse bedrijven werken aan duurzame gasinzet.“ door Eneco, Essent, Nuon, de NAM en de Gasunie.

Groen gas is inmiddels in de opvolger van de MEP, de Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie (SDE) opgenomen voor subsidie.

9.1.4 Potentie

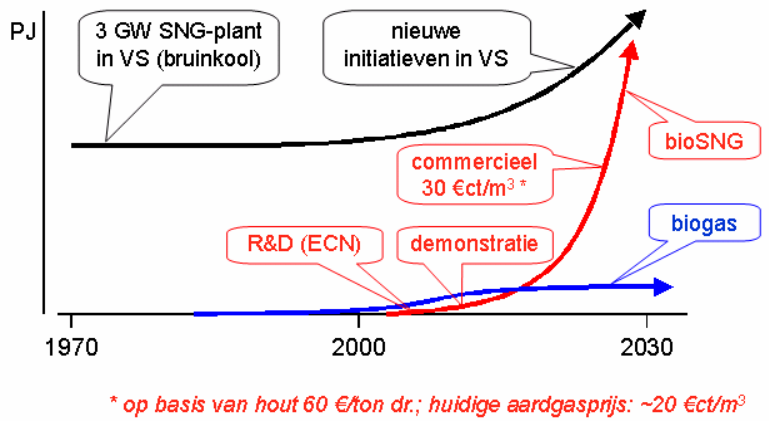
De potentie voor groen gas productie op basis van biogas bedraagt volgens (Welink, 2007) in Nederland zo’n 1,5 miljard Nm3 per jaar - circa 2% van de totale Nederlandse gasproductie. Dan zijn alle mest, GFT, swill, reststromen uit de voeding- en genotmiddelenindustrie, bermgras en slootkantgras vergist en is tevens 90.000 hectare mais specifiek voor vergisting geteeld. De maximale groen

gas productie op basis van biogas betekent tevens dat circa 100 grootschalige vergistinginstallaties moeten worden gebouwd.

De potentie voor SNG-productie hangt af van de ambities van investeerders en bestuurders en van de beschikbaarheid van biomassa en organische reststromen op de Nederlandse en internationale markt.
De mogelijkheden lijken begrensd door beschikbare volumes. Goede kwaliteit biomassa brandstoffen, zoals nodig zijn voor vergassing, zijn ook gewild voor andere toepassingen als meestoken in kolencentrales. Zo is er in Nederland ongeveer 1 Mton resthout en sloophout vrij beschikbaar (wordt geëxporteerd naar Duitsland) en komt er ongeveer 0,5 Mton aan hout uit bossen en andere terreinen, samen ongeveer 20 PJ aan biomassa, goed voor maximaal 14 PJ of ongeveer 0,5 miljard Nm^3 (G-gas kwaliteit) groen gas. Maar het snoeihout is vaak al gecontracteerd voor bijvoorbeeld papierindustrie en het resthout wordt vaak al in Nederland als brandstof gebruikt of als zodanig geëxporteerd naar Duitsland of Zweden.
Beschikbaarheid aan importeerbare biomassa valt nog te bezien. De productiecapaciteit voor houtpellets in Canada bedraagt momenteel of binnenkort zo'n 6 Mton. Een aanzienlijk dele hiervan wordt nu al geëxporteerd naar de USA en andere Europese lidstaten. Zelfs al zou Nederland de helft kunnen contracteren, dan nog is de hoeveelheid met een stookwaarde van 3 x 18,5 = 55 PJ/jaar en een potentiele SNG productie van 36 PJ (1,2 miljard Nm3 G-gas) hooguit 1,5% van de totale Nederlandse gasproductie.

Samenvattend is duidelijk dat groen gas op basis van de nu in Nederland en buitenland beschikbare en contracteerbare hoeveelheden biomassa geen significant deel van de aardgasproductie kan vervangen. Het realiseren van de ambities – zoals bijvoorbeeld gevisualiseerd door ECN - is geen gemakkelijke taak.

Figuur 34 Ontwikkeling SNG uit biomassa (bron ECN)



9.1.5 Hoe groen is groen?

Voor wat betreft het duurzaamheidsgehalte van groen gas geldt hetzelfde als voor het duurzaamheidsgehalte van biobrandstoffen:

- organische reststromen zonder huidige marktwaarde en nuttige toepassing zijn een duurzame bron;
- aan gebruik van organische reststromen met een bestaande nuttige toepassing en geteelde biomassa is milieubelasting verbonden. Deze is in het ongunstigste geval vergelijkbaar met de milieubelasting gerelateerd aan de inzet van de vervangen aardgas.

