

De wereld van aardgas

Aardgas als transitiebrandstof

Voor een duurzame energiehuishouding



De wereld van aardgas

Aardgas als transitiebrandstof

Voor een duurzame energiehuishouding



De wereld van aardgas

Aardgas als transitiebrandstof

Voor een duurzame energiehuishouding

GasTerra / Castel International Publishers
Groningen, The Netherlands

Dit boek is gebaseerd op het rapport ‘Gas4Sure, aardgas als transitiebrandstof’ van CE Delft.

Editie: juli 2008

Auteurs: Frans Rooijers, Lonneke Wielders, Benno Schepers, Harry Croezen en Sander de Bruyn (CE Delft)

Eindredactie: Pietermel Overmars (Energy Delta Institute)

Figuren en illustraties: Marius Geervliet en Joost Swarte

Concept en realisatie: Castel International Publishers

Vormgeving: Eldad Groenman (Castel Mediaproducties)

© 2008 GasTerra/Castel International Publishers

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

ISBN 978 90 79147 03 8

NUR 600

www.castel.nl

www.ce.nl

www.energydelta.com

www.gasterra.nl

Inhoud

Ten geleide	6	6.5 Voor- en nadelen van aardgas ten opzichte van andere fossiele brandstoffen	38
Voorwoord	7	6.6 Ontwikkelingen qua omvang en halvering van de emissies in 2030	39
In het kort	8	7. Aardgas in de elektriciteitsproductie	40
Aardgas als transitiebrandstof - samenvatting	11	7.1 De ontwikkeling van aardgas in de elektriciteitsproductie	40
1. Transitie van de energievoorziening	19	7.2 Warmtekracht (van groot tot klein) en STEG	40
1.1 Vooraf	19	7.3 Nieuwe ontwikkelingen, CO ₂ -afvang en ZEPP	42
1.2 Duurzaamheid en voorzieningszekerheid	19	7.4 Voor- en nadelen van aardgas ten opzichte van andere fossiele brandstoffen	44
2. De historische rol van aardgas in Nederland en in de wereld	21	8. Aardgas in het transport	45
3. De beschikbaarheid van aardgas in Nederland, in Europa en in de wereld	23	8.1 Personenauto's en bussen op aardgas	45
4. De omschakeling naar een duurzame energievoorziening	25	8.2 Kosten en milieuprestaties	45
4.1 Doelstellingen	25	8.3 Voor- en nadelen van aardgas ten opzichte van andere fossiele brandstoffen	47
4.2 Verlaging van de vraag naar energiedragers	25	8.4 Ontwikkelingen qua omvang en halvering van de emissies in 2030	47
4.3 De potenties van hernieuwbare energiebronnen	26	9. Andere gassen	48
4.4 Aardgas als ondersteuning van hernieuwbare bronnen	27	9.1 Groen gas	48
4.5 Aardgas in Green4sure	28	9.2 De productie van SNG uit kolen	51
4.6 Het aardgasverbruik per sector	29	10. Discussies over de plaats van aardgas in de energievoorziening	53
5. Aardgas in de gebouwde omgeving	30	10.1 Gas in de grond of geld in het handje?	53
5.1 De ontwikkeling van het aardgasverbruik in de woningbouw	30	10.2 De veranderende inzet van aardgas	54
5.2 Warmte- en koudevraag in de bestaande bouw en in de nieuwbouw	30	10.3 Ontwikkelingen in de inzet van aardgas	56
5.3 Duurzame en efficiënte warmteopties voor de bestaande bouw	32	11. Hoe kan aardgas de rol van transitiebrandstof spelen?	57
5.4 De ontwikkeling van het aardgasverbruik in de utiliteitsbouw	34	11.1 De rol van GasTerra	57
5.5 Voor- en nadelen van aardgas ten opzichte van andere fossiele brandstoffen	34	11.2 De rol van de overheid	58
5.6 Ontwikkelingen qua omvang en halvering van de emissies in 2030	35	Noten	59
6. Aardgas in de industrie	37	Literatuurlijst	60
6.1 De ontwikkeling van aardgas in de industrie	37	Register	62
6.2 Aardgas als brandstof	38	Corporate statement GasTerra	64
6.3 Kosten en milieuprestaties	38		
6.4 Aardgas als grondstof	38		

Ten geleide

GasTerra is van mening dat aardgas nog tot diep in deze eeuw een hoofdrol zal spelen in de energievoorziening wereldwijd. Deze mening is gebaseerd op feiten en prognoses. Het is een feit dat de fossiele brandstoffen in het huidige tijdsbestek voor 90% of meer in de primaire energiebehoefte voorzien. Het is ook een feit dat van deze fossiele brandstoffen aardgas in het gebruik relatief goede eigenschappen heeft, met de minste belasting voor het milieu.

De gasvoorraden strekken tot ver in deze eeuw. In het transitietijdperk naar duurzamere 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 nu nog niet voorziene versnelling van het verduurzamingsproces is het duidelijk dat aardgas in deze eeuwhelft samen met kolen en olie een voorname energiebron zal zijn.

Dit geeft een dubbele verantwoordelijkheid. De bestaande energievoorziening met aardgas moet op een hoog niveau worden nagestreefd, terwijl er tegelijkertijd met verve aan transitie zal moeten worden gewerkt. GasTerra ziet zichzelf als een expert op aardgasgebied en kijkt vanuit die hoedanigheid naar aardgasgerelateerde transitiemogelijkheden: wat kan zuiniger, schoner en doelmatiger? GasTerra acht het bovendien haar plicht kennis op dit terrein te delen. De energieontwikkelingen raken iedereen: specialist en burger. Discussies en keuzes hebben baat bij goede informatie aan alle betrokkenen. Daarom brengt GasTerra de aankomende jaren - los van andere overdrachtsvormen - verschillende boeken uit die deze informatie beschikbaar maken.

‘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- en economisch als op technologisch terrein. GasTerra heeft als opdrachtgever gefungeerd en heeft buiten dit ‘Ten geleide’ verder geen inhoudelijke bemoeienis gehad, maar kan zich met de inhoud verenigen.

Gertjan Lankhorst
CEO GasTerra

Voorwoord

‘Aardgas als transitiebrandstof’ is een beschrijving van de rol van aardgas in de transitie naar een duurzame energievoorziening. Als schoonste fossiele brandstof kan aardgas een relatief belangrijke rol spelen in de omschakeling van een hoofdzakelijk op fossiele brandstoffen gebaseerde energievoorziening, naar een energievoorziening die op efficiënte installaties en hernieuwbare energiebronnen gestoeld is.

‘Aardgas als transitiebrandstof’ 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 CO₂-emissie in een periode van 25 jaar mogelijk is en geeft aan welke rollen de verschillende partijen moeten spelen om dat te realiseren.

In ‘Aardgas als transitiebrandstof’ is gebruik van aardgas geen doel op zich, maar gezien de grote veranderingen in de condities voor de milieueffecten van de energievoorziening, geeft het boek een schets van de rol die aardgas kan spelen.

Frans Rooijers
Directeur CE Delft

In het kort

Als gevolg van de klimaatverandering zullen de milieuschadelijke emissies die aan het gebruik van fossiele energiebronnen verbonden zijn, de komende decennia sterk gereduceerd moeten worden. Door aardgas op een slimme manier in te zetten, is er juist voor deze schoonste fossiele energiebron een relatieve groei mogelijk.

De toename van onze welvaart brengt met zich mee dat de vraag naar energie zal blijven groeien. Daarom is het noodzakelijk om met heel veel maatregelen (isolatie, procesvernieuwing in de industrie, minder mobiliteit door elektronisch verkeer, enz.) de vraag naar energiedragers te beperken. Het gebruik van hernieuwbare energiebronnen (zoals wind, zon, getijden en bodemwarmte) moet worden gemaximaliseerd en met behulp van efficiënte installaties (micro-WKK en 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 in de energiescenario's van de overheid ('Global Economy' en 'Strong Europe') geprognosticeerd is. Alleen het energiescenario 'Green4sure' van de vak- en milieuorganisaties past in dat beeld. En daaruit blijkt dat aardgas dan een relatief belangrijke rol speelt.

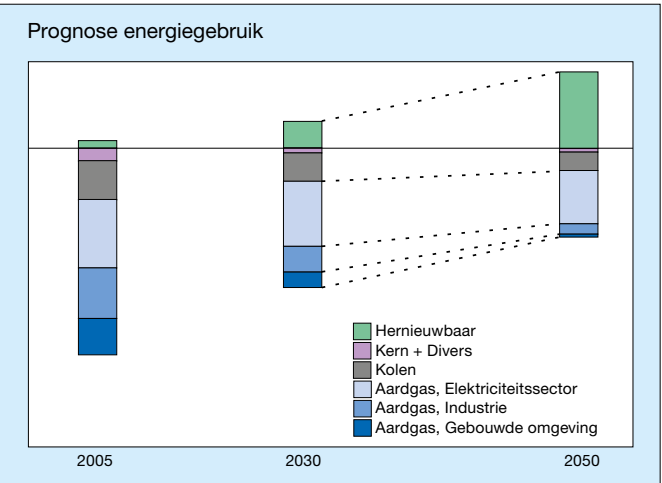
Door het stellen van strenge eisen aan de emissies van onze energiehuishouding ontstaat het nevenstaande beeld voor de komende veertig jaar. Dit beeld is realistisch en wijkt af van de overheidsscenario's. Er is een rol voor aardgas als transitiebrandstof, al zal deze rol ten opzichte van de afgelopen decennia wel gaan veranderen. De twee belangrijkste veranderingen vinden plaats in de gebouwde omgeving en bij de productie van elektriciteit (tabel 1).

Verandering t.o.v. 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 (2^e generatie biobrandstoffen)		Hernieuwbaar (wind en biomassa)
–		Beperkte rol aardgas	- Hernieuwbaar - Aardgas	
▼	Aardgas	Overig fossiel	Overig fossiel	
▼▼				Overig fossiel

Tabel 1 Toekomstige rol (2050) aardgas, hernieuwbaar en overig fossiel per sector (met CO₂-opslag)

In de gebouwde omgeving bestaan de grootste kansen voor het gebruik van hernieuwbare bronnen (zon, wind, groen gas) in combinatie met zuinige apparaten en zuinige gebouwen. Daardoor zal aardgas hier stapsgewijs in de komende veertig jaar verdwijnen, eerst in de nieuwbouw en als laatste in de bestaande bouw.

Bij de productie van elektriciteit zal aardgas een belangrijkere rol gaan innemen in STEG-centrales en WKK-installaties in de industrie. Dit gaat ten koste van het gebruik van kolen (figuur 1).



Figuur 1 Aardgas in de verschillende sectoren in 2005, 2030 en 2050

Aardgas zal een belangrijke rol vervullen bij het op elk moment kunnen voldoen aan de vraag naar energie, met name elektriciteit en vooral bij een groot aandeel hernieuwbare energie. Aard-

gas levert de flexibiliteit om hernieuwbare energie maximaal in te zetten. De Nederlandse gasvoorraad is nog ruimschoots voldoende om de overgang naar een schone energiehuishouding, met aardgas als transitiebrandstof, mogelijk te maken. Daarnaast zijn er nog grote voorraden gas in Rusland, het Midden-Oosten en Noord-Afrika.

De overheid zal een belangrijke rol moeten spelen om de transitie naar een duurzame energievoorziening te realiseren. Door de juiste prikkels (het belonen van zuinig gedrag en het beprijsen van vervuilende emissies) zullen gastoeepassingen vanzelf een belangrijkere plaats innemen in de elektriciteitsproductie en tegelijkertijd, door het belonen c.q. verplichten van hernieuwbare energiebronnen, in de gebouwde omgeving afnemen. Ook GasTerra zal in dit proces een rol moeten spelen, namelijk door zuinige technieken te helpen ontwikkelen, door nieuwe gassen (groen gas, syngas) te in- en verkopen en door bij de overheid te pleiten voor de juiste prikkels voor schonere energie. ■

Aardgas als transitiebrandstof

Samenvatting

We zijn op weg naar duurzame en CO₂-loze energiebronnen. Fossiele brandstoffen zullen deze overgang moeten faciliteren voor de komende generaties. Bij een nog groeiende vraag naar energie zal ook aardgas volop moeten worden ingezet. Bij voorkeur dan wel met een hoger rendement, in zuiniger vormen en met een gereduceerde CO₂-uitstoot. Hieraan wordt nu al intensief gewerkt. Slimme toepassingen van aardgas en apparatuur maken die voorkeur concreet. Voor combinaties met andere energiebronnen (zon, wind, biogas, waterstof) is aardgas ook uitermate geschikt. Nederland kan dus zijn eigen nationale bodemschat aardgas de komende decennia inzetten voor de transitie naar een duurzame energievoorziening.

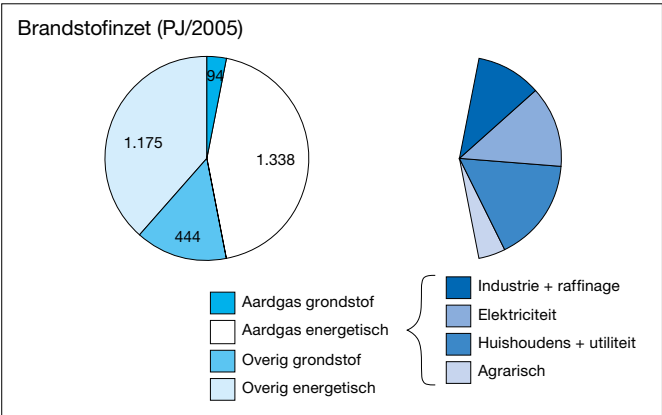
1. Vraagstelling

GasTerra vindt het noodzakelijk dat aardgas op een verstandige wijze gebruikt wordt. En dat er een afweging wordt gemaakt tussen kolen en aardgas, tussen extreem zuinig en hernieuwbaar, tussen centrales met en zonder CO₂-opslag, maar niet tussen hernieuwbaar en aardgas. Aardgas kan een nuttige rol spelen naast en als ondersteuning van hernieuwbare energie. Daarom heeft GasTerra aan CE Delft gevraagd de mogelijke rol van aardgas in de transitie naar een duurzame energievoorziening te schetsen. Enerzijds door aan te geven welke technische mogelijkheden er in de diverse sectoren zijn, anderzijds door uit te leggen welke rollen aardgas in het transitieproces kan spelen en welke factoren voor die rollen bepalend zijn.

2. De vondst van aardgas zorgt voor grote veranderingen

In de jaren zestig nam aardgas in Nederland op een ingrijpende manier de rol van kolen over. De vondst van aardgas bij Slochteren was daarbij leidend. Deze vondst heeft ervoor gezorgd dat Nederland relatief veel energie-intensieve industrieën en toepassingen kent (zoals aluminium, glastuinbouw en kunstmest) en dat alle woningen en andere gebouwen bijna geheel door aardgas worden verwarmd. In andere Europese landen speelt elektriciteit een grotere rol, mede omdat de rurale gebieden geen

gasinfrastructuur kennen. Een drastische verandering van onze energievoorziening zoals in de jaren zestig is ook nu, met de nieuwe maatschappelijke problemen zoals klimaatverandering, goed denkbaar. In dit boek is het terugdringen van het gebruik van fossiele brandstoffen in de periode tot het jaar 2050 met een factor 5 (een reductie van 80%) in absolute zin de leidende gedachte.



Figuur 2 Brandstofinzet in Nederland (3051 PJ in 2005, alle sectoren)

Op dit moment wordt er in Nederland ruim 3.000 Petajoule (PJ)¹ aan fossiele brandstoffen gebruikt, waarvan bijna de helft

uit aardgas bestaat (blz.11, figuur 2). Het is de vraag hoe dit de komende jaren zal zijn als we als samenleving in onze energievoorziening een transitie naar een fors lagere belasting van het milieu willen laten plaatsvinden.

3. Nieuwe vraagstukken vragen om een nieuw antwoord

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), de commissie van de VN die onderzoek doet naar de klimaatverandering, heeft gesteld dat er in het jaar 2050 een reductie van de CO₂-emissie met 80 à 90% in de westerse wereld nodig is om de klimaatverandering beperkt te houden. Daarnaast zijn er plafonds noodzakelijk voor lokale emissies van NO_x en fijn stof, die in belangrijke mate de lokale luchtkwaliteit bepalen. Deze milieufactoren vragen om een transitie van de energievoorziening.

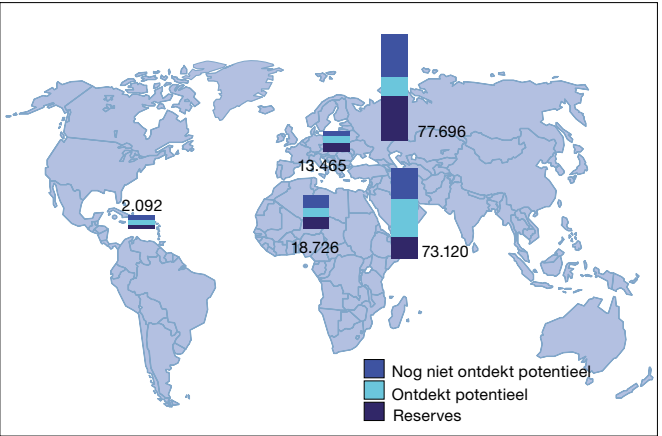
Europa heeft inmiddels duidelijk gekozen voor een groter aandeel hernieuwbare energie en voor een afnemende CO₂-emissie. Het is daarbij de vraag welke rol er voor aardgas is weggelegd. Specifiek voor Nederland als aardgasland komt hierbij een aantal strategieën aan de orde. In de overige Europese landen zullen andere afwegingen worden gemaakt, omdat de geografische factoren en de historische ontwikkelingen verschillend zijn. Bij een groeiende welvaart en de daarmee gepaard gaande stijgende behoefte aan energie, zal de vraag naar energiedragers in de Europese landen slechts met veel pijn en moeite stabiliseren. Door die toenemende welvaart ontstaat een nieuwe vraag (koelbehoefte, beveiliging/regelapparatuur in gebouwen, nieuwe dienstverlening, etc.) die door efficiëntieverbetering bij de gebruikers gecompenseerd zal moeten worden, bijvoorbeeld met isolatie, zuinige apparaten en installaties. De afname in de CO₂-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 gerealiseerd moeten worden door hernieuwbare energiebronnen, door CO₂-arme fossiele energie en door CO₂-opslag. Het aandeel hernieuwbare energiebronnen zal zo snel mogelijk vergroot moeten worden, maar de bijbehorende kosten zijn nog erg hoog en het is niet eenvoudig om een marginale bijdrage van een energiebron in heel korte tijd tot een substantiële bijdrage op te schalen.

In de komende veertig jaar zullen fossiele brandstoffen daarom nog een belangrijke rol spelen, zeker mondiaal in de sterk groei-

ende Aziatische en Zuid-Amerikaanse economieën. Ook in Europa echter, zullen fossiele brandstoffen hard nodig blijven om de energievraag te dekken. Omdat aardgas van alle fossiele brandstoffen de schoonste brandstof is en met zeer hoge rendementen en lage milieuemissies kan worden omgezet in nuttige toepassingen, zal het een belangrijke rol spelen bij de transitiefase van een fossiele energievoorziening naar een hernieuwbare energievoorziening. Ook CO₂-opslag zal een middel zijn om de uitstoot van CO₂ bij de industrie en/of de productie van elektriciteit te reduceren. Tot nu toe werd CO₂-opslag in de discussie vooral gekoppeld aan kolencentrales, maar ook bij aardgastoepassingen kan CO₂ afgevangen worden.

4. Is er voldoende aardgas?

Gebaseerd op bewezen voorraden en op de huidige vraag, zal de Nederlandse gasvoorraad de komende dertig jaar voldoende zijn voor de Nederlandse afzet. De ervaring leert dat er meer gas is dan tot nu toe is aangetoond. Dat betekent dat Nederland voor de transitie naar een duurzame energiehuishouding (vijftig jaar) nog voldoende gas heeft voor gebruik op het huidige niveau. Dit staat los van de wens om gas te importeren en te exporteren; het concept van de gasrotonde.



Figuur 3 Bewezen reserves, voorraden en vermoede voorraden aan aardgas in de wereld (mld m³/jr)²

Mondiaal gezien bestaat er naast de Nederlandse voorraad nog zeer veel aardgas in bewezen voorraden. Rusland heeft de grootste gasreserves ter wereld. Deze reserves zijn ruim 25 keer zo groot als

de voorraden in Nederland. Van de totale wereldreserves bevindt zelfs zo'n 50% zich in Rusland. De reeds ontdekte potentiële zijn voornamelijk geconcentreerd in Iran, Qatar en de West-Siberische gasvelden. Om toegang tot deze voorraden te krijgen, zullen er nog diverse politieke en technische problemen opgelost moeten worden. Op dit moment worden er in Nederland projecten gestart met LNG-aanvoer vanuit Algerije en het Midden-Oosten.

5. Moet aardgas snel opge maakt worden?

Vanuit het perspectief van de beschikbare voorraad is het de vraag of ons aardgas (snel) opge maakt zou moeten worden of dat het moet worden bewaard voor later. De belangrijkste overwegingen hierbij zijn de huidige prijs, de verwachte prijs in de toekomst en de waarde van de gasvoorraden voor toekomstige generaties (buiten de prijs om). Daarnaast spelen ook de beschikbaarheid en voorzieningszekerheid een rol. Opties zijn:

- 1 Aardgas te bewaren voor de nuttigste toepassingen later.
- 2 Het aardgasgebruik te spreiden en ook andere brandstoffen te gebruiken, waarbij zekerheid voorop staat.
- 3 Aardgas op te maken, d.w.z. het aan de hoogste bidder te verkopen of het te gebruiken voor de binnenlandse transitie (met daarbij in het achterhoofd de voorzieningszekerheid, het schoonste milieu en de nationale bedrijvigheid).