Productie van groen gas op basis van biogas biedt wel betere uitgangspunten voor een duurzame keten dan de meeste andere gangbare biomassa techniek combinaties:

- een hoge opbrengst aan energie per hectare vanwege het hoge conversierendement van het vergistingsproces;
- de mogelijkheid voor toepassing van gewassen met een hoge opbrengst per hectare, zoals maïs, cassave en Soedan gras, die eventueel in dubbele teelt per jaar systeem kunnen worden verbouwd;
- de mogelijkheid tot sluiten van de nutriënten kringloop;
- watergebruik kan beperkt worden door geschikte gewaskeuze, bijvoorbeeld cassave;
- vergisting van mest voorkomt emissies van methaan uit mestopslag.

Maar teelt van deze gewassen is wel intensief qua grondbewerking en vraagt honderden kilo's nutriënten per hectare.

9.2 Productie van SNG uit kolen

De in paragraaf 9.1 beschreven route van SNG-productie uit synthesegas is in principe toepasbaar voor alle vergasbare brandstoffen, biomassa, maar ook turf, bruinkool, steenkool, olie en residuen van raffinage (petrocokes, visbreaker residu).

Focus in deze paragraaf is op inzet van kolen, bijvoorbeeld in Nederland, maar eventueel ook in landen met grote kolenvoorraden en een directe aardgas transmissie verbinding naar Nederland, bijvoorbeeld Polen.

9.2.1 Proces

Steenkool moet vanwege de specificaties (laag gehalte aan vluchtige componenten, lage reactiviteit) worden vergast met zuurstof, indirecte vergassing zoals bij biomassa is voor steenkool geen optie. In de praktijk voor vergassing van steenkool met zuurstof (en stoom) toegepaste typen processen zijn stofwolk vergassing, wervelbed vergassing en bewegend bed proces. Bij bewegend bed en stofwolk proces ontstaat een gesmolten slak die zonder problemen kan worden afgezet als secundair bouwmateriaal. Bij wervelbed vergassing geproduceerde

as zal aanzienlijk lastiger af te zetten zijn en moet mogelijk/waarschijnlijk worden gestort.

De steenkool wordt tijdens vergassing omgezet in synthesegas dat voornamelijk uit CO en H2 bestaat, zoals bijvoorbeeld het synthesegas geproduceerd bij de Willem Alexander Centrale in Buggenum.

Productie van SNG uit synthesegas omvat drie stappen (Haldor Topsoe, 2007):

- Aanpassing H2 ÷ CO verhouding in het synthesegas middels watergas shift reactie tot 3 ÷ 1;
- Verwijdering van CO_2 en zwavelverbindingen middels Rectisol, Selexol of vergelijkbaar proces;
- SNG productie middels methanatie van CO (CO + 3H2 → CH4 + H2O) bij 25 – 30 bar en een begintemperatuur van ±250°C.

Uit geconditioneerd synthesegas afgevangen CO_2 is in principe beschikbaar voor ondergrondse opslag.

Het koud gas rendement voor conversie bedraagt circa 60%:

- Koud gas efficiëntie voor vergassing bedraagt circa 75%;
- Koud gas efficiëntie voor de benodigde water gas shift reactie bedraagt ongeveer 70%;
- De SNG productie heeft een koud gas efficiëntie van 80% t.o.v. de stookwaarde van het gebruikte en middels watergas shift reactie geconditioneerde synthesegas.

Bij de exotherme watergas shift reactie en methanatie reactie vrijkomende warmte wordt weggekoeld onder vorming van oververhitte hoge druk stoom. In principe kan ook de warmte van heet ruw synthesegas uit de vergasser worden benut, maar het huidige inzicht is dat de hoge investeringen voor de syngas koeler economisch niet opwegen tegen de baten uit geproduceerde stoom en dat daarom direct quenchen in een waterbad optimaler is. Bovendien zorgt quenchen ervoor dat akalizouten en andere ongewenste verbindingen uit het gas worden verwijderd.
Sporen van resterende waterstof en CO worden verwijderd waarna het overblijvende methaan op druk wordt gebracht voor injectie in het aardgasnet.

9.2.2 Stand der techniek

Productie van syngas wordt in de praktijk voornamelijk gebruikt als methode om gas te zuiveren bij waterstofproductie en ammoniakproductie.
Maar SNG productie uit, op basis van steenkool geproduceerd syngas, wordt ook mondiaal hier en daar toegepast op commerciële schaal voor de levering van aardgas aan lokale gasnetten. Een bekend voorbeeld is de White Plains SNG fabriek in North Dakota in de VS. Deze fabriek produceert synthetisch aardgas op basis van bruinkool. De daarbij overblijvende CO_2 wordt enkele honderden kilometers verderop in Weyburn in Canada toegepast voor oliewinning.
Vergassing van steenkool is bewezen technologie die ondermeer in Nederland in commerciële installaties wordt toegepast.

10 Discussies over plaats aardgas in energievoorziening

In de vorige hoofdstukken hebben we gezien dat er een belangrijke rol is weggelegd voor aardgas in onze energievoorziening. Maar wel een andere dan de huidige. Aan het eind van dit hoofdstuk geven daar nog een resumé van, maar de vraag dient zich ook aan of we ons aardgas moeten bewaren of snel moeten opmaken. Op de Amerikaanse, Britse en Belgische markt houdt de koppeling met de olieprijs direct verband met de concurrentie tussen huisbrandolie en aardgas als brandstof voor ruimteverwarming. Maar in de meeste Noordwestelijke EU landen is het aardgasnet dusdanig dicht en vertakt dat huisbrandolie niet meer kan concurreren, zeker niet in de steden. Aardgas heeft een eigen marktpositie verkregen.

10.1 Gas in de grond of geld in het handje

Een vaak terugkerende vraag is of het aardgas, gelet op de toekomstige prijsstijgingen van aardgas, niet beter in de grond kan blijven zitten in plaats van op te worden gepompt en verkocht.

De econoom Harold Hotelling formuleerde in 1931 zijn “Hotelling rule” waarin hij stelde dat de winning van een niet-hernieuwbare grondstof (zoals aardgas) vanuit economisch perspectief optimaal gebeurt als de de prijs van de grondstof jaarlijks gemiddeld stijgt met het (reële) rentepercentage. Hotelling stelde dat een kubieke meter aardgas beter dit jaar gewonnen kan worden als de prijs (als proxy voor de opbrengsten) naar verwachting minder hard stijgt dan de reële rente. Het is dan immers vanuit economisch perspectief aantrekkelijker om de opbrengst van het verkochte aardgas te beleggen. In deze visie wordt het niet-gewonnen aardgas gezien als een belegging die in evenwicht evenveel moet opleveren als andere, gelijkwaardige beleggingen. Anders gezegd, zolang uit de grond halen meer oplevert dan nog even laten zitten, moet je meer winnen en als de prijs te laag wordt, kun je het beter nog even in de grond laten zitten.

Empirisch niet waarneembaar

Een implicatie van Hotelling’s theorie is dat de prijzen van grondstoffen over de tijd heen moeten stijgen. In een markt met vrije toetreding zal de prijs dus gemiddeld genomen moeten toenemen met de marktrente. Immers, stijgt de prijs sneller, dan zullen alle eigenaren de winning nu laten afnemen om later te profiteren van de prijsstijgingen. Stijgt de prijs minder snel, dan zullen producenten de winning nu opvoeren en zullen toetreders hun kapitaal willen beleggen in de winning.

Empirisch valt een dergelijk patroon echter niet waar te nemen. Zoals in de Bruyn (2000) geanalyseerd worden tijdelijke prijsstijgingen vaak onomkeerbaar gevolgd door prijsdalingen. Dit komt doordat de prijsstijgingen:

a Ontwikkeling en toepassing van zuinigere techniek of gedrag stimuleren.

b De exploratie doen toenemen doordat marginale velden plotseling wel rendabel worden en nieuwe velden worden gevonden doordat de verhouding zoekkosten/verwachte opbrengsten daalt.
c Er substitutie plaatsvindt tussen andere energiedragers en/of arbeid en kapitaal