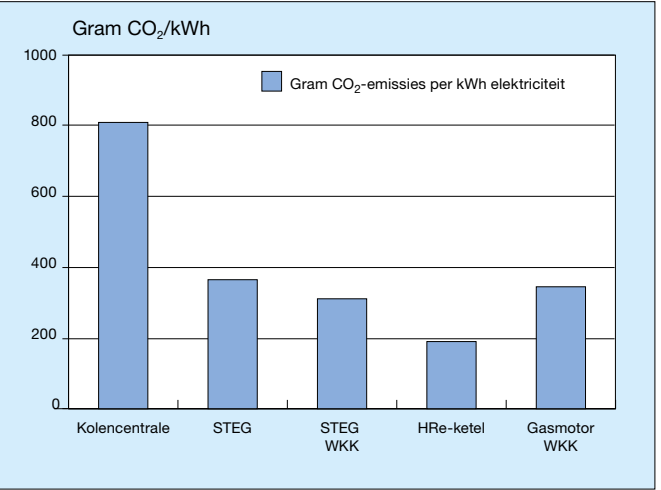
Door een drastische verlaging van de vraag naar energie in vergelijking met de genoemde referentiescenario's kan aardgas met een gelijke hoeveelheid (in miljarden m³) een relatief grotere rol spelen. Een groter aandeel hernieuwbare energie leidt tot diversificatie. Door beprijzing van CO₂ komt energie op een hoger prijsniveau en wordt de relatieve invloed van prijsschommelingen kleiner, waardoor de noodzaak om vanuit dat motief te diversificeren lager wordt. Bovendien zijn op de wereldmarkt alle brandstofprijzen aan elkaar gekoppeld. De aardgasprijs zal (op afstand) de kolenprijs altijd volgen; beide brandstoffen worden gebruikt voor de productie van elektriciteit. De CO₂-emissie van kolen-gestookte centrales is circa twee keer zo hoog als die van gas-gestookte centrales (CO₂-opslag zal de eerste tien jaar nog niet commercieel aantrekkelijk zijn). De conclusie die hieruit getrokken kan worden is dat we juist nu gas zouden moeten winnen ten koste van toekomstige winning. Aardgas wordt gezien als transitiebrandstof en dit beschouwen we als argument om deze brandstof als relatief belangrijke, fossiele energiebron te gebruik-

ken, niet om aardgas koste wat kost snel op te maken. Aardgas kan in de maatschappelijke wens om een transitie naar een schone energievoorziening te bereiken, een belangrijke rol spelen. Er is geen reden 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 uit aardgas warmte of elektriciteit produceren zeer efficiënt zijn, is het heel waarschijnlijk dat aardgas in een duurzame energievoorziening gebruikt zal worden. In figuur 4 is de CO₂-emissie voor de productie van elektriciteit met verschillende technieken weergegeven.



Figuur 4 CO₂-emissie van verschillende technieken voor elektriciteitsproductie

Als aardgas ergens een belangrijkere rol krijgt, dan zal dat bij de productie van elektriciteit zijn. Het is daarbij de vraag of dat decentrale of centrale productie wordt. En is dat dan in een STEG (stoom- en gasturbine) van 500 MWe of in een micro-WKK van 1 à 2 kWe? In figuur 4 is voor installaties - die zowel warmte als elektriciteit produceren - de elektriciteit verrekend met de beste techniek als referentie (HR-ketel respectievelijk STEG-centrale). Een micro-WKK in een HR-ketel (samen een HRe-ketel) levert het hoogste rendement uit fossiele energie. Zeker voor de overgangperiode is dit een prima

techniek voor 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 van 1 kW zijn uitgerust, produceren deze woningen 5.000 MWe aan 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 in bijvoorbeeld een boiler. Bovendien is dit vermogen geen zeker vermogen en dus kan slechts een deel ervan in micro-WKK-installaties worden opgewekt. Hierbij moet ook worden opgemerkt dat de met een HRe-ketel geproduceerde warmte op een gegeven moment moet concurreren met CO₂-arme en CO₂-loze warmte uit hernieuwbare bronnen en niet langer - zoals dat de komende decennia nog wel het geval is - met de HR-ketel.

Het grootste deel van de Nederlandse elektriciteitsproductie zal in de industrie plaatsvinden met STEG-eenheden van optimaal formaat (en daarmee optimale efficiëntie) om de vrijgekomen warmte direct nuttig te kunnen gebruiken. Als er sprake is van CO₂-opslag bij een kolen- of gascentrale, treedt er verlies op het totale rendement op. Voor de berekening van het aantal jaren waarvoor de opslagcapaciteit toereikend is, is onder andere uitgegaan van een afvangpercentage van 90%. Met andere woorden: 90% van de geëmitteerde CO₂ wordt ook daadwerkelijk opgeslagen. Daarnaast is voor de berekening ook de totale capaciteit van de geabondeerde gas- en olievelden meegenomen. Deze bedraagt ongeveer 1.600 Mton onshore en 1.600 Mton offshore. Bij elkaar is dit ongeveer zestien keer de huidige jaarlijkse CO₂-emissie in Nederland. Het is nog niet bekend hoeveel hiervan daadwerkelijk bruikbaar is.

7. Het gebruik van aardgas in de verschillende sectoren

Door verschillen in de relatieve prijs van energie, de kosten van CO₂-reductie en/of energievraagbeperking, concurrentieoverwegingen en de bereidheid om te betalen voor energie uit hernieuwbare bronnen, zijn de mogelijkheden van aardgas in elke sector verschillend.

Transport

In de transportsector vervult aardgas als energiebron en als energiedrager nauwelijks een rol - nu niet en in de komende decennia waarschijnlijk ook niet. De efficiëntiewinst van aardgasvoertuigen

is gering ten opzichte van (de mogelijkheden van) benzine, LPG en diesel. Op korte termijn zou aardgas een rol kunnen spelen omdat aardgas de luchtkwaliteit in steden snel helpt verbeteren, maar dit kan ook met de huidige dieselmotoren bereikt worden. Zou aardgas dan de voorbereider kunnen zijn voor groen gas of voor waterstofgas in de transportsector? Ook dit lijkt niet waarschijnlijk, want er zijn makkelijkere toepassingen om groen gas te gebruiken (namelijk in de gebouwde omgeving). De brandstofmix in de transportsector zal de komende decennia wel sterk gaan veranderen. Daarbij gooien de tweede-generatie biobrandstoffen en elektriciteit hoge ogen. Aardgas kan als energiebron dan een rol spelen bij de productie van die elektriciteit, mits deze met een zeer hoog rendement wordt geproduceerd. De voordelen van aardgas als transportbrandstof voor dit moment hebben vooral betrekking op de ecotax die in vergelijking met de hoge accijns op diesel en benzine zeer laag is.

Gebouwde omgeving

De gebouwde omgeving is een sector die aan het einde van de transitieperiode zonder economische schade geheel op hernieuwbare energie kan draaien. Er worden nu al mondjasmaat nieuwe gebouwen opgeleverd die per saldo geen fossiele energie meer gebruiken. Dit wordt de trend voor de komende decennia. Dat betekent dat aardgas een afnemende rol als energiedrager in de gebouwde omgeving krijgt. Eerst in de nieuwbouw, vervolgens in de herbouw en tot slot in de bestaande bouw. In deze deelsector zal het aardgasgebruik door een verhoging van de energie-efficiëntie (de HRe-ketel, de warmtepomp, zonnecombi, e.d.) dalen en op een gegeven moment groen gas worden. Gas zal voor grotere, bestaande woningen dus wel een rol als energiedrager blijven spelen, zij het een beperkte.

Industrie

Aardgas is als energiedrager uiterst geschikt om met zeer geringe verliezen grote hoeveelheden energie bij de industrie af te leveren, die daar efficiënt gebruikt worden. Geen stof, geen stank. Ondanks de efficiëntiesprongen die er in de industrie plaatsvinden, zullen er aan het einde van de transitieperiode nog steeds grote energiestromen voor stoom en kracht naar deze sector gaan. Dat zal gebeuren door middel van aardgas en elektriciteit. Bij de grootste industrieën, waar er geconcentreerd veel CO₂ vrijkomt, kunnen forse hoeveelheden CO₂ afvangen en opgeslagen worden (20 Mton per jaar uit industriële processen).

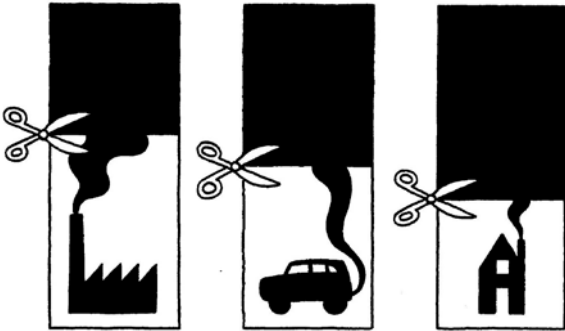
Elektriciteitsproductie

In de elektriciteitssector wordt op dit moment een kwart van de fossiele brandstofinzet in Nederland omgezet in elektriciteit. Hiervan bestaat ruim de helft uit aardgas. Het gemiddelde rendement ligt op 45% maar kan technisch veel hoger (60% voor een STEG) liggen. Door de gecombineerde opwekking van warmte en kracht kan er ook nog, mits er een zo hoog mogelijk totaalrendement wordt bereikt, een forse efficiëntieverbetering behaald worden. Dit geldt zowel voor gebruikers in de industrie, als voor de glastuinbouw en huishoudens. Door de strengere milieueisen zal het steeds moeilijker en kostbaarder worden om in stedelijke gebieden zoals die in dichtbevolkt Nederland voorkomen, nog kolencentrales te plaatsen. De beprijzing van CO₂-emissies leidt bovendien tot een grotere concurrentiekracht van WKK-installaties. Door efficiëntieverbetering wordt elektriciteit uit aardgas bij een CO₂-prijs van € 40 per ton al interessanter. Daar kan dan, indien haalbaar, CO₂-opslag mee worden gecombineerd (circa 40 Mton per jaar voor elektriciteitsproductie).

	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
• Hernieuwbaar	• Bodemwarmte • Zonnecombi's • Groen gas	• 2 ^e generatie biobrandstoffen	WKK • 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

Tabel 2 Toekomstige rol aardgas, hernieuwbaar en overig fossiel per sector (met CO₂-opslag)

Tabel 2 laat zien dat de huidige rol die aardgas speelt in de gebouwde omgeving, de industrie en de elektriciteitsproductie, verschuift naar een rol als energiedrager en bron voor de industrie waar ook alle elektriciteit uit fossiele brandstoffen wordt geproduceerd. De energievraag is in alle sectoren als constant verondersteld, ervan



uitgaande dat de efficiëntieverbetering de welvaartsgroei mogelijk maakt. Het beeld dat hiermee ontstaat, is dat aardgas een energiedrager c.q. energiebron wordt voor de industrie en de elektriciteitsproductiesector. Het voordeel van aardgas is dat het op plaatsen kan worden geleverd die voor andere energiebronnen bijna onhaalbaar zijn (stoken met kolen midden in de stad komt alleen in Amsterdam en Nijmegen voor en kan in de toekomst waarschijnlijk heel moeilijk herhaald worden). De regelbaarheid, die nodig is bij een groot aandeel hernieuwbare elektriciteit, is bij aardgas ook uiterst goed, zodat WKK-toepassingen bij zowel de industrie als bij de elektriciteitsproductiesector voor de hand liggen. Het is goed denkbaar dat elektriciteitsbedrijven verplicht worden hun productie-installaties bij industriële bedrijven te plaatsen om zo de meest optimale WKK-installaties te verkrijgen. Een andere mogelijkheid is het invoeren van een heffing op het lozen van warmte in het oppervlaktewater.

8. Elektriciteit uit kolen of uit aardgas?

De meest prangende keuze bij het gebruik van fossiele brandstoffen doet zich voor bij de elektriciteitsproductie. Ook al wordt de efficiëntieverbetering gemaximaliseerd, dan nog blijft er een vraag van ruim 100 TWh elektriciteit bestaan. Deze kan voor een groot deel met hernieuwbare energie gedekt worden, maar voor het andere grote deel zijn fossiel gestookte centrales nodig: kolen, kernenergie of aardgas. De vraag die bij de elektriciteitsvoorziening speelt, is of we als Nederlandse samenleving in durven te zetten op een schone elektriciteitsvoorziening met bekende technieken, gevolgd door beperkte aanpassingen door middel van het vervangen van aardgas door groene gassen en het eventueel afvangen van CO₂, of dat we kiezen voor een brandstofdiversificatie met kolen met de nog niet commercieel realiseerbare CO₂-afvangtechniek.

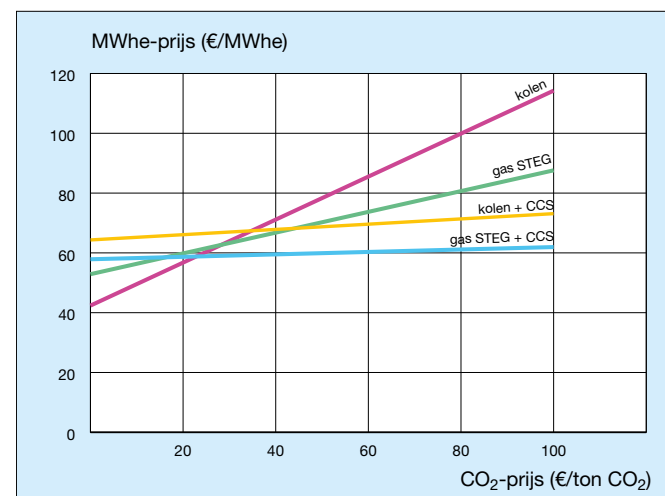


Belangrijke factoren hierbij zijn de prijs die de industrie voor elektriciteit betaalt, de voorzieningszekerheid, de leveringszekerheid, warmtelozingen en bedrijvigheid.

Prijs

Elektriciteit geproduceerd uit aardgas is weliswaar relatief schoon, maar volgens de industrie te duur. Daarom pleit de industrie

voor het gebruik van kolen en/of kernenergie. Hierbij wordt echter te weinig rekening gehouden met de prijs die de komende decennia voor CO₂ moet worden betaald.



Figuur 5 Kostprijs elektriciteit van verschillende technieken bij toenemende CO₂-prijzen

Uit figuur 5 blijkt dat bij een prijs van circa € 40 per ton CO₂ en een prijsscenario met hoge energieprijzen, elektriciteit uit aardgas goedkoper is dan elektriciteit uit kolen (met CO₂-opslag). Daarbij is nog geen rekening gehouden met de prijs voor NO_x en SO₂; deze is voor kolengestookte elektriciteit hoger dan voor aardgas.

Voorzieningszekerheid

In hoofdstuk 3 wordt uitvoerig gekeken naar de voorraden aardgas in de wereld. Als we uitgaan van een echte energietransitie, waarbij we over vijftig jaar nog maar een fractie aan fossiele

energiebronnen gebruiken in vergelijking met nu, kan aardgas deze overstap heel goed helpen maken zonder dat de voorzieningszekerheid in gevaar komt.

Leveringszekerheid

Het is zelfs zo dat de leveringszekerheid van aardgas toeneemt doordat deze brandstof een zeer goed regelbare elektriciteitsproductie oplevert. Nederland heeft geen grote waterkrachtreservoirs die pieken en dalen in de 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 die als gevolg van de klimaatverandering ontstaan, kan het in de toekomst vaker voorkomen (zoals dat in 2003 gebeurde) dat centrales door beperking van de warmtelozingen op halve kracht moeten produceren. Een gasgestookte centrale heeft per geproduceerd kilowattuur een 25% lagere warmtebelasting dan een kolengestookte centrale. Bij gebruik van industriële WKK-installaties is de warmtebelasting voor het oppervlaktewater nog lager.

Bedrijvigheid

Nederland heeft al ruim een halve eeuw ervaring met aardgas en zodoende met de productie van gasinstallaties, het transport en de geologie die aan gaswinning verbonden zijn. In de komende transitieperiode ligt er een mogelijkheid om deze ervaring te gebruiken voor de afvang en opslag van CO₂. CO₂-opslag wordt vaak gekoppeld aan het gebruik van kolen, maar aardgascentrales of grote industriële bedrijven (zoals een raffinaderij of kunstmestfabriek) kunnen ook op een CO₂-opslagsysteem aangesloten worden.

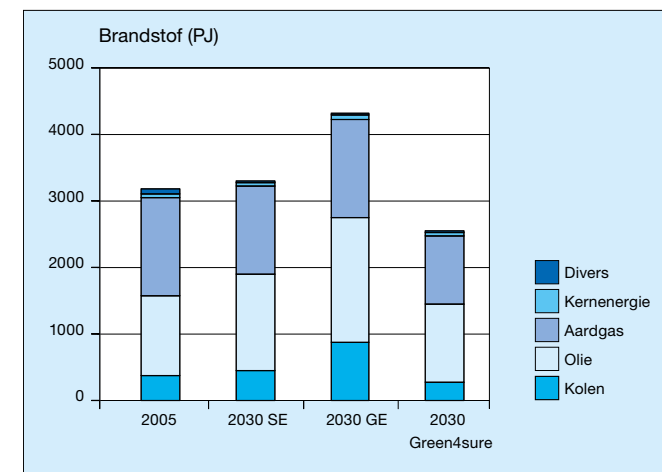
Nederland en Europa

Kan Nederland er zelfstandig voor kiezen om hoofdzakelijk aardgas te gebruiken? Nu de markt geliberaliseerd is en CO₂ via het EU-ETS (Emission Trading Scheme) een prijs heeft gekregen, doet deze vraag zich regelmatig voor. Het antwoord is: 'in beperkte mate', omdat nevenaspecten (zoals locatievergunningen voor nieuwe centrales), overheidsinstrumenten (bijvoorbeeld heffingen op warmtelozingen), de NO_x-prijs en de luchtkwaliteit medebepalend zijn voor de keuzes

van investeerders voor nieuwe elektriciteitscentrales. Nu al is te zien dat er weliswaar veel plannen zijn voor kolencentrales, maar dat er recent met name beslissingen zijn genomen voor aardgasgestookte centrales (InterGen, EnecoGen). Investeerders zien dat aardgascentrales, met de huidige brandstofprijzen en CO₂-plafonds, de kleinste risico's met zich meebrengen. De Nederlandse overheid zal geen expliciete keuze kunnen maken voor aardgas, maar wel een indirecte door lokale emissies (warmte, NO_x, fijn stof) een belangrijke rol te laten spelen bij locatiebeslissingen van elektriciteitsproducenten. Vanuit de overheid bezien is er geen reden om bij voorbaat voor aardgas te kiezen als brandstof voor de productie van elektriciteit, zeker niet als kolencentrales aan dezelfde eisen kunnen voldoen als aardgascentrales. De verwachting is echter dat aardgasgestookte centrales beter, en daardoor uiteindelijk goedkoper, aan de hoge milieueisen tegemoet kunnen komen.

9. Beleidscontext

In 2007 heeft CE Delft voor milieu- en vakorganisaties het groene energieplan 'Green4sure' opgesteld. Daarbij is het accent gelegd op het realiseren van een forse reductie van de CO₂-emissie. In dit boek wordt gebruik gemaakt van het gedachtegoed dat in Green4sure ontwikkeld is.



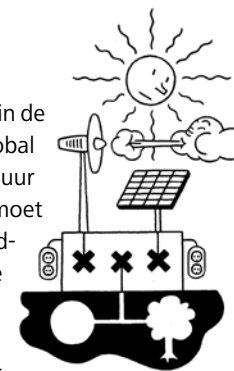
Figuur 6 Brandstofmix in verschillende energiescenario's

In Green4sure is aardgas de belangrijkste fossiele energiebron, die zeer efficiënt gebruikt wordt zonder dat het absolute volume ervan

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 (figuur 6). Hiertegen zijn nooit bezwaren geuit. Het moet daarom mogelijk zijn om ook met minder PJ aardgas, deze brandstof toch een belangrijke rol te laten spelen in onze energievoorziening van de komende decennia. In Green4sure is de strategie uitgewerkt van limitering - en daardoor beprijzing - van CO₂. Daarbij is er voor een differentiatie van plafonds gekozen in drie compartimenten van de economie: de industrie (inclusief E-sector en glastuinbouw), transport en de gebouwde omgeving. Er is een inschatting gemaakt van de technieken die door consumenten en bedrijven worden ingezet. Het resultaat is een afnemend belang van aardgas in de gebouwde omgeving (ten gunste van hernieuwbare energie), een gelijkblijvende rol van aardgas in de industrie en het verkeer, en een toenemende rol van aardgas in de elektriciteitssector.

10. Hoe kan aardgas de rol van transitiebrandstof spelen?

Een serieuze rol voor aardgas als transitiebrandstof kan door verschillende factoren tot stand gebracht worden. Allereerst door de vraag naar energie te beperken. Via efficiëntieverbetering, maar ook door middel van groei van de welvaart met een lagere energie-intensiteit. Daarnaast door maximaal in te zetten op het vergroten van het aandeel hernieuwbare energie, zowel voor wat betreft elektriciteit als warmte en motorbrandstoffen. Ook kan een serieuze rol voor aardgas bewerkstelligd worden door voor de resterende vraag naar fossiele energie vooral aardgas te gebruiken, omdat dit de schoonste fossiele brandstof is. Dit kan door de eigen voorraad aardgas in Nederland te gebruiken, aardgas te importeren uit andere landen (ten behoeve van de voorzieningszekerheid) en door alleen nog elektriciteit te produceren in WKK-installaties en/of een STEG met de hoogste rendementen (meer dan 60%) en zo nodig CO₂-opslag. Het voordeel van een maximaal gebruik van aardgas voor het fossiele deel van de energievoorziening is dat er zo een makkelijkere introductie ontstaat van hernieuwbare energiebronnen. Aardgas zorgt immers voor de leveringszekerheid op die momenten dat hernieuwbare bronnen niet snel een grotere vraag kunnen leveren of dat zij door bijvoorbeeld windstiltes in productie afnemen.