Met andere woorden: prijsstijgingen hebben effecten op andere markten en die effecten beïnvloeden de keuze van de samenleving om gas in de grond te laten zitten of op te pompen. Daarbij komt ook dat -in het geval van fossiele energie- er een relatie is tussen de marktrente en het prijsverloop van de grondstoffen. Als de prijzen van energie sterk stijgen is het waarschijnlijk dat de rente omhooggaat omdat geld schaarser wordt, en vice versa. De theorie van Hotelling maakt ook geen gebruik van het idee in de economie dat vooral verwachtingen belangrijk zijn. Victor (1991) heeft in dit verband gewezen op de techniek-paradox van de rationele verwachtingen: als iedereen verwacht dat in de toekomst de prijzen zullen stijgen, worden er veel investeringen gedaan in zuinige techniek en exploratie, met als gevolg dat de vraag minder zal stijgen dan verwacht en de prijsstijging zich niet zal voordoen. Als niemand verwacht dat de prijzen in de toekomst zullen stijgen, blijven investeringen in de techniek uit, en zullen de prijzen in de toekomst gaan stijgen omdat er ondergeïnvesteerd is in exploratie en zuinige techniek.

Maatschappelijk rendement

Hotelling (1931) veronderstelt dat de beslissing van het individuele bedrijf om een grondstof wel of niet uit de grond te halen ook maatschappelijk optimaal is. Sinds de jaren ’70 wordt ervan uitgegaan dat dit niet altijd het geval hoeft te zijn. Met name op het gebied van intergenerationele rechtvaardigheid is er op gewezen dat de bestaande generatie teveel belang kan hechten aan consumptie (gefinancierd door de grondstoffen uit de grond te halen) en te weinig aan investeringen. Hartwick (1977) bestudeerde het probleem hoe kon worden voorkomen dat toekomstige generaties minder te besteden hebben dan de huidige doordat alle grondstoffen reeds zijn opgemaakt. Zijn stelregel, als aanvulling op Hotelling, is dat de maatschappij de opbrengsten van de onttrekkingen uit de natuur zou moeten investeren in kapitaalgoederen. Voor gas lijkt dit een aardige regel te zijn. De Hartwick-regel gaat namelijk alleen op als je veronderstelt dat toekomstige generaties alleen in inkomen geïnteresseerd zijn, en dat de waarde van natuurlijke hulpbronnen alleen wordt afgemeten aan het vermogen dat ze hebben om inkomsten te genereren (m.a.w. er zijn geen intrinsieke waarden verbonden aan de natuurlijke hulpbronnen). Pearce *et al*. (1990) heeft aangetoond dat de Hartwick-regel overeenkomt met het begrip ‘weak sustainability’. Het gaat hierbij dus vooral aan randvoorwaarden omtrent de bestemming van de opbrengsten van het gas.

Indien er wél intrinsieke waarden verbonden zijn aan het gebruik van natuurlijke hulpbronnen, gaat de Hartwick regel niet op. In dat geval zou Pearce *et al*. (1990) pleiten voor “strong sustainability”: een bepaalde hoeveelheid van de natuurlijke hulpbronnen moeten worden bewaard voor toekomstige generaties. Het lijkt niet dat dit principe van toepassing is op de gasbel onder de grond: in zoverre gas-

winning natuurlijke hulpbronnen aantast door, bijvoorbeeld, bodemdaling, kan de “strong sustainability” regel wel opgeld doen.

Tot slot kan er ook discussie plaatsvinden over wat de marktrente precies inhoudt en of de marktrente wel gelijk is aan de ‘sociale rentevoet’ die een betere reflectie geeft over het equivalent in welvaart tussen nu en de toekomst. Over het algemeen gaat men ervan uit dat, vanuit een maatschappelijk oogpunt, de sociale rentevoet lager is dan de marktrente. Tezamen met de Hotelling regel resulteert dit in een grotere hoeveelheid gas die juist nu zou moeten worden gewonnen ten koste van toekomstige winning.

10.2 Veranderende inzet van aardgas

De bijdrage aan verduurzaming van de energievoorziening van elke sector zal verschillend zijn door verschillen in de relatieve prijs van energie, de kosten van CO_2-reductie en/of energievraagbeperking, concurrentieoverwegingen en bereidheid om te betalen voor schone energie. Naar verwachting van CE Delft zal de druk om de CO_2-emissie fors omlaag te brengen, in de gebouwde omgeving leiden tot maximale inzet van hernieuwbare bronnen, in de industrie door concurrentieargumenten tot CO_2-opslag. De mobiliteitssector zal door de nog steeds groeiende mobiliteitsbehoefte en gebrek aan politieke weerbaarheid op dit punt een groeiend beroep doen op de CO_2-emissieruimte en op de beschikbare vloeibare brandstoffen (olie, biobrandstoffen). Voor de rol van aardgas in onze energievoorziening ontstaat dan het volgende beeld.

Transport
Aardgas vervult hier als energiebron en als energiedrager nauwelijks een rol, nu niet en waarschijnlijk in de komende decennia ook niet. De efficiëntiewinst van aardgasvoertuigen is gering ten opzichte van (de mogelijkheden van) benzine, LPG en diesel. Op korte termijn kan aardgas een rol spelen omdat het snel de luchtkwaliteit in steden helpt verbeteren, maar dat kan ook met de huidige dieselmotoren.
Kan aardgas dan de voorbereider zijn voor groen gas of waterstofgas in de transportsector? Dat lijkt ook niet waarschijnlijk omdat er makkelijkere toepassingen zijn om groen gas te gebruiken (gebouwde omgeving).
De brandstofmix in deze sector zal de komende decennia wel sterk gaan veranderen waarbij biobrandstoffen en elektriciteit hoge ogen gooien. Het aardgas kan als energiebron een rol spelen bij de productie van die elektriciteit, mits dit met een zeer hoog rendement wordt geproduceerd.
De voordelen van aardgas als transportbrandstof nu, hebben vooral een basis in de lage ecotax in vergelijking met de hoge accijns op diesel en benzine.

Gebouwde omgeving
De gebouwde omgeving is een sector die aan het einde van de transitieperiode zonder economische schade geheel op hernieuwbare energie kan draaien. Nieuwe gebouwen worden nu al mondjesmaat opgeleverd die per saldo geen fossiele ener-

gie meer gebruiken. Dat wordt de trend voor de komende decennia. Dat betekent een terugtredende rol van aardgas als energiedrager in de gebouwde omgeving, eerst in de nieuwbouw vervolgens in de herbouw en tot slot in de bestaande bouw. In deze deelsector zal met een verhoging van de energie-efficiëntie (HRe-ketel, (gas/elek.)warmte-pomp, zonnecombi) het aardgasgebruik afnemen en op gegeven moment groen gas gaan worden. Gas zal dus een beperkte rol blijven spelen als energiedrager voor grotere, bestaande woningen.

Industrie

Gas is een geschikte energiedrager om met zeer geringe verliezen grote hoeveelheden energie bij de industrie af te leveren die daar efficiënt gebruikt kan worden. Geen stof, geen stank. Ondanks de efficiëntiesprongen die gaan plaatsvinden in de industrie zullen er aan het einde van de transitieperiode nog steeds grote energiestromen naar toe gaan voor stoom en kracht. Dat zal gebeuren met aardgas en elektriciteit. Bij de grootste industrieën waar geconcentreerd veel CO_2 vrij komt kunnen forse hoeveelheden CO_2 worden afgevangen en worden opgeslagen (20 Mton/jaar uit industriële processen).

Elektriciteitproductie

Een kwart van de fossiele brandstofinzet in Nederland wordt thans in de elektriciteitssector omgezet in elektriciteit. Hiervan is ruim de helft aardgas. Het gemiddelde rendement ligt op 45% maar kan technisch veel hoger (60% voor STEG). Door gecombineerde opwekking van warmte en kracht kan ook, mits een zo hoog mogelijk totaalrendement wordt bereikt, nog een forse efficiëntieverbetering worden behaald. Dit kan zowel bij gebruikers in de industrie, glastuinbouw als huishoudens. Kolencentrales zullen door de milieu-eisen steeds moeilijker en kostbaarder worden om te plaatsen in stedelijke gebieden zoals Nederland. Door de beprijzing van CO_2-emissies zal de concurrentiekracht van WKK-installaties groter worden. Door efficiëntieverbetering wordt elektriciteit uit aardgas bij een CO_2-prijs van € 40 per ton al interessanter. Daar kan dan indien haalbaar CO_2-opslag mee worden gecombineerd (circa 40 Mton/jaar voor elektriciteitsproductie).