Overheidsinstrumenten

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

GasTerra kan ook een bijdrage leveren aan de transitie van de energievoorziening, namelijk door naast de huidige, betrouwbare levering van aardgas:

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

1. Transitie van de energievoorziening

De opgave om over te gaan naar een tijdperk van duurzaam energiegebruik stelt de wereld voor een langdurige en ingewikkelde inspanning. Zelden zag de mensheid zich zo collectief voor eenzelfde vraagstuk geplaatst. Maar per land verschilt de situatie voor wat betreft eigen bronnen en de behoefte aan en aanwending van energie. Elk land heeft bij wijze van spreken zijn eigen energiecultuur. Nederland is bijvoorbeeld in de bevoorrechte positie een eigen aardgasvoorraad te hebben, groter dan van welk land in de EU ook. Dit biedt ons land specifieke mogelijkheden in dat transitietijdperk.

1.1 Vooraf

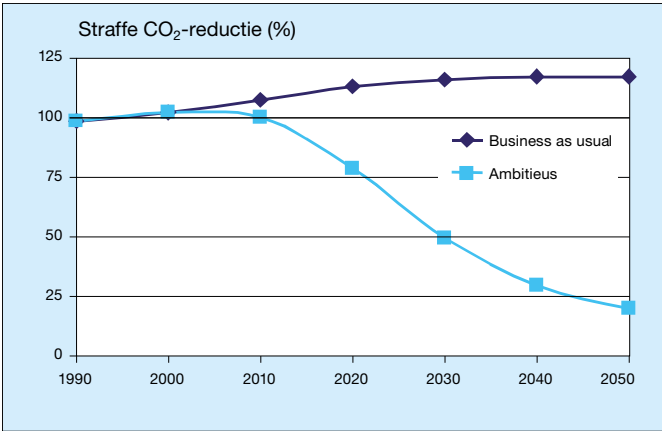
In de afgelopen tijd is er op diverse vlakken gewerkt aan een ingrijpende verandering in de Nederlandse energievoorziening. De efficiëntie is inmiddels sterk verbeterd, maar dit zal niet voldoende zijn om de milieudoelen waarmee de klimaatverandering beperkt kan worden, te realiseren. Aardgas speelt al sinds de jaren zestig een belangrijke rol in de Nederlandse energievoorziening. In zeer korte tijd veroverde deze brandstof de gehele markt voor de verwarming van gebouwen en voor een deel ook voor de industriële productie van stoom. Ook elektriciteit werd meer en meer geproduceerd op basis van aardgas. Vooral dankzij de forse efficiëntieverbetering door de STEG-techniek (stoom- en gasturbine) heeft aardgas nu een marktaandeel van 60% in de Nederlandse elektriciteitsproductie. Aardgas is de schoonste fossiele brandstof, zowel voor wat betreft NO₂ en SO₂-emissies als voor de uitstoot van CO₂.

Dit boek beschrijft hoe de Nederlandse energievoorziening geleidelijk aan verandert en de rol die aardgas daarin speelt. GasTerra wil natuurlijk winst uit deze fossiele energiebron genereren, maar dat ontslaat het bedrijf er niet van om na te denken over de beste toepassing van aardgas in de komende decennia. In dit boek wordt de vraag gesteld of aardgas zo lang mogelijk bewaard moet worden, of dat het zo snel mogelijk voor specifieke doelein-

den ten behoeve van verduurzaming moet worden gebruikt. De vraag die hier behandeld wordt, is welke rol aardgas in de transitie naar een duurzame energievoorziening kan spelen - een Europese energievoorziening die nog slechts 20% van de huidige hoeveelheid CO₂ emitteert (zichtjaar 2050). Wat is de relatie tussen aardgas en hernieuwbare energiebronnen, welke concurrentie treedt er op en is deze goed of juist belemmerend? Voor de verduidelijking van de route wordt regelmatig het groene energieplan Green4sure gebruikt dat CE Delft voor de Nederlandse milieu- en vakbeweging heeft opgesteld. Dit is een realistisch scenario met een duidelijke rol voor aardgas, zonder dat de gehele energievoorziening op aardgas wordt gebaseerd.

1.2 Duurzaamheid en voorzieningszekerheid

De doelstellingen van zowel de Nederlandse als de Europese overheid worden steeds duidelijker: een absolute reductie van de CO₂-emissie van 20 tot 30% in het jaar 2020. Dat is geen einddoel, maar een doel op weg naar een CO₂-reductie van 80 tot 90% in de westerse wereld in het jaar 2050, met een tussenstation van 50% in 2030. GasTerra is zich bewust van de noodzaak om de milieugevolgen van het gebruik van fossiele brandstoffen, waaronder aardgas, zo snel mogelijk te minimaliseren. GasTerra draagt daaraan bij door het stimuleren van zuinige gastoeepassingen en energiebesparing, samen met onder andere de stichting Slim met Gas.



Figuur 7 Ambitieuze CO₂-reductie van 80 - 90% in 2050

Daarnaast ziet het bedrijf de maatschappelijke vraag naar hernieuwbare energie, waaronder groen gas (gas uit biomassa), ontstaan en wil ook daar nadrukkelijk aan bijdragen. GasTerra verwacht echter niet dat de Nederlandse en Europese samenleving snel zonder fossiele energie kunnen. Hernieuwbare energiebronnen zijn duurder dan fossiele brandstoffen, kennen nog kinderziektes en zijn niet altijd voldoende zeker. In Nederland zijn we inmiddels gewend geraakt aan een 99,99% betrouwbare energievoorziening en deze eis zal ook aan een energievoorziening met veel meer hernieuwbare energie gesteld worden.

Aardgas is een belangrijke energiebron in de Nederlandse energievoorziening en zal ook voor de voorzieningszekerheid en voor het omschakelingsproces naar een schone voorziening van energie belangrijk blijven. ■

2. De historische rol van aardgas in Nederland en in de wereld

In 1948 vond de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) in enkele kleinere gasvelden in Drenthe aardgas. Coevorden werd toen (vanaf 1951) de enige gemeente in Nederland die aardgas stookte. Op 29 mei 1959 echter, werd in Kolham bij Slochteren een ongekend groot gasveld gevonden. De vondst van dit Groningse gas leidde tot het besluit heel Nederland op aardgas aan te sluiten. Op 22 juli 1959 werd het eerste gas gewonnen.

In 1959 boorde de NAM in de buurt van het Groningse plaatsje Slochteren naar gas. Het succes van deze proefboring maakte van Nederland een aardgasland. De NAM vond namelijk één van de grootste aardgasvelden ter wereld. Het Groningen-veld heeft een oppervlakte van ongeveer 900 km² en een totale, oorspronkelijk winbare gasvoorraad van naar schatting 2.700 miljard m³.

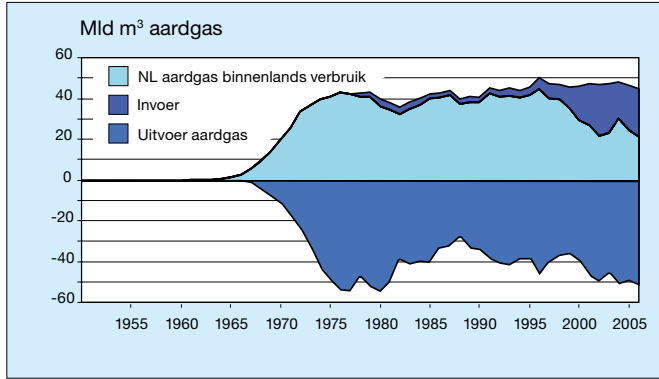
Waren in 1950 kolen nog de belangrijkste energieleveranciers, de vondst van aardgas bracht in de jaren zestig een grote ommekeer in de Nederlandse energiehuishouding teweeg. In de periode van 1965 tot 1975 nam het gebruik van aardgas in Nederland zeer sterk toe en werd gas de belangrijkste energiebron in de Nederlandse huishouding. In de daarop volgende decennia werd rond de 50% van de Nederlandse energievraag gedekt door aardgas.

In de jaren zeventig en tachtig werden de baten uit aardgas enorm belangrijk voor het budget van de overheid. De verkoop van gas leverde veel geld op en de Nederlandse overheid kreeg een groot deel van de verkoopopbrengsten.

Het aardgas in Slochteren heeft dan ook een grote bijdrage aan de welvaartsontwikkeling in Nederland geleverd. Vanaf de jaren

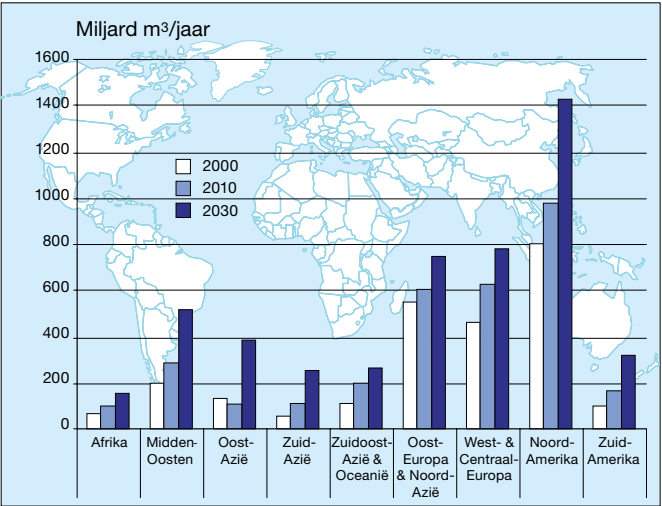
negentig werd het relatieve aandeel van aardgas langzaam kleiner, maar anno 2008 wordt nog altijd 44% van de energievraag in Nederland door aardgas gedekt.

Vrijwel direct vanaf de start van de grootschalige winning van aardgas was de productie groter dan de binnenlandse afzet en dus werd er aardgas geëxporteerd. Figuur 8 laat de ontwikkeling van de Nederlandse aardgaswinning zien. Het niveau van winning in 2007 was 72,4 miljard m³/jaar (CBS, 2008).



Figuur 8 Aardgaswinning verdeeld over binnenlandse afzet en uitvoer³. Bron: CE Delft en ECN (2007)

In 2006 bedroeg de aardgasconsumptie in Nederland ongeveer 45 miljard m³ per jaar (CBS, 2008). Figuur 8 laat zien dat in 2005 zo'n 20 miljard m³ per jaar van dit totale verbruik van Nederlandse bodem afkomstig was en dat de overige 25 miljard m³ werd ingevoerd. Naast deze invoer werd er ongeveer 50 miljard m³ Nederlands aardgas per jaar uitgevoerd. De totale aardgasconsumptie in de Europese Unie bedroeg in 2005 circa 500 miljard m³ per jaar. Daarmee vormde aardgas ongeveer 25% van de totale consumptie aan primaire energie in de EU.



Figuur 9 Verwachte ontwikkeling in aardgasconsumptie in de wereld in mld m³/jr. Bron: IGU (2006)

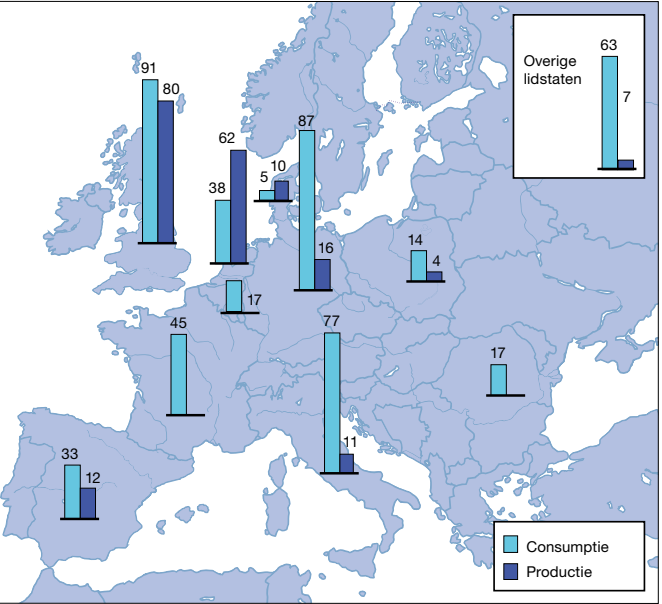
Volgens de IGU en EIA zal de Europese aardgasconsumptie, afhankelijk van de marktprijs, in de komende twee decennia gelijk blijven (500 miljard m³/jaar) of tot maximaal 800 miljard m³/jaar toenemen in 2030 (figuur 9). Een eventuele groei zal vooral in de elektriciteitssector plaatsvinden vanwege diverse voordelen die aardgas heeft ten opzichte van andere fossiele energiedragers (CE Delft en ECN, 2007). In hoofdstuk 7 wordt hier verder op ingegaan. De verwachting is dat ook de totale mondiale aardgasconsumptie de komende jaren zal toenemen. De relatieve stijging zal het hoogst zijn in Zuid- en Oost-Azië, wat met name veroorzaakt wordt door de sterke economische groei in deze gebieden.

De mondiale vraag naar aardgas stijgt, maar in 2030 of 2050 zal deze vraag uiteindelijk ook in belangrijke mate worden beïnvloed door het energiebeleid, bijvoorbeeld door de mate waarin het beleid inzet op energiebesparing, het gebruik van duurzame energie, CO₂-reductie en op CO₂-emissiehandel.

De vraag is nu hoe lang er nog genoeg voorraden zullen bestaan om aan de verwachte, stijgende vraag te kunnen blijven voldoen. In het volgende hoofdstuk wordt hier nader op ingegaan. ■

3. De beschikbaarheid van aardgas in Nederland, in Europa en in de wereld

In 2005 werd de consumptie van aardgas van ongeveer 500 miljard m³/jaar in de 25 landen van de Europese Unie nog voor circa 40% gedekt door de eigen gasproductie van de verschillende Europese landen. De overige 60% was afkomstig van invoer via pijpleidingen en LNG (Liquefied Natural Gas). De pijpleidingimporten van in totaal 259 miljard m³ kwamen met name uit Noorwegen en Rusland; de bijna 60 miljard m³/jaar LNG-import voornamelijk uit Nigeria en Algerije. De balans tussen de Europese aardgasconsumptie en de aardgasproductie is weergegeven in figuur 10.



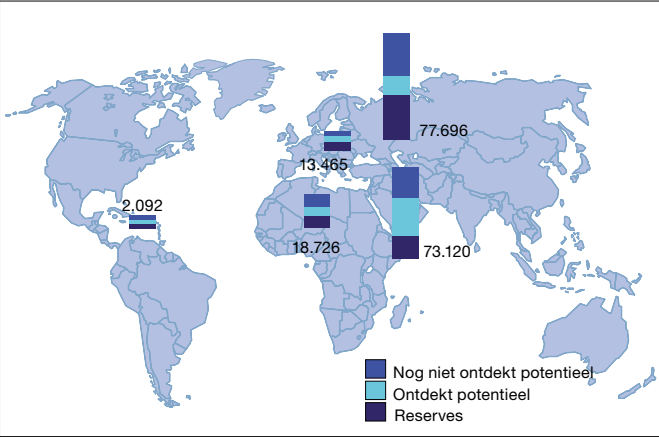
Figuur 10 De Europese aardgasconsumptie en -productie in 2005 (mld m³/jaar). Bron: CE Delft en ECN (2007)

Binnen de Europese Unie zijn Nederland en Denemarken de enige twee landen die meer gas winnen dan dat ze zelf consumeren.

Ook de voorraadsituatie ligt in Nederland duidelijk anders dan in de overige EU-landen: van alle landen in de Europese Unie heeft Nederland de grootste gasreserves.

De OGP (the International Association of Oil & Gas Producers) presenteerde in 2003 de mondiale voorraadcijfers voor onder andere aardgas. Deze voorraadcijfers moeten met de nodige slagen om de arm gehanteerd worden als het gaat om de omvang van de bewezen en de economisch winbare voorraden. Zoals aangegeven heeft Nederland de hoogste gasreserves binnen de Europese Unie. Rusland heeft de grootste gasvoorraden ter wereld. Deze reserves zijn ruim 25 keer zo groot als de Nederlandse voorraden. Gekeken naar de totale mondiale reserves bevindt zelfs bijna 50% van deze voorraden zich in Rusland.

De reeds ontdekte potentiële zijn voornamelijk geconcentreerd in Iran, Qatar en de West-Siberische gasvelden. Deskundigen twijfelen echter aan de mate van beschikbaarheid van een belangrijk deel van deze voorraden. De mondiale, bewezen reserves, de voorraden en de vermoede voorraden zijn weergegeven op blz. 24, in figuur 11. Op dit moment is de Europese Unie door middel van gaspijpleidingen alleen verbonden met Rusland, Algerije en Libië. Leveranties vanuit het Midden-Oosten zijn nog niet mogelijk omdat deze landen nog niet op het pijpleidingnetwerk aangesloten zijn.



Figuur 11 Bewezen reserves, voorraden en vermoede voorraden aan aardgas in de wereld (mld m³/jr).⁴ Bron: OGP (2003)

In Europa bevinden de grootste reserves, het grootste ontdekte potentieel en het grootste nog niet ontdekte potentieel zich in Noorwegen. Tabel 3 toont de Europese bewezen reserves, voorraden en vermoede voorraden.

Gebied	Bewezen reserves	Ontdekt en nog niet ontdekt potentieel	Totaal
Noorwegen	2.890	4.000	6.890
Nederland	1.350	600	1.950
Duistland	160	400	560
Groot-Brittannië	480	1.500	1.980
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	1.030

Tabel 3 Bewezen reserves, voorraden en vermoede voorraden aan aardgas in Europa (mld m³).⁴ Bron: OGP (2003) en BP (2007)

Om een gevoel te krijgen voor de termijnen waarop aardgas nog beschikbaar is, moeten de voorraden worden gedeeld door het huidige verbruik. In tabel 4 zijn enkele van deze ratio's uitgerekend. De ordegroottes van deze cijfers zijn van belang voor

de discussie over transitiepaden en voor het inschatten van voorzieningszekerheidsrisico's.

Gebied	Verbruik (mld m³/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

Tabel 4 Ratio's van voorraden en verbruik verbruiksniveau 2005. Bron: OGP (2003) en BP (2007)

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

In het volgende hoofdstuk wordt verder ingegaan op de wijze waarop aardgas voornamelijk in de Nederlandse samenleving wordt ingezet en de rendementen die daarbij worden behaald. ■

4. De omschakeling naar een duurzame energievoorziening

De CO₂-reductiedoelstellingen zijn ambitieus. Die ambitie geeft uitdrukking aan de gevoelde noodzakelijkheid tot reductie. Er moet een omvangrijke en complexe omslag worden bewerkstelligd. Tegelijkertijd dienen de bestaande leveringszekerheid en -kwaliteit van de energievoorziening te worden gehandhaafd, want hoe zeer de doelmatige inzet van energiebronnen ook onderdeel is van het totale plan van aanpak om het energiegebruik te minderen, de vraag naar energie en ook naar aardgas door een groeiende wereldbevolking en door welvaartsontwikkeling indiceert een toename ten opzichte van de huidige volumina.

4.1 Doelstellingen

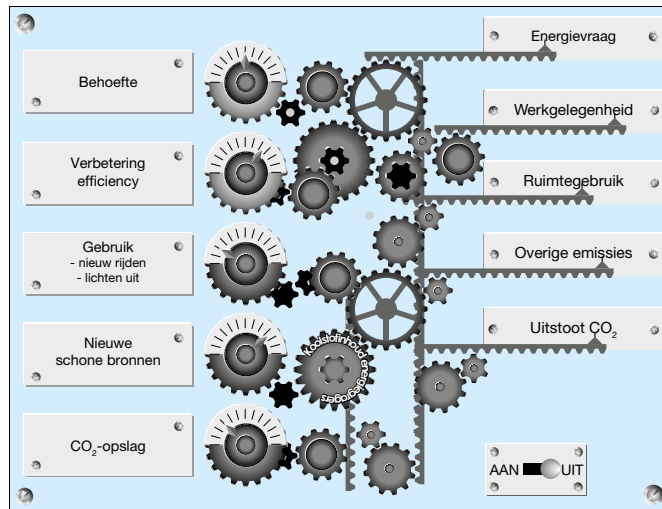
Als Europa in 2050 uit wil komen op nog slechts 20% van de huidige CO₂-emissie ten opzichte van 2005, zal er een ingrijpende verandering in ons energiegebruik nodig zijn - van vraag tot en met energiebronnen. Een verdubbeling van de efficiëntie van ons energiegebruik in een periode van veertig jaar is weliswaar goed mogelijk, maar tegelijkertijd stijgt onze welvaart naar verwachting ook en zal de energiewinst grotendeels uitgegeven worden aan nieuwe toepassingen. Zo was er de afgelopen jaren een forse toename te zien van de mobiliteits- en de elektriciteitsvraag, bijvoorbeeld naar computers, breedbeeldtelevisies en verlichting. Deze trend zal zich ook de komende decennia voortzetten. De vraag naar energiedragers van huishoudens, automobilisten en bedrijven zal per saldo dus wel iets afnemen, maar niet heel veel. Daarom zal een groot deel van de geplande CO₂-reductie moeten komen van hernieuwbare energiebronnen en van een schone verbranding van fossiele energie. In Green4sure is een forse toename te zien van windenergie (op land en op zee) en van biomassa (zowel het gebruik van restproducten als de 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', een driestappenplan bedoeld voor

bedrijven, huishoudens en overheden om stap voor stap klimaat-neutraal te worden. De eerste stap vanuit de gedachte van deze trias energetica is de beperking van de energievraag. De tweede stap wordt gevormd door het gebruik van duurzame energiebronnen (zoals bodemwarmte, zonne-energie, wind en biomassa) en de derde stap is een efficiënt gebruik van eindige energiebronnen.

In het licht van de trias energetica zal de vraag naar aardgas gereduceerd worden, zal onder andere groen gas in toenemende mate worden ingezet en zal het gebruik van aardgas op een zo schoon en efficiënt mogelijke wijze plaatsvinden. Bij de trias energetica wordt echter geen rekening gehouden met de kosten die de te nemen maatregelen met zich meebrengen, noch met de zogenaamde weerstandskosten (de kosten die consumenten ervaren bij het realiseren van energiebesparend gedrag en die veroorzaakt worden door onder andere gebrek aan kennis, niet zijnde de technische kosten van het realiseren van dat gedrag (CE Delft, 2006)). Bovendien doet de trias energetica vermoeden dat eerst stap één genomen moet worden, gevolgd door stap twee en als laatste stap drie. In de praktijk zal er juist altijd sprake zijn van een integrale aanpak. In figuur 12 is deze integrale aanpak weergegeven; het verlagen van de CO₂-emissie is een complex proces en afhankelijk van verschillende factoren.



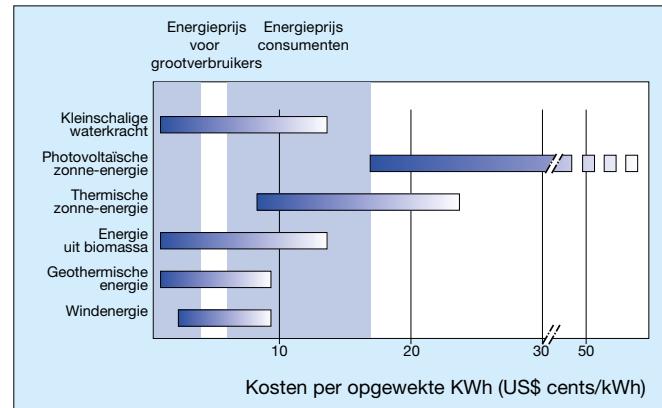
Figuur 12 Overzicht factoren CO₂-emissie. Bron: CE Delft (2007a)

Eén van de stappen in de trias energetica is het verbeteren van de efficiëntie. Daar is de meeste aandacht van de overheid en van marktpartijen op gericht. Het gaat hierbij om zuinige ketels, isolatie en zuinige auto's, maar ook om WKK-installaties. In de volgende hoofdstukken wordt per sector aangegeven welke ontwikkelingen er op dit gebied zijn.

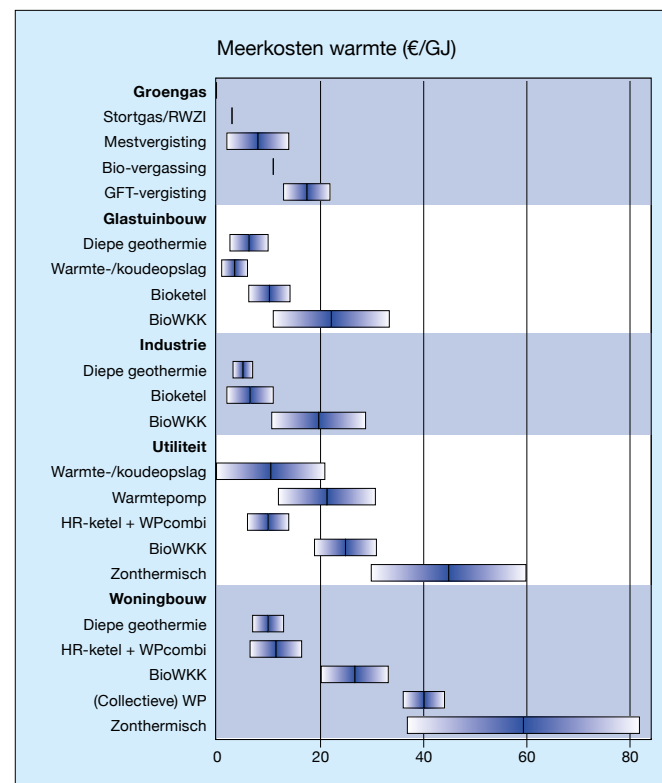
4.3 De potenties van hernieuwbare energiebronnen

Een andere stap uit de trias energetica is het inzetten van duurzame energiebronnen. Hernieuwbare energiebronnen zijn er van groot tot klein. In de volgende twee figuren wordt een overzicht gegeven van de potenties en kosten van de belangrijkste hernieuwbare energiebronnen die voor de productie van elektriciteit en warmte kunnen worden gebruikt.

Figuur 13 geeft een overzicht van de verschillende technieken voor het produceren van duurzame warmte. Eén van die technieken is biomassa. Kanttekening daarbij is dat biomassa niet onbeperkt beschikbaar is en dat er veel partijen zijn die graag van biomassa gebruikmaken 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 tot verlies van natuur en biodiversiteit.



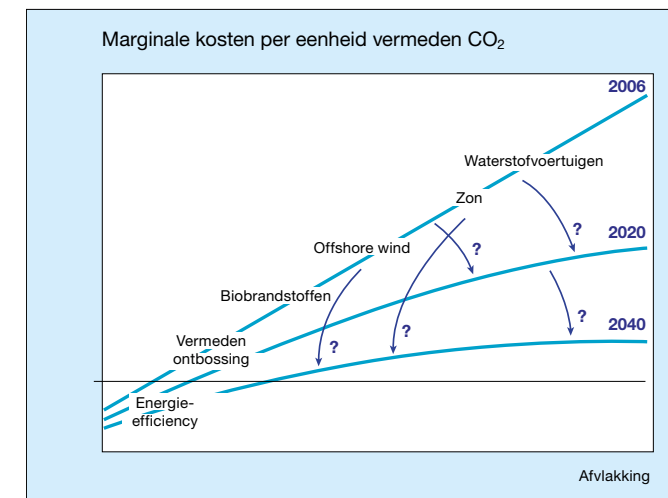
Figuur 13 Kosteneffectiviteit hernieuwbare energie



Figuur 14 Meerkosten t.o.v. het gangbare alternatief voor de eindgebruiker per GJ finale warmte⁶ in 2020. Bron: Ecofys (2007)

In figuur 14 zijn de kosten opgenomen als meerkosten ten opzichte van conventionele elektriciteit (op basis van een moderne STEG, met een rendement van 60% en een olieprijs van US\$ 50 per vat).

Het is belangrijk om te beseffen dat de kosten van hernieuwbare energie nu nog hoog zijn, omdat het hierbij om technieken gaat waar nog slechts beperkte ervaringen mee zijn opgedaan. Zodra er opschaling van deze technieken plaatsvindt, zullen de kosten afnemen (figuur 15).



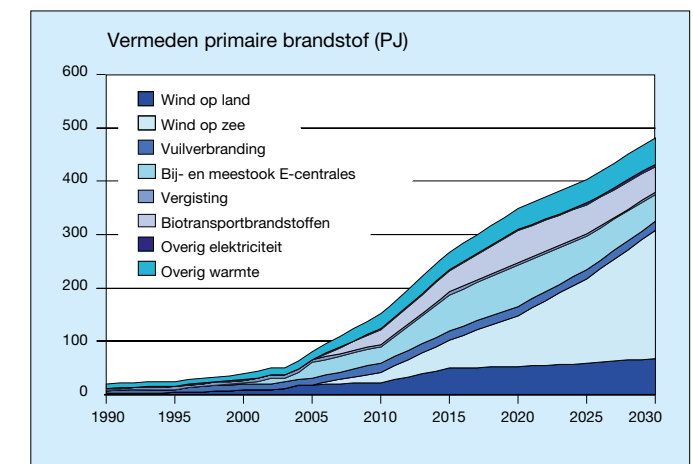
Figuur 15 Kostprijsverlaging nieuwe technieken

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 aan energiebronnen. Deze hernieuwbare energiebronnen worden vooral gevormd door wind op zee, wind op land en biomassa. Tot 2030 zal zonne-energie nog geen grote rol spelen, maar daarna zou deze rol gestaag kunnen groeien.

Bij de inzet van hernieuwbare energiebronnen is het van groot belang dat er niet getornd wordt aan de leveringszekerheid. Bij

het gebruik van (laagwaardige) warmte in de gebouwde omgeving doet dat probleem zich nauwelijks voor, omdat de energiebronnen die in de lagere vraag naar warmte/koude voorzien, meestal gecombineerd zullen worden met lokale opslagsystemen. Voor hoogwaardige warmte (bijvoorbeeld stoom voor de industrie) zal voorlopig vooral gebruik gemaakt blijven worden van aardgas en incidenteel van biomassa. Hier doen zich ook geen leveringszekerheidsproblemen voor.



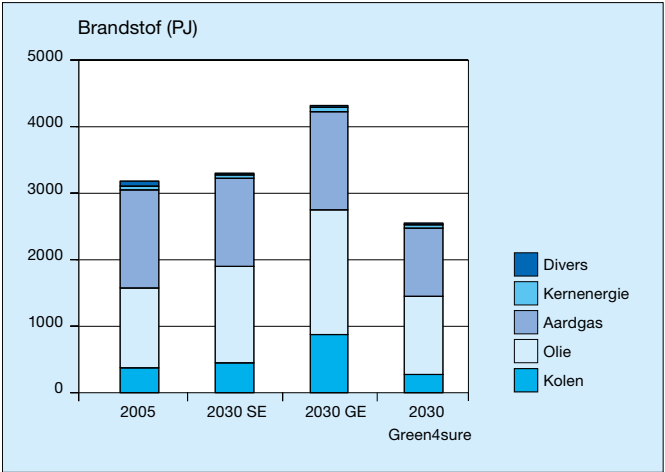
Figuur 16 Hernieuwbare energie vermeden primaire energie (PJ/ jaar). Bron: CE Delft (2007)

Met name bij de elektriciteitsvoorziening is de leveringszekerheid een belangrijk onderwerp. Nederland heeft op dit moment één van de meest zekere systemen ter wereld en de waardering daarvoor is bij de klanten erg groot. Dus ook bij een toenemend gebruik van hernieuwbare energiebronnen zal deze kwaliteit gehandhaafd moeten worden. Enerzijds kan dat door verschillende hernieuwbare bronnen te gebruiken waarbij de fluctuaties elkaar uitdempen (de spreiding van windparken en het gebruik van biomassa naast wind), anderzijds kan aardgas daar een belangrijke rol in (blijven) spelen. Elektriciteitsproducerende installaties kenmerken zich door een grote regelbaarheid: gasgestookte (WKK-)centrales kunnen binnen zeer korte tijd hun productie sterk verhogen. Andere energiebronnen (zoals kolen en kernenergie) kenmerken zich juist door een trage regelbaarheid. Daarom wordt verwacht dat aardgas een toenemende rol in de elektriciteitsproductie zal

gaan spelen. Hierbij zal de efficiëntie dan verder omhoog moeten en dit kan bewerkstelligd worden door het gebruik van de nieuwste technieken (STEG) en door een combinatie met hoog efficiënte warmteproductie (micro-WKK en industriële WKK).

4.5 Aardgas in Green4sure

Green4sure gaat ervan uit dat de vraag naar energiedragers sterk kan afnemen 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. In de bestaande woningen en gebouwen echter, blijft aardgas nog een belangrijke energiedrager die met nieuwe technieken, zoals de HRe-ketel, in de energievraag voorziet. In figuur 17 is een vergelijking gemaakt tussen de inzet van de verschillende energiebronnen in 2005 en de inzet in drie energiescenario's voor het jaar 2030. Green4sure is het enige scenario dat qua CO₂-doelen overeenkomt met de doelen van het huidige kabinet (een reductie van 30% in 2020).



Figuur 17 Brandstofinzet (PJ/jaar)

De totale inzet van aardgas in Green4sure ten opzichte van 2005 leidt tot een afname met 30% (tabel 5).

	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%

Tabel 5 Procentuele wijziging per brandstof in de verschillende scenario's in 2030 t.o.v. 2005. Bron: SE, Strong Economy en GE, Global Europe

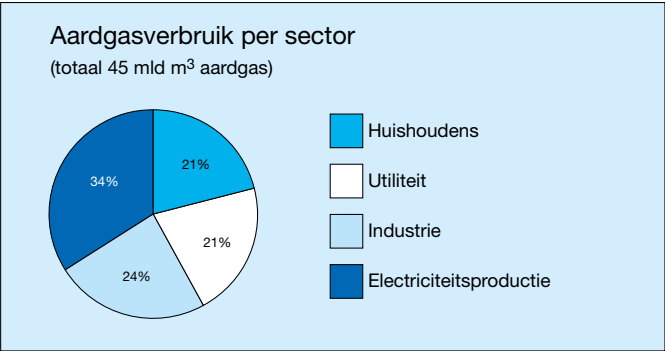
Het aandeel van aardgas is in alledrie de scenario's ongeveer even groot, maar in Green4sure is er een absolute afname te zien van de hoeveelheid fossiele energie die gebruikt wordt. De energievraag is lager en het aandeel hernieuwbare energie is veel groter dan in de andere scenario's (tabel 6).

	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%

Tabel 6 Aandeel brandstof t.o.v. de totale brandstofinzet in de verschillende scenario's in 2005 en 2030

4.6 Het aardgasverbruik per sector

De ontwikkeling naar een duurzame energievoorziening zal niet in alle sectoren op dezelfde wijze plaatsvinden. Het gebruik van aardgas, de inzet van duurzame bronnen en de beschikbaarheid van efficiëntere technieken verschillen per sector. Figuur 18 geeft weer hoe het gebruik van aardgas in 2006 over de diverse sectoren verdeeld was.



Figuur 18 Verdeling verbruiksaldo per sector in 2006. Bron: CE Delft en ECN (2007)

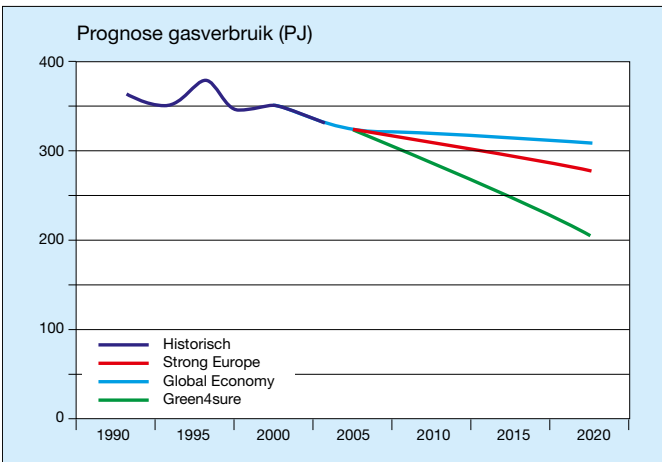
In de hoofdstukken 5, 6 en 7 wordt verder ingegaan op het gebruik van aardgas, de inzet van duurzame bronnen en de beschikbare technieken per sector bij de overgang naar een duurzame energievoorziening. ■

5. Aardgas in de gebouwde omgeving

Op dit moment (2008) heeft aardgas in de gebouwde omgeving een belangrijke positie; vrijwel alle bestaande gebouwen hebben een aansluiting op het gasnet. Aardgas wordt in deze sector vooral ingezet voor ruimteverwarming. In de gebouwde omgeving kan onderscheid gemaakt worden tussen woningbouw en utiliteitsbouw. De woningbouw valt daarnaast uiteen in nieuwbouw en bestaande bouw. In de paragrafen 5.1 tot en met 5.3 wordt ingegaan op de rol van aardgas in de woningbouw. In paragraaf 5.4 wordt gekeken naar karakteristieken van de utiliteitsbouw en de rol van aardgas daarin.

5.1 De ontwikkeling van het aardgasverbruik in de woningbouw

In de gebouwde omgeving zijn reeds enkele trendmatige effecten waar te nemen die leiden tot een geleidelijke netto-afname van het gasverbruik. Zo daalt door een toenemende isolatiegraad en een stijgende inzet van efficiëntere technieken de gasafzet per gebouw.



Figuur 19 Aardgasverbruik in de woningbouw. Bron: Dril en Elzenga (2005) en CE Delft (2007)

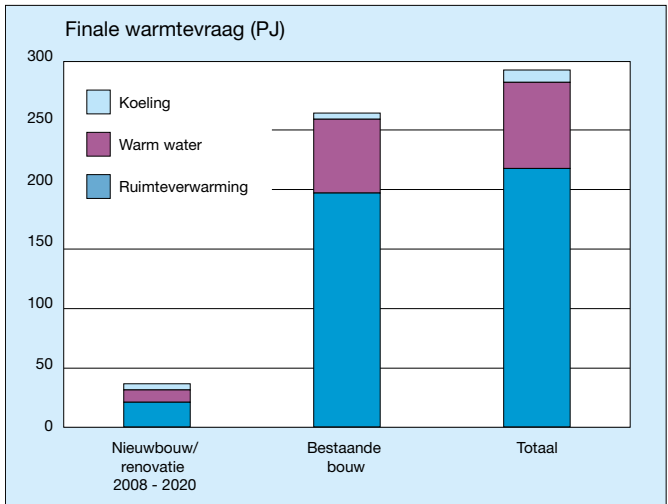
Toenames van het gasverbruik worden veroorzaakt door volume-groei en door veranderend stookgedrag (d.w.z. meer verwarmde ruimtes en een hogere stooktemperatuur). De trendmatige afname is weergegeven in figuur 19, waarin de verschillende scenario's (Strong Europe, Global Economy en Green4Sure) zijn afgebeeld. In alledrie de scenario's is een afname van het aardgasverbruik te zien, maar deze is het sterkst in het scenario Green4Sure. Door de opwarming van het klimaat⁷ zal de gasafzet per gebouw ook afnemen.

Als er op basis van de huidige zichtbare trends geëxtrapoleerd wordt, zal blijken dat aardgas, ondanks de trendmatige afname van het gebruik, de dominante factor blijft voor het energieverbruik voor verwarming in de gebouwde omgeving, al wordt er geleidelijk aan wel een steeds hogere efficiëntie bereikt en daalt de gasvraag per gebouw (CE Delft en ECN, 2007). Hierbij moet een duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen bestaande bouw en nieuwbouw. Dit onderscheid wordt in de volgende paragraaf verder uitgewerkt.

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

Figuur 20 geeft de totale warmte- en koudevraag weer volgens het Global Economy-scenario voor de bestaande bouw en de nieuwbouw in 2020. In de figuur is te zien dat ongeveer 90% van de warmtevraag voor rekening van de bestaande bouw komt

en dat de nieuwbouw en renovatie goed zijn voor de resterende 10%. In het Green4sure-scenario wordt de totale, uiteindelijke warmtevraag sterk gereduceerd in vergelijking met het Global Economy-scenario.



Figuur 20 Warmte- en koudevraag in 2020 in nieuwbouw en bestaande bouw (Global Economy). Bron: Ecofys (2007)

Er zijn twee technieken waarmee een hogere efficiëntie van het gebruik van aardgas bereikt kan worden, namelijk de HRe-ketel en de gaswarmtepomp. Andere technieken leiden tot een afname van het gebruik van aardgas en maken daarvoor gebruik van zonthermische energie, de combiwarmtepomp, warmte-/koudeopslag, collectieve bio-WKK en diepe geothermie. Niet al deze technieken hebben op dezelfde termijn evenveel mogelijkheden voor nieuwbouwwoningen en bestaande woningen (tabel 7).

Om een 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 op beperkte schaal al voor andere systeemconcepten gekozen, zoals de all-electric woningen met een elektrische warmtepomp. Bovendien stijgt het aantal woningen dat aangesloten is op een warmtenet. Daarbij worden woningen verwarmd met restwarmte die bijvoorbeeld van een elektriciteits-

centrale afkomstig is. Vroeger werd in deze gebieden samen met warmtelevering soms ook een kookgasaansluiting geleverd. Bij de huidige warmteleveringsprojecten in de nieuwbouw wordt er veelal geen gasdistributienet meer aangelegd. Het kan bij warmteprojecten om grote locaties gaan, maar de omvang ten opzichte van de totale Nederlandse bouwvoorraad is klein (een paar procent).

	Nieuwbouw / renovatie			Bestaande bouw		
	Verwarming	Tapwater	Koeling	Verwarming	Tapwater	Koeling
Technieken die geen gebruik maken van aardgas						
Zonthermisch	x	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	

Tabel 7 Duurzame en efficiënte warmte- en koudeopties voor de nieuwbouw en bestaande bouw. Bron: Ecofys (2007)

Hoewel er in de bovenstaande tekst gepleit wordt voor het gebruik van all-electric systemen in de woningbouw, blijkt uit tabel 7 dat deze all-electric technieken nog niet of slechts in beperkte mate geschikt zijn voor de bestaande bouw. Dit heeft te maken met ruimtegebruik (bijvoorbeeld in het geval van een zonneboiler) of met het ontbreken van een lage temperatuursverwarming die noodzakelijk is voor de combinatie met een elektrische combiwarmtepomp. In de bestaande bouw is sprake van een zogeheten systeemweerstand: het is complex en kostbaar om het huidige aardgasvoorzieningssysteem te vervangen door all-electric. Aardgas zal daarom dus voorlopig nog een dominante rol blijven spelen in de voorziening van de warmtevraag. In 2004 werd 90% van de woningen in Nederland met CV's of gaskachels verwarmd, 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 de bestaande bouw.

5.3 Duurzame en efficiënte warmteopties voor de bestaande bouw

De komende jaren zal er in de bestaande bouw nog steeds sprake zijn van systeemweerstand. Daarnaast is het niet eenvoudig om over te gaan op all-electric. Toch zal er wel steeds meer gebruik-gemaakt kunnen worden van technieken die een hoge efficiëntie en betere milieuprestaties hebben, om in de warmtevraag te voorzien. Hierbij kan gedacht worden aan 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

Dankzij de rendementsverbetering die de afgelopen jaren doorgevoerd is, zijn CV-systemen sterk verbeterd. In 1978 startte Gasunie Research te Groningen met de ontwikkeling van de HR-ketel (dit proces is voortgezet door GasTerra). Dankzij het ontwikkelingswerk in Groningen konden in 1981 de eerste Nederlandse ketelfabrikanten dit toestel op de markt brengen. De HR-ketel zorgde voor een forse energiebesparing, want destijds was een ketel met een rendement van 75% normaal. Er worden nu dan ook jaarlijks honderdduizenden HR-ketels in Nederland geplaatst. Het toestel is steeds verder geperfectioneerd en er zijn inmiddels zelfs modellen die een rendement van 109% hebben.

Kijkend naar rendement zijn er op dit moment nog drie andere keteltypen. Daarnaast is er een aantal alternatieve verwarmingsbronnen, waaronder de gaskachel. De rendementen van de keteltypen en de alternatieve opties zijn weergegeven in tabel 8.