Figuur 35 Toekomstige rol aardgas, hernieuwbaar en overig fossiel per sector (met CO_2 opslag)

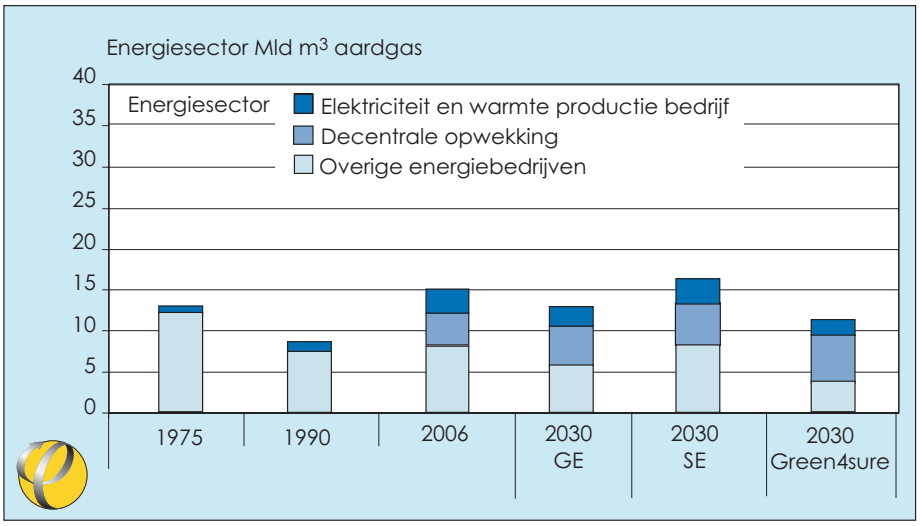
	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Elektriciteit
Groei	• Energie-extensieve groei	• Beperking groei mobiliteit	• Energie-extensieve groei	
Efficiëntie	• Isolatie • Zuinige apparaten	• Zuinige voertuigen	• Efficiënte processen	• Zuinige apparaten • Efficiënte centrales
			• WKK	
Hernieuwbaar	• Bodemwarmte • Zonnecombi's • Groen gas	• 2e generatie Bio-brandstoffen	• Zeer beperkt	• Wind • Biomassa
Fossiel	• Afnemende afzet aardgas	• Toenemend elektrisch vervoer	• Behoud rol aardgas	Keuze: • Kolen+CO_2-opslag • Aardgas • Aardgas +CO_2-opslag • Kernenergie

In Figuur 35 zien we de huidige rol van aardgas verschuiven van de gebouwde omgeving, industrie en elektriciteitsproductie, naar energiedrager en bron voor de industrie waar ook alle elektriciteit uit fossiele brandstoffen wordt geproduceerd. De energievraag in alle sectoren is constant verondersteld er van uitgaande dat de efficiëntieverbetering de welvaartgroei mogelijk maakt.
Het beeld dat hiermee ontstaat is dat aardgas een energiedrager/energiebron voor de industrie en elektriciteitsproductiesector wordt. Het voordeel van aardgas is dat het op plaatsen kan worden geleverd die voor andere energiebronnen uiterst veeleisend zijn (kolenstook midden in de stad komt alleen in Amsterdam en Nijmegen voor, en zal in de toekomst waarschijnlijk heel moeilijk te herhalen zijn). De regelbaarheid, nodig bij een groot aandeel hernieuwbare elektriciteit, is ook uiterst goed zodat WKK-toepassingen bij zowel industrie als elektriciteitsproductiesector voor de hand ligt. Het zou goed denkbaar zijn als elektriciteitsbedrijven verplicht worden om hun productie-installaties bij industriële bedrijven te plaatsen om zodoende optimale WKK-installaties te bedrijven. Een andere mogelijkheid is een heffing op de lozing van warmte op het oppervlaktewater in te voeren.

10.3 Ontwikkelingen aardgasinzet

In figuur 32 zien we de inzet van aardgas in de energiesector in het verleden alsmede in verschillende beleidsscenario's. Duidelijk is te zien dat aardgas in Green4sure in absolute termen een lagere aardgasinzet vergt dan in de overheidsscenario's GE en SE. In reltieve termen is de inzet wel groter.

Figuur 36 inzet aardgas in beleidsscenario's



11 Wat is nodig voor aardgas als transitiebrandstof?

11.1 Rol van GasTerra

GasTerra kan als een traditionele leverancier van fossiele brandstoffen zich vooral bekwamen in het leveren van zoveel mogelijk gas aan steeds meer klanten. Naast de Nederlandse gasvoorraden kunnen steeds meer contracten worden gesloten met buitenlandse beheerders van gasvoorraden. Maar gezien de traditie van GasTerra (het voormalige Gasunie dat zich intensief heeft bezig gehouden met de ontwikkeling van zuinige gastechnieken) zou dat te makkelijk zijn. GasTerra heeft een traditie hoog te houden. Een inzetstrategie van aardgas zoals beschreven in het voorgaande vergt enerzijds de inkoop van voldoende aardgas uit zoveel mogelijk bronnen, maar anderzijds het accepteren en zelfs bepleiten van overheidsinstrumentarium om de transitie naar een duurzame energievoorziening mogelijk te maken. En daarbij te accepteren dat gasgebruik afneemt in bepaalde markten (gebouwde omgeving) en toeneemt in andere (elektriciteitsvoorziening). Het past goed in de traditie van GasTerra om de ontwikkeling van zuinige technieken krachtig voort te zetten, Daarvoor komen efficientieverbetering van elektriciteitsproductie en ontwikkeling van installaties die hernieuwbare energie en aardgas combineren in aanmerking. Maar ook de ontwikkeling van groene gassen, met alle bijkomende problemen van duurzaamheid inbegrepen.

Technische ontwikkeling
De steun van GasTerra aan nieuwe, zuinige gastoepassingen voor kleinverbruikers zoals de HRe-ketel, is logisch en nuttig, en worden aangevuld met zonnecombi, maar ook met grootschalige WK-toepassing op basis van STEG (verhogen elektrisch rendement van het WK-bedrijf, bijvoorbeeld juist van installaties met een vermogen van 50 MW), waardoor deze ondanks de hoge gasprijzen rendabel kunnen draaien.
Daarbij zou het aantal technieken beperkt moeten worden tot de strategische, zoals HRe en WKK en niet op alle mogelijke gastechnieken inzetten.
Tot slot is het zinvol om gasinstallaties geschikt te maken voor een bredere wobbe-index, zodat ook andere gassen dan aardgas op den duur makkelijk kunnen worden ingezet.

Nieuwe gassen
De gasleverancier van de toekomst zal niet alleen maar aardgas verkopen. Daarom is het noodzakelijk dat GasTerra ook inzet op andere gassen zoals syngas en groengas, misschien zelfs met andere calorische waarden. Hierbij hoort ook het geschikt maken van gasinstallaties voor die andere gassen (een technische route voor grotere inzetbaarheid) zodat op lokaal niveau andere gassen gebruikt kunnen worden.

Beleidscontext
Omdat aardgas de schoonste en minst CO_2-emitterende brandstof is en GasTerra streeft naar efficiëntieverbetering is een beleidscontext nodig die dat hono-

reert, zowel in de gebouwde omgeving als in de industrie/E-productie. Het bijdragen aan zo'n beleidscontext is tot nu toe geen activiteit van GasTerra, maar past wel in de rol van GasTerra om serieus bij te dragen aan de rol van aardgas als transitiebrandstof. Welke instrumenten zijn het meest effectief om die hogere rendementen te bereiken zodat je niet alleen als GasTerra geld stopt in innovaties, maar ook andere partijen willen mee-investeren (van ABB tot Daalderop). Dus zowel een goede beleidscontext voor innovatie als voor implementatie. Met name dat laatste is het belangrijkste, het heeft een zuigende werking op de innovaties waar GasTerra van oudsher aandacht aan besteed.

11.2 Rol van de overheid

De belangrijkste rollen voor de overheid om de transitie naar een duurzame energiehuishouding mogelijk te maken zijn weergegeven in Green4sure. Milieuschadelijke emissies krijgen een prijs doordat ze aan plafonds worden gebonden, zowel CO_2 als NOx, fijn stof e.d. Daardoor ontstaat een marktcontext die de hiervoor beschreven rollen van aardgas goed mogelijk maakt, maar niet per definitie. Aardgas maakt goede kansen en gebruik van aardgas geeft goede kansen voor een fors schonere energiehuishouding. Een belangrijke toevoeging aan de beleidsmaatregelen die in Green4sure zijn beschreven, is de ruimte die de overheid moet geven om maximaal op aardgas in te zetten en niet vanwege brandstofdiversiteit de inzet van aardgas te maximeren of andere opties zoals kernenergie of CO_2-opslag voor kolencentrales met overheidsinvesteringen te bevoordelen.