Een HR-ketel wordt financieel een interessante optie als er jaarlijks meer dan 1.500 m³ gas wordt verbruikt. Bij dit verbruik worden de aanschaf van de duurdere ketel, de duurdere installatie en de hogere onderhoudskosten gecompenseerd door de energiebesparing (Milieucentraal, 2007). Er is uitgegaan van een aanschafprijs zonder installatiekosten, een gasprijs van € 0,56 per m³ en een gelijkblijvende gasprijs gedurende vijftien jaar. Potentiële opvolgers van de HR-ketel zullen ook weer een belangrijke milieuwinst moeten leveren. Zij combineren het opwekken van elektriciteit en warmte in eigen huis. De ketel is dan een soort thuiscentrale, de zogenaamde HRe-ketel.

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 %

Tabel 8 CV-ketels met verschillend rendement. Bron: Milieucentraal (2007)

	Aanschaf-prijs	Besparing (m ³ /jaar)	Besparing (€)	TVT t.o.v. gewone CV	Winst na 15 jaar
Conventionele ketel	€ 1.265	--	--	--	--
VR-ketel	€ 1.393	120	€ 67	1,9 jaar	€ 880
HR107-ketel	€ 1.668	337	€ 189	2,1 jaar	€ 2.428

Tabel 9 Investeringskosten en terugverdientijden (TVT) van verschillende CV-ketels. Bron: Milieucentraal (2007)

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. Doordat er minder elektriciteit van het elektriciteitsbedrijf hoeft te worden gekocht, wordt energie bespaard. Grote elektriciteitscentrales kunnen minder efficiënt hun warmte kwijt, waardoor er veel warmte verloren gaat. Zij hebben dus 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 met de ontwikkeling bezig. Er worden op dit moment verschillende technieken bij de HRe-ketel toegepast, namelijk de Stirlingmotor, de ORC (Organic Rankine Cycle) en de brandstofcel. Deze technieken bevinden zich ieder in een andere fase van ontwikkeling. De toepassing van de Stirlingmotor is het verst gevorderd en voor de korte termijn het meest hoopgevend; met deze techniek worden reeds de eerste veldtesten uitgevoerd. De verwachting is echter dat er ook met de andere technieken op korte termijn veldtesten plaats zullen vinden.

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 en produceert dan naast warmte ook elektriciteit.

De warmte die bij de gasverbranding vrijkomt, wordt gebruikt voor de aandrijving van de Stirlingmotor. Deze motor maakt eenvoudig gezegd gebruik van het uitzetten van gas bij verhitting en van het krimpen van gas bij afkoeling, en levert daarmee 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 HRe-ketel wordt op dit moment volop getest door zowel Nederlandse als buitenlandse ketelfabrikanten in samenwerking met de grotere energiebedrijven en GasTerra.

De HRe-ketel is minder geschikt voor woningen met een lage warmtevraag. Vooral woningen die na 2000 gebouwd zijn, hebben een te lage warmtevraag om tot een rendabele toepassing van een HRe-ketel te komen (bij een meerprijs van € 1.500 ten opzichte van de HR-ketel). Bovendien is micro-WKK alleen geschikt voor een woning die niet op een collectief warmtesysteem aangesloten is.

5.3.3 Efficiëntie, rentabiliteit en kosten van de HRe-ketel

De rentabiliteitsberekening van een HRe-ketel gaat uit van een meerprijs (t.o.v. een HR-ketel) van € 1.500 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 tien jaar en een elektrisch rendement van 15%, is de ketel vanaf een warmtevraag van 22 gigajoule (GJ) rendabel voor ruimteverwarming en vanaf een warmtevraag van 8,6 GJ voor tapwater (bij elkaar 900 m³ aardgas met een HR-ketel). Deze 900 m³ aardgas is een belangrijk criterium voor de selectie van woningen die in aanmerking kunnen komen voor een rendabele HRe-ketel.

Door verbetering van het elektrisch rendement of door verlaging van de meerprijs kan deze grens verschoven worden naar een lagere warmtevraag per woning. Door een verdere daling van de

EPC (Energie Prestatie Coëfficiënt) zullen nieuwbouwwoningen buiten de doelgroep blijven vallen. Echter, ook bestaande woningen met een laag verbruik behoren niet tot de doelgroep. Als de verhouding warmte-kracht 3:1 wordt, kan een HRe-ketel al rendabel zijn op basis van een stijgende warmtevraag voor warm tapwater. Tevens is het mogelijk dat de energieprijzen verder stijgen waardoor ook de grens van de rentabiliteit verandert. Als uitgegaan wordt van een toenemend marktaandeel van 5% in 2012 tot 75% in 2020 voor het segment woningen dat een verbruik heeft dat hoger ligt dan 900 m³, ontstaat het volgende realistische potentieel (tabel 10).

Vervangingsmarkt per jaar	2010	2012	2013	2014	2020	Totaal
Totaal (*1.000)	440	440	440	440	440	4.840
HRe (aandeel)	0%	5%	15%	30%	75%	
HRe-ketels (*1.000)	0	15	40	75	190	985
Overig	440	430	415	390	310	4.165

Tabel 10 Potentieel bij geleidelijke marktintroductie

Bij een marktpenetratie van 1 miljoen micro-WKK's in 2020 in Nederland, is een realistische besparing van ruim 1 Mton CO₂ te behalen. Dit is de besparing ten opzichte van de elektriciteitsopwekking in een gasgestookte STEG met een rendement van 55%.

5.3.4 De warmtepomp en koelen op gas

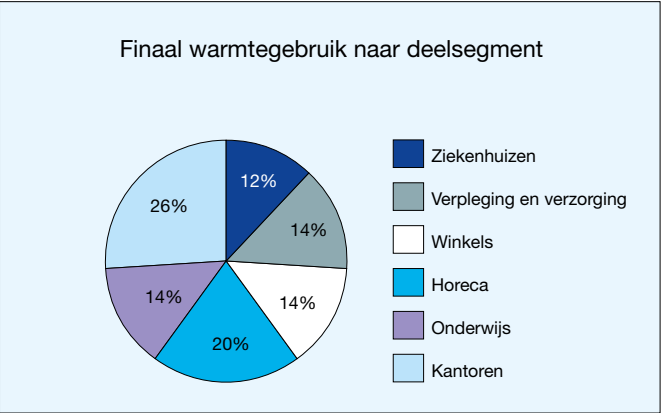
De gaswarmtepomp (diffusieabsorptiewarmtepomp) is een instrument dat gas rechtstreeks omzet in warmte of koude. Een klimaatbeheersingssysteem met een gaswarmtepomp werkt als een gesloten systeem waarin door middel van een faseovergang van gas, warmte of koude aan de omgeving onttrokken of toegevoegd kan worden. Deze techniek is zuiniger dan de conventionele technieken. Zo kan er niet alleen CO₂-besparing plaatsvinden, maar kunnen ook kosten worden bespaard.

De gaswarmtepomp wordt op dit moment in Nederland op kleine schaal gebruikt. Het gaat hierbij hoofdzakelijk om toepassingen in de utiliteitssector. In andere landen echter, waaronder Japan, wordt de gaswarmtepomp zelfs al grootschalig in woningen ingezet. Omdat de eigenschappen van de Nederlandse woningen heel anders zijn, kan dezelfde techniek niet één op één in onze

woningen overgenomen worden. Om de gaswarmtepomp aan de Nederlandse woningen aan te passen, zijn veldtesten nodig. In het begin van de jaren 2000 hebben diverse partijen reeds testen uitgevoerd, maar dat heeft tot op heden nog niet tot een brede toepassing in woningen geleid. Verschillende producenten zijn nu bezig om in samenwerking met CV-ketelfabrikanten tot goed werkende installaties te komen. In de komende periode zullen op dit vlak dan ook diverse veldtesten worden uitgevoerd.

5.4 De ontwikkeling van het aardgasverbruik in de utiliteitsbouw

De utiliteitssector is een zeer heterogene sector die uit een groot aantal segmenten bestaat, waaronder kantoren, winkels en ziekenhuizen. Als het om energieverbruik gaat, zijn de kantoren, de gezondheidszorg en de detailhandel het belangrijkste (Ecofys, 2007). Gaat het om de warmtevraag, dan zijn de gezondheidszorg en de horeca de grootste segmenten (figuur 21).



Figuur 21 Finaal warmtegebruik naar deelsegment. Bron: Ecofys (2007)

In het Global Economy-scenario neemt de totale warmtevraag van 190 PJ af tot ongeveer 180 PJ in 2020. Kortom, net als in de woningbouw wordt ook in de utiliteitssector een absolute daling van de warmtevraag voorzien. In de utiliteitssector wordt de warmtevraag gedomineerd door het aandeel ruimteverwarming; alleen bij verzorgingstehuizen en zwembaden is het aandeel tapwater significant. Bovendien geldt voor de utiliteitssector dat, wil er een vergaand klimaatbeleid gevoerd kunnen worden, het noodzakelijk is

om in te zetten op koolstofloze energiedragers (elektriciteit, warmte/koude, waterstof of biogas). Ook in deze sector zal dus, waar mogelijk, gekozen moeten worden voor all-electric systemen of voor restwarmtelevering.

Over het algemeen zijn er voor de utiliteitsbouw dezelfde technieken beschikbaar als voor de woningbouw. Maar daar waar de warmtepomp met warmte-/koudeopslag in de woningbouw nog niet van de grond komt, vormt hij in de utiliteitssector juist al een bewezen technologie.

5.4.1 Warmtepomp met warmte-/koudeopslag

In Nederland wordt warmte-/koudeopslag voornamelijk toegepast voor koelings- en in mindere mate voor (lage)temperatuur- verwarmingsdoeleinden. In kantoorgebouwen kan energieopslag voor koeling en verwarming gebruikt worden. De industrie gebruikt energieopslag voor proceskoeling, de land- en tuinbouw doet dat voor koeling en verwarming. In de woningbouw wordt de opslag nu nog voor verwarming gebruikt; in de toekomst zal dit ook voor koeling gebeuren (meestal in combinatie met een warmtepomp).

In de utiliteitsbouw worden warmtepompen toegepast in combinatie met warmte-/koudeopslag in de bodem. In de winter wordt de warmtepomp gebruikt voor ruimteverwarming, in de zomer voor koeling. Deze techniek is erg succesvol en economisch rendabel als een gebouw jaarlijks meer dan 300 MWh aan koelvraag heeft. Het is onbekend hoe groot het potentieel in de utiliteitsbouw is (ECN, 2004).

Door koude of warmte op te slaan is het mogelijk deze in een ander seizoen weer te gebruiken. De bodem is een geschikte ‘batterij’ voor deze vorm van opslag. Met behulp van grondwater en warmtepompen wordt de warmte of koude beschikbaar gemaakt; dit bespaart aardgas en elektriciteit.

5.5 Voor- en nadelen van aardgas ten opzichte van andere fossiele brandstoffen

Van alle fossiele brandstoffen heeft aardgas de laagste CO₂-emissies per eenheid energie. Het verschil met kolen bedraagt een factor twee. Ook wat andere emissies betreft (fijn stof, SO₂ en NO_x - afhankelijk van de verbrandingswijze), is aardgas veel schoner dan kolen en aardolie. Het is de verwachting dat met name een

reductie van de CO₂-emissie de komende tijd het meest sturende milieudoel voor de energievoorziening wordt (omdat de andere emissies al fors verlaagd zijn). De uitstoot van CO₂ wordt eerst door vraagbeperking en een hogere efficiëntie verlaagd, maar zal uiteindelijk door andere energiebronnen (hernieuwbare) of door CO₂-afvang en -opslag verder gereduceerd moeten worden. Decentrale aardgasverbranding in miljoenen huishoudens heeft als resultaat dat er veel puntbronnen van CO₂-emissie zijn. Op dit moment zijn er nog geen praktische en betaalbare technieken voor opslag en afvang van CO₂ bij individuele huishoudens bekend. Bij een groot-schalige centrale verbranding van aardgas zal afvang en opslag waarschijnlijk wel mogelijk zijn.

5.6 Ontwikkelingen qua omvang en halvering van de emissies in 2030

Om in 2030 een halvering van de emissies bereikt te hebben, is er voor de gebouwde omgeving een forse trendbreuk nodig. In het Green4sure-scenario wordt uitgegaan van een totale emissiereductie van 50% in 2030 ten opzichte van 1990.

De inzet van aardgas in de gebouwde omgeving is voor de korte termijn een kosteneffectieve manier om in ruimteverwarming te voorzien. Daarbij moet gas op de meest efficiënte wijze ingezet worden door bijvoorbeeld de toepassing van de HRe-ketel en de gaswarmtepomp. Na de jaren vijftig is er grootschalig geïnvesteerd in de hele aardgasketen: van winning en transport tot distributie en verbruikstoestellen. Als gevolg hiervan bestaat er een sterke mate van afhankelijkheid van (aard)gas als brandstof en een grote, ingebouwde weerstand tegen systeemverandering.

Om een vergaand klimaatbeleid te kunnen voeren, is inzet op koolstofloze energiedragers (elektriciteit, warmte/koude, waterstof of biogas) onontbeerlijk. Dit houdt ook voor de gebouwde omgeving een overschakeling in op een koolstofloze energiedrager. Niet alleen netto-koolstofloos (zoals syngas uit biomassa op aardgaskwaliteit), maar echt koolstofloos. Opties hiervoor zijn: elektriciteit, warmte en waterstof. Aardgas heeft in dit opzicht een rol als brandstof voor de transitie.

Aldus redenerend blijft als eindoptie voor de gebouwde omgeving de all-electric situatie over - die op compactere bouwlocaties gecombineerd dient te worden met grootschalige distributienet-

ten op lage temperatuur - voor restwarmte met invoedingsmogelijkheden voor duurzame warmte en koude (CE Delft en ECN, 2007). In de gebouwde omgeving zal een onderscheid gemaakt moeten worden tussen mogelijkheden in de nieuwbouw, in de bestaande bouw en in de utiliteitsbouw.

5.6.1 Nieuwbouw

De hierboven beschreven transitie kan het gemakkelijkst in de nieuwbouw gerealiseerd worden. Als het om dichtbebouwde gebieden gaat, kan ook op warmtenetten worden aangesloten. Andere goede opties zijn het passief bouwen en het stimuleren van kleinschalige warmte uit lokale bronnen in overige gebieden. Dit gebeurt op basis van marktwerking en comforteisen, met daarbij door de overheid gestelde randcondities op het gebied van energiezuinigheid (de zogenaamde EPC-eisen). De aangekondigde, verdere aanscherping van de EPC werkt deze transitie in de hand. Daarnaast kunnen er rond de benutting van warmte-/koudeopslag en de inzet van warmtepompen en technieken systeembalansen worden weggenomen. Er zijn genoeg concurrerende technieken en concepten beschikbaar (CE Delft en ECN, 2007). De weerstand tegen een verandering van systemen is bij nieuwbouw niet heel groot.

5.6.2 Bestaande bouw

Bij de bestaande bouw is de weerstand tegen een systeemverandering aanzienlijk hoger. Ook wanneer de bestaande bouwvoorraad in een versneld tempo wordt aangepakt, zal aardgas in deze sector nog decennialang op grote schaal (zij het in afnemende mate) gebruikt worden. In de transitie past een inzet op reductie van de vraag, door onder andere een verbeterde isolatie en het gebruik van duurzame(re) warmtebronnen die geen aardgas gebruiken (zoals zonneboilers en elektrische warmtepompen). In de tussentijd moet en kan er zo efficiënt mogelijk van aardgas gebruikgemaakt worden, door het benutten van de meest effectieve technieken, zoals de HRe-ketel en de gaswarmtepomp. Op deze manier wordt er geleidelijk naar het eindbeeld toegewerkt. Marktprikkels en randcondities (zoals de inzet van Energy Performance Building Directive (EPBD)) versnellen dit proces. De keuze welke technieken ingezet worden om het eindbeeld te bereiken, kan aan de markt worden overgelaten.

5.6.3 Utiliteitsbouw

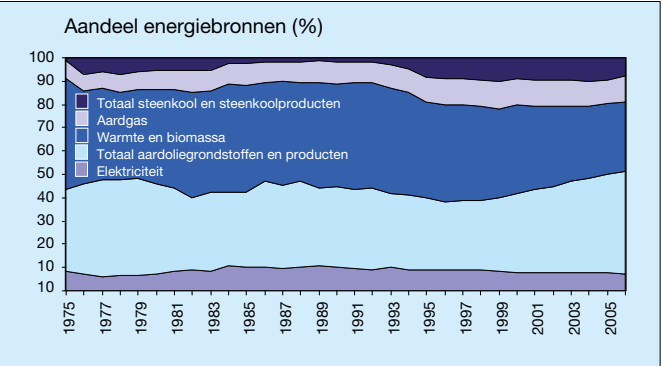
Naast de nieuwbouw is de transitie ook in de utiliteitsbouw relatief eenvoudig te maken. Nu al worden veel kantoorgebouwen all-electric gebouwd en uitgerust met warmte-/koudeopslag en warmtepompen zonder gasaansluiting. Net als in de bestaande bouw kan het transitieproces ook in de utiliteitsbouw door marktprikkels en randcondities (zoals de inzet van de EPC en de EPBD) versneld worden. De keuze voor de technieken die ingezet worden om het eindbeeld te bereiken, kan ook hier aan de markt worden overgelaten. ■

6. Aardgas in de industrie

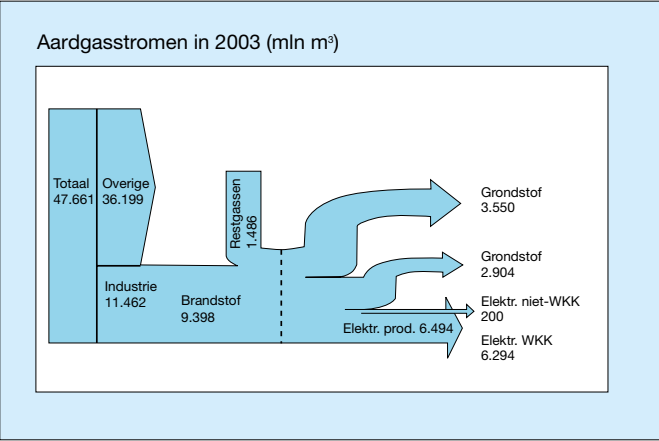
De industriesector is in Nederland, naast de huishoudelijke en de energiesector, de derde grote gebruiker van aardgas. In 2006 ging 24% van het aardgasverbruik naar deze sector. Aardgas wordt in de industrie op twee manieren ingezet: als brandstof en als grondstof. In dit hoofdstuk worden deze toepassingen nader toegelicht en wordt de toekomst van aardgas in deze sector beschreven.

6.1 De ontwikkeling van aardgas in de industrie

Sinds de introductie van aardgas in de Nederlandse energiehuishouding heeft deze brandstof ook in de industrie een belangrijke rol gespeeld. In 1975 voorzag aardgas 48% van het energieverbruik in deze sector. Hoewel dit aandeel de laatste decennia geleidelijk aan iets is afgenomen, neemt aardgas tot op de dag van vandaag in de industrie een prominente plaats in (24% in 2006, zie figuur 22).



Figuur 22 Aandeel energiebronnen in het energetisch verbruik in de industrie. Bron: CBS (2008)



Figuur 23 Aardgasstromen in 2003 (mln m³)¹⁰. Bron: CBS (2008)

Het gebruik van aardgas in de Nederlandse industrie is zeer sterk verdeeld. In het jaar 2001 verbruikte een klein aantal grootverbruikers (1,3% van de industriële bedrijven) 89% van de totale gasconsumptie in die sector. Iets meer dan een kwart van het aardgas dat in de industrie wordt ingezet, wordt als grondstof voor verschillende industriële processen gebruikt; driekwart dient als brandstof voor de energieomzetting door middel van warmtekrachtkoppeling of ondervuring (CBS, 2008).

Figuur 23 (pagina 37) toont de verdeling van het aardgas in de industriector.

6.2 Aardgas als brandstof

In de industrie wordt ongeveer driekwart van het gasverbruik als brandstof ingezet voor de productie van zowel warmte als elektriciteit. In 2003 werd 6,4 miljard m³ aardgas voor de productie van elektriciteit gebruikt. Daarvan werd 97% ingezet voor warmtekrachtkoppelingen (WKK). De meest toegepaste WKK-techniek is de stoom- en gasturbine (STEG); bijna tweederde van het totale gasverbruik voor de elektriciteitsproductie vond hierin plaats, gevolgd door de gasturbine met 30% (CBS, 2008).

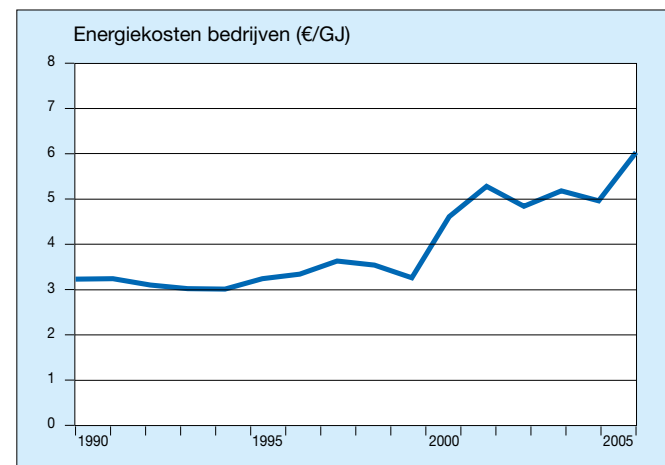
6.3 Kosten en milieuprestaties

De kosten van het grootschalige aardgasgebruik in de industrie komen voor een groot deel overeen met de kosten in de elektriciteitssector. Dit betekent dat ook in de industriector de kosten voor de verschillende opties nogal uiteenlopen. Vooral met betrekking tot de warmtekrachtkoppeling hangen de kosten sterk af van de grootte van de installatie. Een grootschalige WKK-installatie kost 800 €/kWe. Een STEG met CO₂-afvang zal ongeveer 680 tot 900 €/kWe kosten en de combinatie gasturbine-brandstofcel (SOFC) 900 tot 1.150 €/kWe (Dril en Elzenga, 2005). De kosten van aardgas zijn de laatste jaren sterk gegroeid. Figuur 24 laat zien dat de kosten per GJ tot het jaar 2000 nagenoeg constant waren. Vanaf 2000 echter, zijn zij met 11% per jaar gestegen; in zes jaar resulteerde dit bijna in een verdubbeling.

Ondanks het feit dat de toepassing van decentrale WKK in Nederland de laatste jaren al sterk gegroeid is, is er nog een groot potentieel aanwezig. Het benutten van dit potentieel is echter wel sterk afhankelijk van een stimulerende werking vanuit de overheid (CE Delft, 2007b). Het technische besparingspotentieel voor WKK in de industrie wordt op 38 PJ primaire energie geschat. Dit kan bereikt worden door een betere potentieelbenutting van de huidige WKK, het vervangen van ondervuring door WKK en door middel van nieuwe WKK-concepten (ECN, 2006).

Naast de toepassing van aardgas in een WKK-installatie 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 gebruikt worden, wat WKK ten goede komt (ROMr3, 2003).



Figuur 24 Energiekosten industriële bedrijven (€/GJ). Bron: CBS (2008)

6.4 Aardgas als grondstof

In 2003 werd 27% van het aardgas als grondstof ingezet in de industrie. Het grootste deel daarvan werd in de chemische industrie gebruikt, met als belangrijkste producten methanol, ammoniak en waterstof. Recent zijn daar ook nog de gas-to-liquids (GTL) aan toegevoegd, te weten benzine, diesel en aanverwante petrochemische producten op basis van aardgas. Het gebruik van aardgas als grondstof is de laatste jaren redelijk stabiel. Gemiddeld wordt er ongeveer 3.500 miljoen m³ aardgas per jaar als grondstof ingezet (CBS, 2008).

6.5 Voor- en nadelen van aardgas ten opzichte van andere fossiele brandstoffen

Voor wat de industriector betreft moet aardgas in twee hoedanigheden met andere fossiele brandstoffen vergeleken worden: als brandstof en als grondstof. In de huidige situatie bestaat er voor aardgas als grondstof in feite geen economisch alternatief. Steenkoolvergassing zou een vervanger kunnen zijn, maar de daarbij benodigde vergassingstechniek vergt aanzienlijk hogere investeringen in vergelijking met de voor aardgasconversie toegepaste technieken. Bovendien heeft aardgas een voor de beoogde producten beduidend gunstigere chemische structuur. Ook voor de toepas-

sing van aardgas als brandstof in een WKK-installatie lijkt er weinig bedreiging te komen van andere fossiele brandstoffen, zeker gezien de sterke ambitie binnen de EU om het aandeel WKK in de komende jaren te laten groeien. Met betrekking tot ondervuring zijn er wel alternatieven voor aardgas, bijvoorbeeld stookolie, maar vanwege de slechtere milieueigenschappen bij de verbranding van olieproducten vormen deze op dit moment geen reëel alternatief voor aardgas.

6.6 Ontwikkelingen qua omvang en halvering van de emissies in 2030

Net als de kosten, zijn ook de toekomstige ontwikkelingen van aardgas in de industrie sterk gekoppeld aan de veranderingen in de energiesector. Uit verschillende scenariostudies blijkt dat er de komende decennia veel ontwikkeling in WKK-installaties zal zijn die in joint ventures tussen industriële bedrijven en energiebedrijven geplaatst gaan worden (Dril en Elzenga, 2005; ROMr³, 2003). Het is de verwachting dat ongeveer tweederde van de elektriciteit in de industrie door deze joint ventures zal worden geproduceerd. Zoals reeds vermeld is het overheidsbeleid bepalend voor de omvang van deze ontwikkeling.

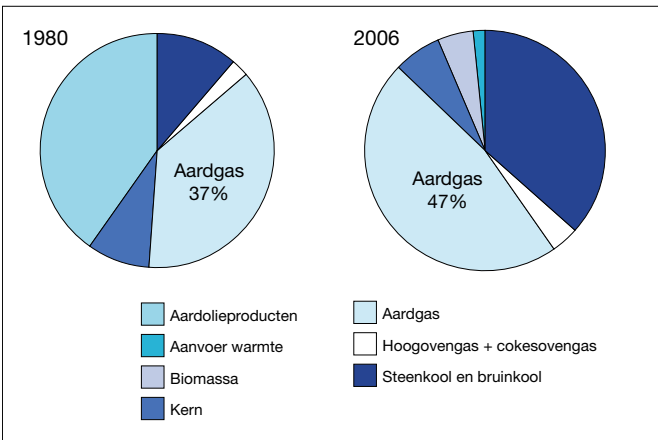
Daarnaast is in Europees verband de doelstelling geformuleerd dat in het jaar 2020 zo'n 18% van de totale elektriciteitsproductie afkomstig moet zijn van gasgestookte WKK-installaties (EU, 2007). Ook Nederland heeft een doelstelling voor meer WKK-vermogen: in 2030 moet er voor 4.000 MWe aan extra WKK-vermogen zijn bijgekomen. Dit is een uitbreiding van bijna 35% van het huidige vermogen. Hiervoor zal een groot deel van het potentieel binnen de industriële sector worden aangesproken. Voor de industriële WKK-installaties echter, is bij de inzet van de WKK de warmtevraag leidend. Slechts een beperkt aantal industriële WKK-installaties heeft mogelijkheden tot flexibele inzet van de WKK. Als gevolg hiervan concurreert de 's nachts geproduceerde elektriciteit met de door kolen geproduceerde elektriciteit van de grote centrales die de basislastvoorziening voor hun rekening nemen. Door het verschil in de kolen- en gasprijs is deze situatie bij de huidige brandstof en CO₂-prijzen verliesgevend voor een WKK-installatie. De variabele kosten van het gas, dat noodzakelijk is voor het elektriciteitsdeel van de productie, zijn hoger dan de opbrengst van de geproduceerde elektriciteit. Op dit moment wordt de 's nachts opgewekte elektriciteit met verlies verkocht en het risico is groot dat dit verlies verder zal toenemen (CE Delft, 2007b). ■

7. Aardgas in de elektriciteitsproductie

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

7.1 De ontwikkeling van aardgas in de elektriciteitsproductie

Hoewel aardgas al langer in Nederland werd ingezet, nam het gebruik pas echt een vlucht sinds de vondst van het aardgas in de Groningse bodem in 1959. De tot dan toe grootste aardgasvoorraad ter wereld heeft een zeer grote invloed gehad op de Nederlandse energiehuishouding en vooral op de productie van elektriciteit.



Figuur 25 Brandstofinzet elektriciteitscentrales. Bron: ECN (2007)

In de nevenstaande figuur is het verschil weergegeven tussen de brandstofinzet in elektriciteitscentrales tussen 1980 en 2006. Al vanaf 1984 werden aardolieproducten nog maar nauwelijks als brandstof gebruikt. De inzet van deze aardolieproducten werd grotendeels vervangen door aardgas. In 1984 bedroeg dit zelfs 60% van het totaal, wat later weer afnam tot 47%. Figuur 25 laat zien dat, met een terugval rond de jaren tachtig, aardgas de afgelopen decennia een zeer belangrijke rol bij de productie van elektriciteit in Nederland heeft gespeeld. Ongeveer 60% van de totale Nederlandse elektriciteitsproductie is gebaseerd op gas.

7.2 Warmtekracht (van groot tot klein) en STEG

In de huidige elektriciteitsproductie is de productie uit aardgas voor het grootste deel gebaseerd op STEG's. Een STEG is een elektriciteitscentrale waarbij twee turbines (een stoom- en een gasturbine) aangedreven worden. De gasturbine wordt aangedreven door de verbranding van aardgas, de tweede turbine door stoom. Deze stoom wordt geproduceerd door de verhitting van water met de warmte van afgassen van de gasturbine in een afgassenketel. Het rendement van een STEG is bijna 60% en bovendien kan een STEG flexibel inspelen op een vraag naar piekstroom. Deze 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 elek-

triciteitsvraag. De enige technieken die momenteel eenzelfde rol kunnen vervullen, zijn waterkracht en flexfuel-centrales, waarbij de flexibiliteit op het conto van gas als brandstof komt (CE Delft en ECN, 2007). Voor veel landen is de STEG dan ook de eerste keuze als het om nieuwe elektriciteitscentrales gaat. In Nederland wordt op dit moment 40% van de elektriciteit opgewekt door middel van een STEG, waarvan 90% voor rekening genomen door aardgas (CBS, 2007).

STEG-installaties die naast elektriciteit ook warmte leveren, worden warmte-krachtkoppelingen oftewel WKK-installaties genoemd. Ook de gasturbine en de gasmotor die zowel elektriciteit als warmte leveren, zijn voorbeelden van WKK-installaties. De gasmotor wordt voornamelijk in de glastuinbouw gebruikt. Tabel 11 geeft de rendementen weer van de verschillende WKK-installaties.

Type	Vermogen (MWe)	Elektrisch 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

Tabel 11 Rendementen van verschillende WKK-installaties. Bron: ECN (2005)

Warmte en elektriciteit zijn beide vormen van energie, maar ze zijn niet gelijkwaardig. Voor een goede vergelijking moet daarom rekening gehouden worden met de omzetbaarheid van energie in een andere energievorm. Niet alle vormen van energie zijn immers volledig omzetbaar in andere. Het gedeelte van de energie dat volledig omzetbaar is in andere energievormen wordt exergie genoemd.

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. Deze wordt vervolgens via een alternator omgezet in elektriciteit. Er blijft dan laagwaardige restwarmte (bijvoorbeeld 500 °C) over, die gebruikt wordt om aan de specifieke warmtevraag van een bedrijf te voldoen. Er kan dus gesteld worden dat een WKK-installatie een handige manier is om warmte te produceren, waarbij er bovendien

een veel hoger exergetisch rendement wordt behaald. Warmte is inderdaad de belangrijkste factor en het is dan ook essentieel dat deze warmte nuttig wordt aangewend. Daarom wordt een WKK-installatie ook bij voorkeur afgestemd op de warmtevraag. Hierbij wordt elektriciteitsopwekking gebruikt om de warmte op de gewenste temperatuur te produceren. Dit leidt tot minder exergieverlies en een meer rationeel energiegebruik (i-dacta, 2008).

In de huidige situatie concurreert een gasgestookte STEG voornamelijk met een kolengestookte energiecentrale. Hier wordt in de volgende paragrafen nader op ingegaan.

7.2.1 Kosten

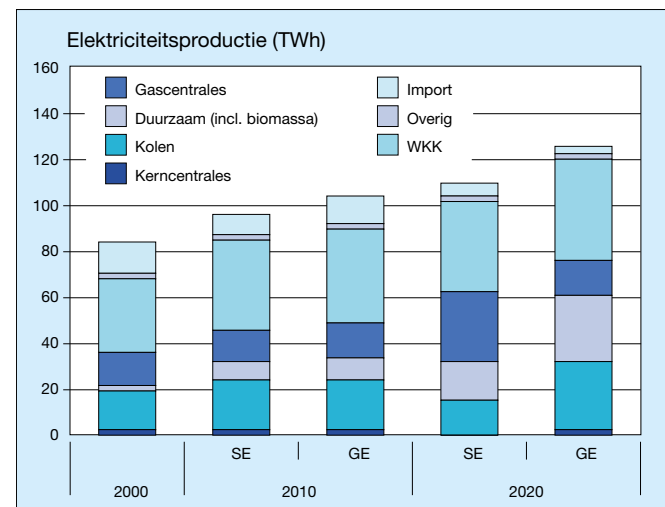
Buiten de genoemde voordelen van het hoge rendement en de flexibiliteit, kan een STEG relatief snel gebouwd worden (in ongeveer twee jaar) en vergt hij een betrekkelijk lage investering; in 2005 kostte een grote STEG zo'n 525 tot 630 €/kWe. Daarnaast zijn ook de onderhoudskosten van een STEG in verhouding laag, namelijk rond de 20 €/kWe (Dril en Elzenga, 2005). Hiertegenover staat echter de hoge brandstofprijs van aardgas. Deze prijs is gekoppeld aan die van ruwe olie en deze is de laatste jaren sterk gestegen. Als gevolg hiervan zijn ook de kosten per kWh dat is opgewekt met gas, de laatste jaren sterk gegroeid.

7.2.2 Milieuprestaties

Aardgas is een fossiele grondstof en aan het gebruik ervan kleven de 'standaardnadeln': CO₂-emissie en de uitstoot van PM₁₀, NO_x en SO₂. Per eenheid energie is deze uitstoot echter aanzienlijk lager dan bij andere fossiele brandstoffen zoals kolen en olie. Dit komt deels door het hoge rendement dat gastechnieken behalen en deels door de eigenschappen van aardgas zelf. Bij de toepassing van aardgas in de elektriciteitsproductie wordt er gemiddeld 0,45 kg CO₂ per kWh uitgestoten (CE, 2004). In 2005 bracht de inzet van gas voor de productie van elektriciteit 26 tot 27 Mton CO₂-emissie met zich mee; dit is ongeveer 15% van de totale CO₂-uitstoot in Nederland. Voor CO₂ 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 zo'n 26 Mton CO₂, wat ongeveer 15% van de totale CO₂-uitstoot in Nederland is.

7.3 Nieuwe ontwikkelingen, CO₂-afvang en ZEPP

Anno 2008 zijn er in Nederland verscheidene ontwikkelingen op het gebied van het gebruik van aardgas voor de productie van elektriciteit. De belangrijkste daarbij zijn de warmtekrachtkoppeling (centraal en decentraal), CO₂-afvang en de ZEPP ('zero emission power plant'). Naast het gasgebruik in huishoudens heeft ECN ook de samenstelling van de productie van elektriciteit doorge-rekend voor het Strong Europe-scenario (SE) en voor het Global Economy-scenario (GE). Figuur 26 geeft aan welk aandeel aardgas volgens deze verschillende scenario's in de productie van elektrici-teit heeft.



Figuur 26 Samenstelling elektriciteitsproductie (TWh) volgens SE- en GE-scenario. Bron: Dril en Elzenga (2005)

Voor van de warmtekrachtkoppeling (WKK) wordt de komende jaren veel verwacht. Zo is in Europees verband de doelstelling geformuleerd dat in het jaar 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 er voor 4.000 MWe aan extra WKK-vermogen zijn bijgekomen. Dit is een uitbreiding van bijna 35% van het huidige vermogen. Het totaalrendement van een WKK-installatie kan door nuttig gebruik van de warmte oplo-pen tot meer dan 80%. De door de overheid beoogde uitbreiding van het WKK-vermogen geldt voor grootschalige installaties.

De elektriciteitsproductie die op aardgas is gebaseerd, kan door CO₂-afvang op zich vrijwel klimaatneutraal worden gemaakt. Voor deze afvang bij aardgas is er vooral veel potentieel voor de 'post-combustion'-techniek weggelegd. Met de huidige techniek gaat het rendement met 8 tot 10 procentpunt terug tegen een prijs van 40 tot 50 €/ton CO₂. Door optimalisatie met behulp van nieuwe technieken kan deze rendementsdaling beperkt worden tot 3 à 4 procentpunt (door middel van de 'chilled amonia'-techniek) en worden de kosten gereduceerd tot onder de 20 €/ton CO₂ (via rookgasrecirculatie en de 'chilled amonia'-techniek). De 'pre-combustion'-techniek lijkt op de korte termijn minder geschikt voor de afvang van CO₂ bij aardgasinstallaties.

Een bijzondere vorm van CO₂-afvang is de ZEPP, de Zero Emission Power Plant. Dit concept is uniek in de wereld en de eerste experi-menten worden in Nederland opgezet en uitgevoerd. Het achter-liggende idee van ZEPP is dat elektriciteit wordt geproduceerd op basis van aardgas, waarbij de afgevangen CO₂ wordt teruggepompt in een nabijgelegen aardgasveld. Door dit terugpompen ontstaat er een grotere druk in het gasveld en kan aardgas gewonnen wor-den dat met de conventionele methoden niet (meer) winbaar was. Zo ontstaat er een 'gesloten kringloop' waarin elektriciteit klimaat-neutraal kan worden opgewekt (SEQ, 2007).

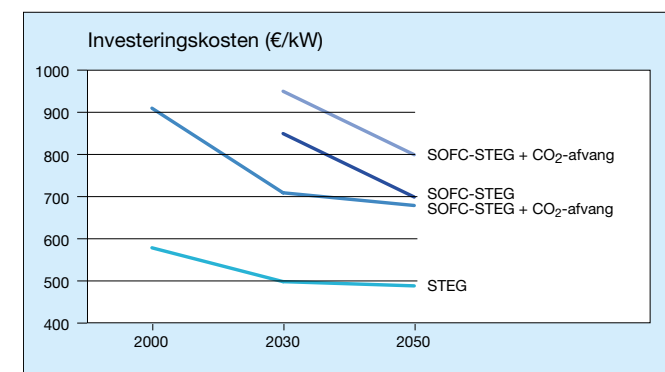
Ook de toepassing van brandstofcellen biedt veel mogelijkheden voor het gebruik van aardgas voor de elektriciteitsproductie. De combinatie brandstofcel-gasturbine maakt een nettorendement van 75% mogelijk. Nadeel hierbij is echter wel dat brandstofcellen (SOFC) niet zo flexibel in de bedrijfsvoering kunnen worden inge-zet als gasturbines.

Naast de bovengenoemde nieuwe technieken zijn ook de huidige STEG's verre van uitontwikkeld en vinden er nog steeds rendements-verbeteringen en optimalisering plaats. Zo zou er een rendement van ongeveer 65% gehaald kunnen worden en kunnen de kosten worden gereduceerd tot minder dan 400 €/kWe.

7.3.1 Kosten

De prijzen van de verschillende opties lopen nogal uiteen. Vooral met betrekking tot de warmtekrachtkoppeling zijn de kosten sterk afhankelijk van de grootte van de installatie. Een grootschalige WKK-installatie heeft een minimumprijs van 800 €/kWe. Een STEG

met CO₂-afvang zal ongeveer 680 tot 900 €/kWe gaan kosten en de combinatie gasturbine-brandstofcel (SOFC) 900 tot 1.150 €/kWe (Dril en Elzenga, 2005). Figuur 27 laat de ontwikkeling van de kos-ten in de komende jaren zien. De ontwikkeling van de ZEPP bevindt zich nog in de experimentele fase en de eerste echte veldtesten moeten nog worden uitgevoerd. De kosten van een dergelijke gas-toepassing zijn dan ook nog niet bekend.



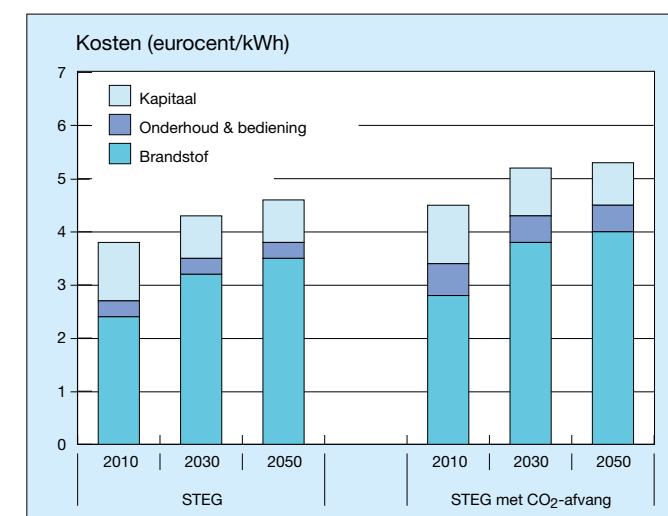
Figuur 27 Verwachte investeringskosten gasgestookte elektriciteits-opwekking. Bron: ECN (2004)

7.3.2 Milieuprestaties

Net als de kosten, verschillen ook de milieuprestaties van de diverse opties zeer van elkaar. 'Conventionele' technieken als de grootschalige en micro-WKK geven naast een significante rende-mentsverbetering ook een vermindering van de CO₂-emissie, al blijven ze nog wel CO₂ uitstoten. Dit in tegenstelling tot bijvoor-beeld de ZEPP, waarbij er (in principe) geen enkele uitstoot plaats-vindt. Een grootschalige WKK-installatie heeft een gemiddelde CO₂-uitstoot van 0,30 kg/kWh (variërend van 0,20 tot 0,40), wat ruim 30% minder is dan de uitstoot door een conventionele gas-installatie en ruim 60% minder dan die van een koleninstallatie (CE Delft, 2004). In 2006 is er in totaal 55,8 TWh elektriciteit met WKK-installaties opgewekt en 43,1 TWh met niet-WKK (CBS, 2007). Het aandeel WKK is inmiddels dus al redelijk hoog.

Begin 2007 waren er in Nederland plannen voor het bouwen van vijf nieuwe kolencentrales met een gezamenlijk vermogen van 5.500 MWe. Dit komt overeen met een uitbreiding van een kwart van het huidige productiepark. Deze kolencentrales zou-

den een extra jaarlijkse CO₂-uitstoot veroorzaken van 29,6 Mton. Los van de vraag of deze extra capaciteit noodzakelijk is, zou de keuze voor een conventionele STEG of voor een gasgestookte WKK-installatie in plaats van een kolencentrale een besparing van respectievelijk 15,6 Mton en 20,3 Mton CO₂-uitstoot opleveren. Daar komen dan ook nog eens de voordelen bij van een lagere uitstoot van andere schadelijke stoffen als NO_x en PM₁₀.