Literatuurlijst

Algemene Energieraad advies (2008)
Brandstofmix in beweging

Bruyn, S.M. de (2000)
Economic Growth and the Environment: an empirical analysis.
Kluwer Academic Publishers Dordrecht/Boston/London 2000

CBS, 2007
Statline. 19 november 2007
http://statline.cbs.nl

CBS, 2008
Statline.
http://statline.cbs.nl

CE Delft, 2004
M. Groot
Milieuprofiel van stroomaanbod in Nederland
Delft : CE, 2004

CE Delft, 2006
F.J. Rooijers, L.J. Kortman, J.W. van der Ploeg, J.T.W. Vroonhof, R.A.A. Schillemans, A. Schroten, H. Schneider (CEA), R. uit Beijerse (CEA)
Energiebesparingsgedrag, verkening t.b.v. Algemene Energie Raad
Delft: CE Delft, 2006

CE Delft en ECN, 2007
C. Leguijt (CE Delft), H. Croezen (CE Delft), H, Jeeninga (ECN), C. Tigchelaar (ECN)
De rollen van aardgas in de transitie
Delft : CE Delft, 2007

CE Delft, 2007a
F. Rooijers e.a.
Green4sure, het groene energieplan
Delft : CE Delft, 2007

CE Delft, 2007b
M. Blom, L. Wielders, A. Schroten, J. Benner
Stimuleringsbeleid WKK
Delft : CE Delft, 2007

CE Delft, 2007c
R.T.M. Smokers, L.C. den Boer, J.F. Faber

State-of-the-Art CO_2 en mobiliteit
Delft: CE Delft, 2007

Dril en Elzenga, 2005
A. van Dril (ECN), H. Elzenga (MNP)
Referentieramingen energie en emissies 2005-2020
Petten : ECN, 2005

ECN, 2004
M. Menkveld (red.)
Energietechniekën in relatie tot transitiebeleid
Petten : ECN, 2004

ECN, 2005
R. Harmsen
MEP-advies WKK 2006
Petten: ECN, 2005

ECN, 2006
B.W. Daniels, A.W. N. van Dril, Y.H.A. Boerakker, P. Godfroij, F. van der Hilst, P. Kroon, M. Menkveld, A.J. Seebregts, C. Tigchelaar, H.P.J.de Wilde
Instrumenten voor energiebesparing : instrumenteerbaarheid van 2% besparing per jaar
Petten : ECN, 2006

ECN, 2007
Brandstofinzet elektriciteitscentrales. 19 november 2007
http://www.energie.nl/stat/trends058.html

Ecofys, 2007
Harmsen, R., Harmelink, M.
Duurzame warmte en koude 2008-2020: potentiëlen barrières en beleid
Utrecht: Ecofys, 2007

EU, 2007
Combining Heat and Power. 19 november 2007
http://ec.europa.eu/energy/action_plan_energy_efficiency/doc/chp_en.pdf

Energietech, 2008
http://www.energietech.info/hrketel/inleiding.htm

Greenpeace, 2007
Factsheet. 21 november 2007
http://www.stopnieuwekolencentrales.nl/images/factsheet.pdf

Haldor Topsoe, 2007
From coal to substitute natural gas using tremp
Denmark, Lyngby: Haldor Topsoe: 2007

Hartwick, J.M., (1977)
Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources. American Economic Review, 67: 972 974.

Hotelling, H. (1931)
The Economics of Exhaustible Resources.
J. Polit. Econ., Vol. 39:137-175

I-dacta, 2008
http://i-dacta.digibel.be/pages/accueillang.php?param=nl

IEA, 2006
International Energy Agency
Electricity Information 2006
Parijs, Frankrijk : IEA/OECD, 2006

Pearce, D., et al. (1990)
Pearce, D., E. Barbier and A. Markandya,.
Sustainable development: economics and environment in the Third World.
Edward Elgar, Aldershot.

ROMr2, 2003
ROM Rijmond R3
To C or not to C, that's the question…
Rotterdam : Strategisch Platform R3, 2003

SEQ, 2007
SEQ. 20 november 2007
http://www.seqnederland.nl/default.asp

Victor, P.A., (1991)
Indicators of sustainable development: some lessons from capital theory.
Ecological Economics, **4**: 191-213