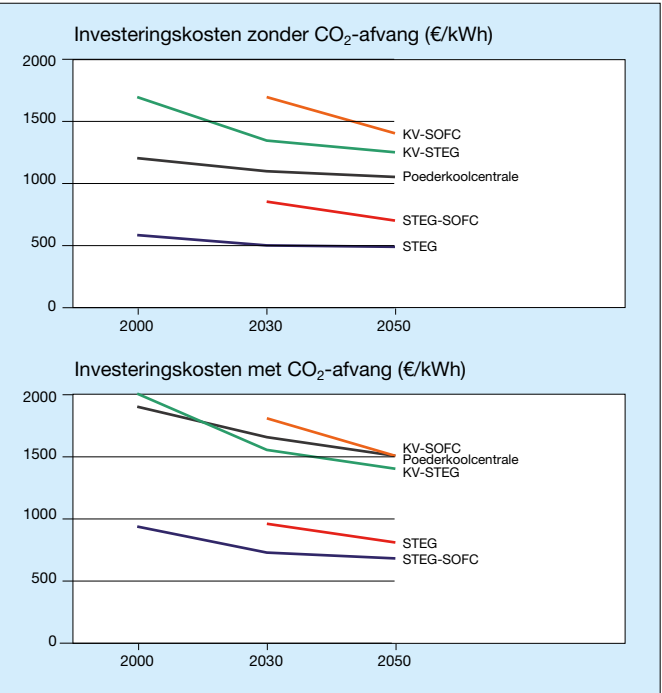


Figuur 28 Kosten per kWh zonder en met CO₂-afvang. Bron: ECN (2004)

De afvang van CO₂ is uiteraard van grote invloed op de emissies bij de opwekking van elektriciteit. Volgens berekeningen van ECN kan er door toepassing van CO₂-afvang bij STEG-installaties in 2050 een extra reductie van de CO₂-uitstoot worden bewerkstelligd van 16,5 Mton per jaar¹¹ (ECN, 2004). Net als bij de WKK-toepassing komen er nog wel andere emissies vrij, zoals NO_x. De hoeveelheid van deze emissies is echter sterk afhankelijk van de gekozen tech-niek. Volgens ECN zal er in de periode van 2000 tot 2050 geen toename van NO_x-emissies plaatsvinden. De toepassing van CO₂-afvang heeft wel consequenties voor de kosten van elektriciteit. In figuur 28 en 29 zijn de verschillen van de ontwikkeling van de kosten van wel en geen afvang in de komende decennia te zien.

Bij de toepassing van een ZEPP is het idee dat er geen enkele vorm van uitstoot plaatsvindt. De ontwikkeling van deze techniek staat echter nog in de kinderschoenen en over het potentieel ervan is dan

ook nog weinig bekend. De toepassing van een brandstofcel (SFOC) in combinatie met een STEG kan bij dezelfde voorspelling van ECN een extra reductie geven van 2,5 Mton CO₂ per jaar. Het gebruik van een SOFC zorgt er tevens voor dat er amper uitstoot van NO_x is (ECN, 2004).



Figuur 29 Investeringskosten nieuwe centrales. Bron: ECN (2004)

Ook de rendementsverbetering van de huidige gastechnieken leveren de komende decennia nog een 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 de CO₂-uitstoot van 2 Mton per jaar opleveren (ECN, 2004). Als er in 2050, zoals ECN stelt, 30% van de elektriciteitsvraag met aardgas zou worden opgewekt, dan komt dit overeen met 60 TWh. Wordt deze 30% met de huidige techniek geproduceerd, dan levert dit een CO₂-uitstoot op van 27 Mton per jaar, wat ongeveer gelijk is 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 genereert uiteraard een grotere besparing als dit ten koste gaat van opwekking door middel van kolen.

7.4 Voor- en nadelen van aardgas ten opzichte van andere fossiele brandstoffen

Aardgas heeft de connotatie een dure brandstof te zijn. Dit heeft tot gevolg dat bij het afwegen van nieuwe initiatieven, de voordelen van aardgas het in Nederland vaak afleggen tegen de nadelen - dit in tegenstelling tot in de rest van de EU-landen (CE Delft, 2007).

	Aardgas	Kolen
Investeringskosten	+	-
Bouw centrale	+	-
Brandstofkosten	-	+
Voorzieningszekerheid	+/-	+
Rendement	+	+/-
CO ₂ -uitstoot	+/-	-
Overige emissies	+	-
Flexibiliteit	+	-

Tabel 12 Aardgas vs. kolen in de productie van elektriciteit. Bron: ECN (2004)

Hierdoor valt de keuze vaak op alternatieven zoals kolencentrales, een besluit dat op zijn beurt weer diverse nadelige consequenties heeft. In de bovenstaande tabel wordt een kwalitatief overzicht gegeven van de verschillen tussen het gebruik van aardgas en kolen bij de productie van elektriciteit. Omdat de inzet van stookolie in Nederland minimaal is en het gebruik van kernenergie onderhevig is aan controversen, lijken beide voor de komende jaren geen concrete optie en dus zijn zij niet in deze vergelijking meegenomen.

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 verkeers- en vervoerssysteem is in hoge mate afhankelijk van op aardolie gebaseerde brandstoffen, dat wil zeggen benzine, diesel, LPG, kerosine en stookolie. Alternatieven voor de korte termijn zijn LPG, aardgas en biobrandstoffen. Geavanceerde biobrandstoffen, waterstof en elektriciteit zijn opties voor de langere termijn. 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 ook daar is dat aandeel nog steeds zeer bescheiden.

8.1 Personenauto's en bussen op aardgas

8.1.1 Personenauto's

Een Ottomotor kan behalve op benzine ook op gasvormige brandstoffen rijden. In Nederland wordt reeds op grote schaal LPG gebruikt. Het gebruik van aardgas als transportbrandstof is technisch uitgerijpt in de vorm van 'compressed natural gas' (CNG).

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

Retrofit-installaties zijn voornamelijk nog niet toepasbaar op benzine-motoren met directe inspuiting. Af-fabriek gasvoertuigen zullen dus waarschijnlijk een grotere rol spelen. 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 bovendien mogelijkheden voor verdere verbetering van het motorrendement (CE Delft, 2007).

8.1.2 Bussen

Voor de aandrijving van bussen zijn LPG en aardgas belangrijke alternatieven. Beide brandstoffen vereisen de toepassing van een Ottomotor (vonkontsteking) en relatief volumineuze opslagtanks.

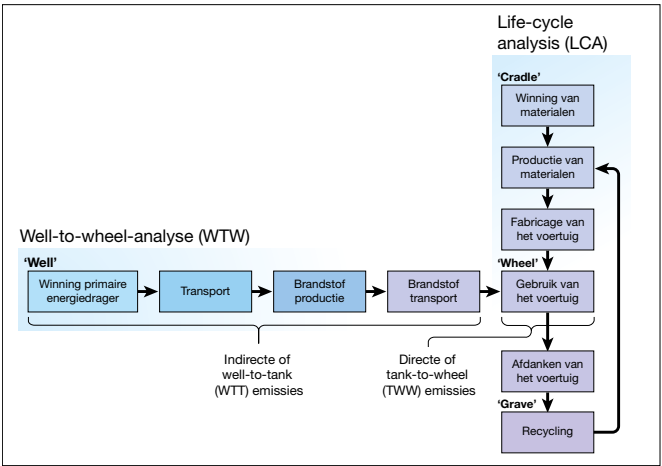
8.2 Kosten en milieuprestaties

Bij de beoordeling van alternatieve energiedragers in het kader van de vermindering van broeikasgasemissies, is het van belang om niet alleen naar de directe emissies van het voertuig te kijken ('tank-to-wheel' (TTW)), maar ook naar de emissies in de gehele productieketen van de energiedrager ('well-to-wheel' (WTW)). Dit is geïllustreerd in figuur 30 (pagina 46).

8.2.1 Emissiereductie door aardgas als brandstof voor personenauto's

Gerekend over de hele 'well-to-wheel'-keten (WTW) en afhankelijk van zijn herkomst heeft aardgas een tot 20% lagere CO₂-emissie dan benzine en scoort daarmee in sommige toepassingen zelfs beter dan diesel. De voordelen van aardgas zijn het grootst als er gas uit de huidige mix van oorsprongsgebieden gebruikt wordt,

waarbij een groot deel van het gas in Europa of (in het geval van voertuigen die in Nederland rijden) in Nederland wordt gewonnen. Nederland en Europa zijn echter inmiddels netto-importeurs van aardgas geworden, zodat de additionele vraag als gevolg van de toepassing van aardgasvoertuigen zal worden gedekt uit extra import. Voor de korte en middellange termijn gaat het hierbij om aardgas dat over transportafstanden van gemiddeld zo'n 4.000 km wordt aangevoerd. Op de langere termijn zullen ook verder gelegen bronnen in beeld komen.



Figuur 30 Illustratie van 'well-to-wheel' (WTW) analyse en 'life-cycle analysis'(LCA) van producten

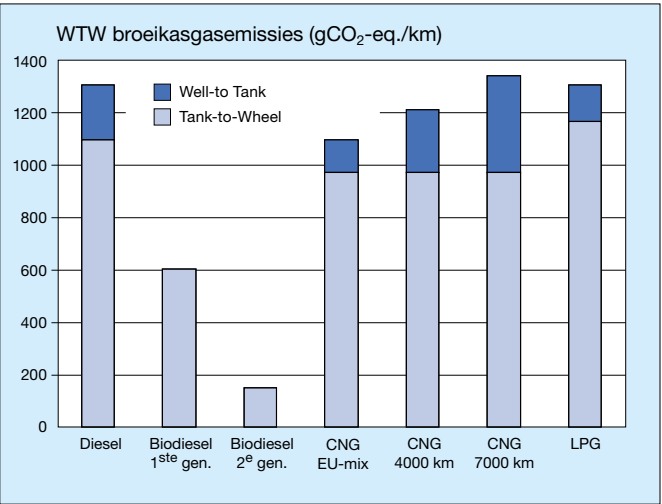
Voor het verlagen van de WTW CO₂-emissie van CNG op de lange termijn bieden bijmenging van biogas, synthetisch methaan uit biomassa en duurzaam geproduceerd waterstof mogelijkheden. Het is echter de vraag of dit perspectief een motivatie mag zijn voor het stimuleren van het gebruik van aardgas als autobrandstof in Nederland. De genoemde duurzame, gasvormige brandstoffen die bijgemengd kunnen worden, zullen nog lange tijd slechts in beperkte volumes beschikbaar zijn. Bovendien leveren zij, als ze in andere aardgasgebruikende toepassingen ingezet worden (zoals de industrie, huishoudens, de tuinbouw en bij elektriciteitsopwekking), door de lagere omzettingsverliezen in de keten waarschijnlijk tegen lagere kosten hogere CO₂-reducties op (CE Delft, 2007).

8.2.2 Emissiereductie door aardgas als brandstof voor bussen

Een Ottomotor heeft een lager rendement dan een dieselmotor, maar door de gunstige C/H-verhouding van aardgas heeft een aardgasbus zowel op voertuigniveau (tank-to-wheel) als op keten-niveau (well-to-wheel) minder broeikasgasemissies dan een dieselbus op fossiele diesel. Het voordeel wordt kleiner als het gebruikte aardgas over grote transportafstanden wordt aangevoerd.

	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 ^a EU-mix	115,4	78%	0,149	132,7	77%
CNG ^a 4000 km	115,4	78%	0,249	144,2	83%
CNG ^a 7000 km	115,4	87%	0,386	160,0	92%

Tabel 13 CO₂-emissies/voertuigkm van aardgasvoertuigen. Bron: TNO (2006a), Concawe (2006) uit CE Delft (2007)
^a CNG = Compressed Natural Gas



Figuur 31 WTW broeikasgasemissies van bussen op diesel, biodiesel, aardgas en LPG. Bron: TNO, mede op basis van data uit Concawe (2006) uit CE Delft (2007)

	'Natural gas vehicle' vergeleken met benzinevoertuigen		
	Klein	Midden	Groot
Additionele fabricagekosten	€ 1.450	€ 1.750	€ 2.050
Additionele verkoopprijs	€ 2.090	€ 2.520	€ 2.950
TTW CO ₂ -reductie	22%	22%	22%

Tabel 14 Additionele kosten, relatieve TTW CO₂-reductie aardgasvoertuigen. Bron: TNO (2006a) uit CE Delft (2007)

8.3 Voor- en nadelen van aardgas 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 langer waardoor het vullen van grotere aantallen bussen extra logistiek en meer werk vergt. Tot nu toe waren de levensduur en het 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 CO₂, PM₁₀ en NO_x zijn bij aardgas (iets) lager dan bij diesel. Daar staat tegenover dat er hoge kosten zijn gemoeid met de opbouw van de gehele keten (een distributienet, pompstations en een aangepast wagenpark). Het aanpassen van de keten is, zoals vermeld, bij bussen niet zeer complex, maar voor personenauto's ligt dat duidelijk anders. Er is hier sprake van het zogenaamde kip-ei probleem: er zijn nog geen tankstations die aardgas voor auto's verkopen, maar ook geen auto's die op aardgas rijden. Door nu in te zetten op aardgas als brandstof voor transport wordt straks de overstap naar biogas in de transportsector mogelijk. De (huidige) beschikbaarheid van biogas is echter zeer beperkt, waardoor het nog lang zal duren voordat biogas aardgas (deels) kan vervangen (zie hoofdstuk 9). Vanwege de strenge emissie-eisen aan voertuigen en motoreigenschappen worden er ook hoge eisen gesteld aan de kwaliteit van het aardgas en biogas dat in de transportsector gebruikt wordt. Biogas uit

bijvoorbeeld een vergistingsinstallatie moet daarom eerst worden opgewerkt voordat het getankt kan worden.

8.4 Ontwikkelingen qua omvang en halvering van de emissies in 2030

Het toepassen van aardgas in de transportsector draagt bij aan een vermindering van de economische afhankelijkheid van olie, maar levert op zich slechts een kleine bijdrage aan de CO₂-reductie. Op termijn kan CO₂-reductie wel worden bereikt als aardgas wordt vervangen door biogas of door syngas op basis van biomassa (in beide gevallen opgewerkt tot aardgaskwaliteit). Als dat niet gebeurt, wordt de afhankelijkheid van olie slechts ingeruild voor een afhankelijkheid van aardgas. Het gebruik van aardgas in het transport is geen voorbereiding voor het gebruik van waterstofgas, omdat de gebruikte technieken wezenlijk van elkaar verschillen. Daarom ligt het niet voor de hand om de inzet van aardgasmotoren als kansrijke optie te zien voor een forse reductie van de CO₂-uitstoot.

Op de vraag of aardgas een relevante rol als mobiliteitsbrandstof kan spelen, is het antwoord 'nee'. De efficiëntiewinst ten opzichte van (de mogelijkheden van) vloeibare koolwaterstoffen is gering. Op dit moment kan aardgas een rol spelen omdat het kan helpen met een snelle verbetering van de luchtkwaliteit in steden, maar dat kan ook met diesel. Zou aardgas dan de voorbereider kunnen zijn voor groen gas of voor waterstofgas in de transportsector? Ook dat lijkt niet waarschijnlijk omdat er makkelijkere toepassingen zijn om groen gas te gebruiken (bijvoorbeeld in de gebouwde omgeving). Elektrisch vervoer lijkt eerder dan aardgas 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. Het gaat hierbij om zowel gassen uit hernieuwbare energiebronnen (groen gas) als om schoonfossiele gassen. In dit hoofdstuk wordt verder ingegaan op de eigenschappen en mogelijkheden van deze gassen.

Op dit moment is de politieke aandacht vooral gericht op groen gas (gas uit biomassa) als mogelijkheid om het gebruik van aardgas te verduurzamen. Er is echter grote concurrentie als het gaat om het gebruik van biomassa. Zo kan biomassa ingezet worden voor voedsel, biobrandstof, de productie van elektriciteit en dus ook voor groen gas. Een mogelijkheid die in Nederland nog weinig aandacht krijgt, is de productie van gas uit steenkool. Daarmee zou het gebruik van een fossiele bron mogelijk worden gemaakt, waarvan er nog zeer grote voorraden zijn en die vele toepassingen kent. De productie van gas uit steenkool is echter geen CO₂-vrije gasproductie, tenzij er waterstofgas van wordt gemaakt met opslag van CO₂. In het transitieproces kan deze productievorm een zinvolle toevoeging zijn aan het arsenaal van schonere brandstoffen.

9.1 Groen gas

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

9.1.1 Technische ontwikkelingen en indicatieve productiekosten

Er zijn twee verschillende technieken voor de productie van groen gas: de vergistingstechniek en vergassing. Hieronder wordt de

stand van de technologische ontwikkelingen van beide technieken toegelicht.

Vergisting

Alhoewel de vergistingstechniek commercieel wordt aangeboden, is deze nog niet uitontwikkeld. Door de te vergisten biomassa met verhoogde druk of verhitting voor te behandelen en door de toepassing van ultrasoon geluid tijdens de vergisting, wordt gewerkt aan de verbetering van conversierendementen. Een verlaging van de proceskosten kan gerealiseerd worden door het toepassen van nieuwe types reactoren en door niet-vergistbaar materiaal zo vroeg mogelijk af te scheiden.

In Denemarken en Zweden wordt vergisting al sinds ruim twee decennia op industriële schaal toegepast voor de productie van groen gas. In diverse Zweedse regio's (o.a. Göteborg) zijn er lokale systemen voor de vergisting, voor het opwerken van biogas en voor de lokale distributie van het geproduceerde groene gas naar tankstations.

De gebruikelijke schaalgrootte voor een industriële vergistingsinstallatie bedraagt op dit moment 100 tot 150 kton per jaar aan biomassa en een biogasproductie van 10 tot 18 miljoen Nm³ per jaar (Juliper, 2007). Hieruit kan netto (na aftrek van het eigen

gebruik) 6,5 tot 8,5 miljoen Nm³ per jaar aan groen gas worden geproduceerd.

De productiekosten voor groen gas uit biomassa bedragen € 0,15 tot € 0,17 per Nm³ (G-gas) aan procesgerelateerde kosten (afschrijvingen en operationele kosten exclusief biomassa) en € 0,25 tot € 0,30 per Nm³ (G-gas) wanneer wordt uitgegaan van co-vergisting van maïs (Welink, 2007). De aardgas-commodityprijs ligt op dit moment op € 6 tot € 7 per GJ of op € 0,19 tot € 0,22 per Nm³ (G-gas).

Vergassing

Op zichzelf is de productie van methaan uit synthesesgas een bewezen techniek. Bij deze techniek wordt bruinkool als brandstof gebruikt. Vergassing van biomassa is echter een, in ieder geval deels, nog in ontwikkeling zijnde techniek. Om een indruk van de stand van zaken te krijgen worden hieronder drie technieken behandeld.

1. Stoomvergassing (steam gassification) is op technische en semi-commerciële 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 stofwolkvergasser is een techniek die nog niet bewezen is. Bij de NUON Willem-Alexander centrale in Buggenum wordt vanaf 2008 hooguit 30% aan biomassa meevergast. De eigenschappen van biomassa in combinatie met de hoge temperatuur in de reactor (meer dan 1.400 °C) maken biomassa in onbewerkte vorm onaantrekkelijk voor deze techniek. Een mogelijkheid om dit obstakel te omzeilen is het pyrolyseren van de biomassa en de pyrolyseolie te vergassen. Hiermee zijn echter nog geen ervaringen opgedaan. Pyrolyse van biomassa en de inzet van enkel de olie (en geen pyrolysegas en char) houden ook een afname in van het conversierendement over de gehele keten van biomassa tot SNG. Olie vertegenwoordigt 50 tot 70% van de energie-inhoud van de biomassa.
3. Vergassing met zuurstof in een wervelbedreactor is op zich eind jaren tachtig al op commerciële schaal bewezen. De techniek is tot een maximale schaalgrootte van 750 MW-brandstof toepasbaar. Een installatie zou een jaarproductie van 12 tot 13 PJ SNG genereren. Investerings voor wervelbedvergassing met zuurstof zijn vergelijkbaar met de investeringen voor

stoomvergassing (ECN, 2005)¹². Het energetisch rendement bedraagt net als bij stoomvergassing ongeveer 65%. De operationele kosten, exclusief afschrijvingen en brandstofkosten, worden geschat op € 2,50 tot € 3 per GJ SNG. SNG-productie uit biomassa is dus niet direct realiseerbaar, maar zou volgens de planning wel binnen vijf jaar commercieel mogelijk moeten zijn. De meest relevante technieken hierbij zijn stoomvergassing en wervelbedvergassing met zuurstof.

9.1.2 Afzetmogelijkheden

In principe zijn er voor groen gas drie afzetmogelijkheden, namelijk levering aan het door Gas Transport Services (van N.V. Nederlandse Gasunie) beheerde hogedruknetwerk (HTL), levering aan regionale (RTL) en lokale, lagedruknetten en levering via een aparte pijpleiding of een apart netwerk.

De laatste twee opties zijn in Nederland al in gebruik (geweest) voor de afzet van opgewerkt stortgas dat afkomstig was van stortplaatsen, en voor opgewerkt biogas van GFT-vergistingsinstallaties. Er zijn verscheidene stortplaatsen die opgewerkt stortgas aan lokale bedrijven, of regionale of lokale aardgasnetten leveren (bijvoorbeeld de stortplaats in Wijster). De inmiddels gesloten vergistingsinstallatie in Tilburg leverde eveneens groen gas aan het aardgasnet. Voor levering aan het netwerk van Gas Transport Services zal groen gas in ieder geval aan dezelfde specificaties als elke andere aardgasbron (tabel 15) moeten voldoen.

	EDB ^{a)}	RTL ^{b)}	HTL (G-gas) ^{c)}
Druk (bar)	1,1 - 8,0	40	67
Wobbe-index (MJ/Nm ³)	42,7 - 45,2	42,7 - 47,1	43,5 - 44,4
Waterdauwpunt (°C) - voor G-gas	< -8	< -8	< -8
Zwavelgehalte (mg/Nm ³)	< 45	< 45	< 20
H ₂ S gehalte (mg/Nm ³)	< 5	< 5	< 5
Mercaptanengehalte (als mg/Nm ³ 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

Tabel 15 Specificaties van aardgas

^{a)} EDB = Energiedistributiebedrijven

^{b)} RTL = Regionaal Transport Leidingnet

^{c)} HTL = Hogedruk Transport Leidingnet

Voor syngas lijkt de afzet op het Regionaal Transport Leidingnet (RTL) en op het Hogedruk Transport Leidingnet (HTL) logischer vanwege de potentiële schaalgrootte van de installaties. Een 750 MW-brandstofinstallatie produceert jaarlijks zo'n 380 tot 410 miljoen Nm³ groen gas, een volume dat vergelijkbaar is met de jaarproductie van een grote GOS¹³. Vanwege de toegepaste techniek voldoet SNG aan alle criteria, behalve aan de eis van de Wobbe-index, omdat SNG uit pure methaan (Wobbe-index 52 MJ/Nm³) bestaat. Voor levering aan G-gas netwerken, maar ook voor de afzet als HL-gas (Wobbe-index 49,1 MJ/Nm³) zal stikstof bijgemengd moeten worden. Deze stikstof is op zich beschikbaar bij het toepassen van vergassing met zuurstof, omdat de luchtscheiding voor zuurstofproductie ook de mogelijkheid biedt om zuivere stikstof te produceren.

De productie van groen gas door middel van vergisting produceert bescheidener volumes - namelijk 6,5 tot 8,5 miljoen Nm³ per jaar - en daardoor is qua capaciteit ook levering aan regionale netwerken een reële mogelijkheid. Het opwerken van biogas tot voldoende droog en schoon groen gas is in principe reeds in de praktijk bewezen. Aan de Wobbe-index eis voor G-gas kan voldaan worden door een beperkt percentage CO₂ in het groene gas te laten: meer dan 7,5 vol% voor levering aan EDB-netwerken en meer dan 5,5 vol% voor levering aan RTL.

Aan biogas zullen er in de toekomst waarschijnlijk aanvullende eisen worden gesteld. Biogas bevat namelijk componenten die niet of nauwelijks in aardgas voorkomen. De invloed van deze componenten op de transport- en distributie-infrastructuur, gastoepassingen, de gezondheid, enzovoort is (nog) niet volledig bekend. Met het oog hierop is N.V. Nederlandse Gasunie in 2007 met het Europese BONGO-project (Biogas and Others in Natural Gas Operation) gestart, waarin het bedrijf deze invloed onderzoekt. Uit een recente Zweedse studie blijkt overigens dat biogas geen ziekteverwekkers zoals virussen bevat.

9.1.3 Beleidsambities van groen gas

De Nederlandse en Europese ambities voor de implementatie van groen gas zijn groot. Zo heeft de Europese Commissie haar lidstaten in 2003 al voorgeschreven om andere toeleveranciers op het aardgasnet toe te laten. Als reactie hierop is N.V. Nederlandse Gasunie gestart met het BONGO-project, waarin de mogelijkheden en beperkingen van andere toeleveranciers worden onderzocht.

In de Tweede Kamer zijn er verschillende moties over dit onderwerp ingediend, waarvan de belangrijkste waarschijnlijk de Motie Van der Ham is. Op basis van deze notitie heeft de werkgroep 'Groen Gas' van het Platform Nieuw Gas (PNG) haar update 'Groen Gas' geschreven. Het Platform Nieuw Gas is onderdeel van de Nederlandse Transitie Paden die ingesteld zijn om de Nederlandse energievoorziening de 21e eeuw in te leiden (o.a. met SenterNovem en ECN). De commissie Cramer heeft aanbevelingen gedaan over het gebruik van biomassa. Eén van de belangrijkste aanbevelingen is het opzetten van een certificatiesysteem voor groen gas, zoals dat nu reeds gehanteerd wordt voor groene stroom. Een andere ontwikkeling is het ondertekenen van het Manifest 'Nederlandse bedrijven werken aan duurzame gasinzet', door Eneco, Essent, Nuon, NAM en N.V. Nederlandse Gasunie.

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

9.1.4 Potentie

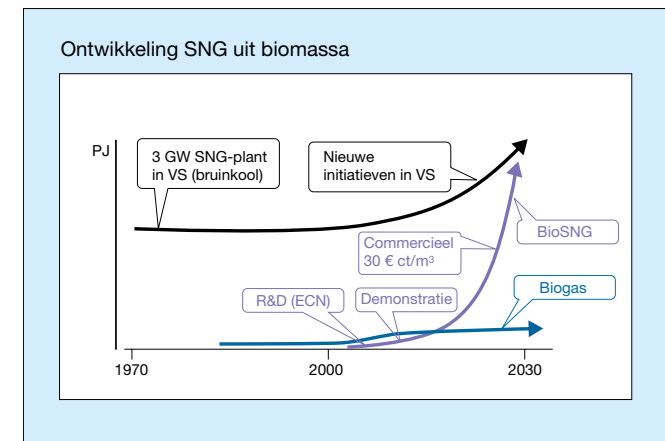
De potentie voor de productie van groen gas op basis van biogas bedraagt in Nederland volgens Welink (2007) zo'n 1,5 miljard Nm³ per jaar - dit is ongeveer 2% van de totale Nederlandse gasproductie. Dan zijn alle mest-, GFT-, swill- en reststromen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie net als bermgras en slootkantgras vergist en is er bovendien 90.000 hectare maïs specifiek voor vergisting geteeld. Een maximale productie van groen gas op basis van biogas houdt ook in dat er circa honderd grootschalige vergistingsinstallaties 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. Door de beschikbare volumes lijken de mogelijkheden begrensd. Een goede kwaliteit biomassa-brandstoffen, zoals nodig is voor vergassing, is ook gewild voor andere toepassingen zoals het meestoken in kolencentrales. Zo is er in Nederland ongeveer 1 Mton resthout en sloophout vrij beschikbaar (dit wordt geëxporteerd naar Duitsland) en komt er ongeveer 0,5 Mton aan hout uit bossen en andere terreinen. Samen is dit ongeveer 20 PJ aan biomassa; goed voor maximaal 14 PJ of ongeveer 0,5 miljard Nm³ (G-gas kwaliteit) groen gas. Het snoeihout is echter vaak al gecontracteerd voor bij-

voorbeeld de papierindustrie en het resthout wordt veelal reeds in Nederland als brandstof gebruikt of als zodanig naar Duitsland of Zweden geëxporteerd.

Het is nog maar de vraag of er importeerbare biomassa beschikbaar is. De productiecapaciteit voor houtpallets bedraagt in Canada momenteel of binnenkort zo'n 6 Mton. Een aanzienlijk deel hiervan wordt naar de Verenigde Staten en naar Europese landen geëxporteerd. Zelf al zou Nederland hier de helft van kunnen contracteren, dan nog zou de hoeveelheid met een stookwaarde van 3 x 18,5 = 55 PJ/jaar en een potentiële SNG productie van 36 PJ (1,2 miljard Nm³ G-gas) hooguit 1,5% van de totale Nederlandse gasproductie zijn.

Samenvattend: het is duidelijk dat groen gas op basis van de huidige in Nederland en in het 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 dan ook geen gemakkelijke taak (figuur 32).



Figuur 32 Ontwikkeling SNG uit biomassa. Bron: ECN

9.1.5 Hoe groen is groen?

Voor wat het duurzaamheidsgehalte van groen gas betreft, geldt hetzelfde als voor het duurzaamheidsgehalte van biobrandstoffen. Organische reststromen zonder huidige marktwaarde maar met een nuttige toepassing vormen een bron van duurzame energie, al is aan

het gebruik van organische reststromen met een bestaande nuttige toepassing en aan geteelde biomassa milieubelasting verbonden. Deze belasting is in het ongunstigste geval vergelijkbaar met de milieubelasting die aan de inzet van het (door organische reststromen) vervangen aardgas is gerelateerd.

De productie van groen gas op basis van biogas biedt wel betere uitgangspunten voor een duurzame keten dan de meeste andere gangbare biomassatechnieken. Zo is er vanwege het hoge conversierendement van het vergistingsproces per hectare, een hoge opbrengst aan energie. Daarnaast biedt groen gas de mogelijkheid voor het gebruik van gewassen met een hoge opbrengst per hectare, zoals maïs, cassave en Soedangras. Deze gewassen kunnen eventueel in dubbele teelt per jaar worden verbouwd. Voorts kan met biogas de nutriëntenkringloop gesloten worden en wordt het watergebruik beperkt door een geschikte gewaskeuze, bijvoorbeeld cassave. Tot slot voorkomt de vergisting van mest de uitstoot van methaan uit mestopslag. De teelt van deze gewassen is qua grondbewerking echter wel intensief en vraagt per hectare om honderden kilo's aan nutriënten.

9.2 De productie van SNG uit kolen

De in paragraaf 9.1 beschreven route van SNG-productie uit synthese-gas is in principe toepasbaar voor alle vergasbare brandstoffen, dus voor biomassa maar ook voor turf, bruinkool, steenkool, olie en residuen van raffinage (petrocokes en visbreaker-residu). In deze paragraaf ligt de focus op de inzet van kolen, in Nederland maar ook in landen met grote kolenvoorraden en met een directe aardgastransmissieverbinding naar Nederland, zoals Polen.

9.2.1 Het proces

Vanwege de karakteristieken van steenkool (een laag gehalte aan vluchtige componenten en een lage reactiviteit) moet steenkool worden vergast met zuurstof. Indirecte vergassing, zoals bij biomassa, is voor steenkool geen optie. Processen die in de praktijk worden toegepast voor de vergassing van steenkool met zuurstof (en stoom), zijn stofwolkevergassing, wervelbedvergassing en het bewegend-bedproces. Bij het bewegend-bedproces en het stofwolkeproces ontstaat een gesmolten slak die zonder problemen als secundair bouw materiaal kan worden afgezet. De bij wervelbedvergassing geproduceerde as zal aanzienlijk lastiger af te zetten zijn en moet waarschijnlijk op een stortplaats gestort wor-

den. Tijdens de vergassing wordt steenkool omgezet in synthesesgas, dat voornamelijk uit CO en H₂ bestaat, zoals bijvoorbeeld het synthesesgas dat in de Willem Alexander Centrale in Buggenum wordt geproduceerd.

De productie van SNG uit synthesesgas bestaat uit drie stappen (Haldor Topsoe, 2007). Ten eerste de aanpassing van de H₂ ÷ CO-verhouding in het synthesesgas door middel van een watergas-shiftreactie tot een verhouding van 3 ÷ 1. Ten tweede de verwijdering van CO₂ en zwavelverbindingen door middel van rectisol, selexol of een vergelijkbaar proces. Tot slot de SNG-productie via methanatie van CO (CO + 3H₂ → CH₄ + H₂O) bij een druk van 25 tot 30 bar en een begintemperatuur van zo'n 250 °C. CO₂ dat uit geconditioneerd synthesesgas is afgevangen, is in principe beschikbaar voor ondergrondse opslag.

Het koud-gasrendement voor conversie bedraagt circa 60%. De efficiëntie van koud gas is voor vergassing circa 75%, terwijl de koud-gasefficiëntie voor de benodigde watergas-shiftreactie ongeveer 70% is. De SNG-productie heeft een koud-gasefficiëntie van 80% ten opzichte van de stookwaarde van het gebruikte en via de watergas-shiftreactie geconditioneerde synthesesgas.

De bij de exotherme watergas-shiftreactie en bij de methanatie-reactie vrijkomende warmte wordt weggekoeld, waarbij oververhitte hogedrukstoom ontstaat. In principe kan ook de warmte van heet, ruw synthesesgas uit de vergasser worden benut, maar het huidige inzicht is dat de hoge investeringen voor de syngaskoeler economisch niet opwegen tegen de baten uit de geproduceerde stoom en dat daarom het direct quenchen (zeer snel afkoelen) in een waterbad optimaler is. Bovendien zorgt quenchen ervoor dat alkalizouten en andere ongewenste verbindingen uit het gas gehaald worden. Sporen van resterende waterstof en CO worden verwijderd, waarna het overblijvende methaan voor injectie in het aardgasnet op druk wordt gebracht.

9.2.2 De stand der techniek

De productie van syngas wordt in de praktijk voornamelijk gebruikt als methode om gas bij waterstof- en ammoniakproductie te zuiveren. De SNG-productie, uit op basis van steenkool geproduceerd syngas, wordt mondiaal echter hier en daar ook op commerciële schaal toegepast voor het leveren van aardgas aan lokale gasnet-

ten. Een bekend voorbeeld hiervan is de White Plains SNG-fabriek in North Dakota in de Verenigde Staten. Deze fabriek produceert synthetisch aardgas op basis van bruinkool. De daarbij overblijvende CO₂ wordt enkele honderden kilometers verderop in Weyburn in Canada voor oliewinning gebruikt. Het vergassen van steenkool is een bewezen technologie die onder meer in Nederland in commerciële installaties wordt toegepast. ■

10. Discussies over de plaats van aardgas in de energievoorziening

In de vorige hoofdstukken is aangegeven dat er in onze toekomstige energievoorziening een belangrijke rol is weggelegd voor aardgas. Maar dit is wel een andere rol dan de huidige. Hierbij rijst de vraag of we ons aardgas moeten bewaren of juist snel moeten opmaken. Op de Amerikaanse, Britse en Belgische markt houdt de koppeling van de aardgasprijs aan de prijs van olie direct verband met de concurrentie tussen huisbrandolie en aardgas als brandstof voor ruimteverwarming. In de meeste noordwestelijke EU-landen is het aardgasnet echter 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, niet beter in de grond kan blijven in plaats van opgepompt en verkocht te worden. In 1931 formuleerde econoom Harold Hotelling zijn 'Hotelling rule', die stelt dat de winning van een niet-hernieuwbare grondstof (zoals aardgas) vanuit economisch perspectief optimaal plaatsvindt als de prijs van die grondstof jaarlijks gemiddeld stijgt met het (reële) rentepercentage. Hotelling stelt 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 als een belegging gezien die evenveel moet opleveren als andere, gelijkwaardige beleggingen. Anders gezegd: zolang het uit de grond halen van gas meer oplevert dan het nog even te laten zitten, moet je meer winnen. Als de prijs te laag wordt, kan het gas beter nog even in de grond blijven.

10.1.1 Empirisch niet waarneembaar

Een implicatie van Hotellings theorie is dat de prijzen van grondstoffen in de loop van de tijd zullen moeten stijgen. In een markt met vrije toetreding zal de prijs dus gemiddeld genomen moeten

toenemen met de marktrente. Immers, als de prijs sneller stijgt, zullen alle eigenaren de winning nu laten afnemen om later van de prijsstijgingen te kunnen profiteren. Gaat de prijs minder snel omhoog, dan zullen producenten de winning juist nu opvoeren en zullen toetreders hun kapitaal in die winning willen beleggen.

Empirisch valt een dergelijk patroon echter niet waar te nemen. Zoals in De Bruyn (2000) is geanalyseerd worden tijdelijke prijsstijgingen vaak onomkeerbaar gevolgd door prijsdalingen. Dit komt omdat de prijsstijgingen de ontwikkeling en toepassing van zuinigere technieken of gedrag stimuleren. Bovendien doen zij de exploratie toenemen, omdat door een daling van de verhouding tussen zoekkosten en verwachte opbrengsten, marginale velden plotseling wel rendabel worden en er nieuwe velden worden gevonden. Ook vindt door de prijsstijgingen substitutie plaats 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 of om het op te pompen. Daarbij komt ook dat er - in het geval van fossiele energie - een relatie is tussen de marktrente en het prijsverloop van de grondstoffen. Als de prijzen van energie sterk stijgen, gaat de rente waarschijnlijk omhoog omdat geld schaarser wordt, en vice versa. De theorie

van Hotelling gaat ook niet uit van het idee dat in de economie vooral verwachtingen belangrijk zijn. Victor (1991) heeft in dit verband gewezen op de techniekparadox van de rationele verwachtingen: als iedereen verwacht dat de prijzen in de toekomst zullen stijgen, wordt er veel geïnvesteerd in zuinige techniek en exploratie, met als gevolg dat de vraag minder zal groeien dan verwacht en dat de prijsstijging zich niet voordoet. Als niemand verwacht dat de prijzen in de toekomst zullen stijgen, blijven investeringen in de techniek uit en zullen de prijzen juist omhooggaan omdat er ondergeïnvesteerd is in exploratie en zuinige techniek.

10.1.2 Maatschappelijk rendement

Hotelling (1931) veronderstelt dat de beslissing van een individueel bedrijf om een grondstof wel of niet uit de grond te halen, ook voor de maatschappij een optimale beslissing is. Sinds de jaren zeventig wordt ervan uitgegaan dat dit niet altijd het geval hoeft te zijn. Vooral met betrekking tot intergenerationele rechtvaardigheid is erop gewezen dat de bestaande generatie teveel belang kan hechten aan consumptie (gefinancierd door de exploratie en productie van grondstoffen) en te weinig aan investeringen. Hartwick (1977) stelde de vraag hoe voorkomen kan worden 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 verondersteld wordt dat toekomstige generaties puur in inkomen geïnteresseerd zijn, en dat de waarde van natuurlijke hulpbronnen slechts wordt afgemeten aan hun vermogen om inkomsten te genereren (met andere woorden: 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’, waarbij het dus vooral om randvoorwaarden met betrekking tot de bestemming van de opbrengsten van gas gaat.

Als er wél intrinsieke waarden verbonden zijn aan het gebruik van natuurlijke hulpbronnen, gaat de Hartwick-regel niet op. In dat geval zou Pearce (1990) pleiten voor ‘strong sustainability’: een bepaalde hoeveelheid van de natuurlijke hulpbronnen moet bewaard worden voor toekomstige generaties. Het lijkt er niet op dat dit principe van toepassing is op de gasbel in de grond:

naarmate de winning van gas natuurlijke hulpbronnen aantast, bijvoorbeeld door bodemdaling, kan de ‘strong sustainability’-regel wel opgeld doen.

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

10.2 De veranderende inzet van aardgas

De bijdrage aan verduurzaming van de energievoorziening zal voor iedere sector anders zijn door verschillen in de relatieve prijs van energie, de kosten van CO₂-reductie en/of energievraagbeperking, concurrentieoverwegingen en de bereidheid om voor schone energie te betalen. CE Delft verwacht dat de toenemende druk om de CO₂-uitstoot fors omlaag te brengen, in de gebouwde omgeving zal leiden tot een maximale inzet van hernieuwbare bronnen en in de industrie - door concurrentieargumenten - tot de opslag van CO₂. Door de nog steeds groeiende mobiliteitsbehoefte en het gebrek aan politieke weerbaarheid op dit punt zal de transportsector een stijgend beroep doen op de CO₂-emissieruimte en op de beschikbare vloeibare brandstoffen (olie en biobrandstoffen). Voor de rol van aardgas in onze energievoorziening ontstaat per sector dan het volgende beeld.

10.2.1 Transport

In de transportsector vervult aardgas als energiebron of als energiedrager nauwelijks een rol. Nu niet en in de komende decennia waarschijnlijk ook niet. De efficiëntiewinst van aardgasvoertuigen is laag ten opzichte van (de mogelijkheden van) benzine, LPG en diesel. Op korte termijn kan aardgas wel een rol spelen omdat het de luchtkwaliteit in steden snel helpt te verbeteren, maar dat kan ook met de huidige dieselmotoren. Kan aardgas dan de voorbereider zijn voor groen gas of waterstofgas in de transportsector? Ook dat is niet waarschijnlijk omdat er makkelijkere toepassingen zijn om groen gas te gebruiken (bijvoorbeeld in de gebouwde omgeving). Wel zal de brandstofmix in de transportsector de komende

decennia sterk gaan veranderen. Daarbij gooien biobrandstoffen en elektriciteit hoge ogen. Aardgas kan als energiebron een rol spelen bij de productie van die elektriciteit, mits deze met een zeer hoog rendement wordt geproduceerd. De voordelen van aardgas als transportbrandstof voor dit moment hebben vooral betrekking op de ecotax die in vergelijking met de hoge accijns op diesel en benzine, zeer laag is.

10.2.2 Gebouwde omgeving

De gebouwde omgeving is een sector die aan het einde van de transitieperiode zonder economische schade geheel op hernieuwbare energie kan draaien. Nu al worden mondjesmaat nieuwe gebouwen opgeleverd die per saldo geen fossiele energie meer gebruiken. Deze trend wordt de komende decennia voortgezet en dat betekent een afnemende rol van aardgas als energiedrager in de gebouwde omgeving - eerst in de nieuwbouw, daarna in de herbouw en tot slot in de bestaande bouw. In deze deelsector zal het aardgasgebruik door een verhoging van de energie-efficiëntie (de HRe-ketel, de warmtepomp, zonnecombi, e.d.) dalen en op een gegeven moment groen gas worden. Gas zal voor grotere, bestaande woningen dus wel een rol als energiedrager blijven spelen, zij het een beperkte.

10.2.3 Industrie

Aardgas is als energiedrager uiterst geschikt om met zeer geringe verliezen grote hoeveelheden energie bij de industrie af te leveren, die daar efficiënt gebruikt worden. Geen stof, geen stank. Ondanks de efficiëntiesprongen die er in de industrie plaatsvinden, zullen er aan het einde van de transitieperiode nog steeds grote energiestromen voor stoom en kracht naar deze sector gaan. Dat zal gebeuren door middel van aardgas en elektriciteit. Bij de grootste industrieën, waar er geconcentreerd veel CO₂ vrijkomt, kunnen forse hoeveelheden CO₂ afgevangen en opgeslagen worden (20 Mton per jaar uit industriële processen).

10.2.4 Elektriciteitsproductie

In de elektriciteitssector wordt op dit moment een kwart van de fossiele brandstofinzet in Nederland omgezet in elektriciteit. Hiervan bestaat ruim de helft uit aardgas. Het gemiddelde rendement ligt op 45% maar kan technisch veel hoger (60% voor een STEG) liggen. Door de gecombineerde opwekking van warmte en kracht kan er ook nog, mits er een zo hoog mogelijk totaal-

rendement wordt bereikt, een forse efficiëntieverbetering worden behaald. Dit geldt zowel voor gebruikers in de industrie, als voor de glastuinbouw en huishoudens. Door de strengere milieueisen zal het steeds moeilijker en kostbaarder worden om in stedelijke gebieden zoals die in dichtbevolkt Nederland voorkomen, nog kolencentrales te plaatsen. De beprijzing van CO₂-emissies leidt bovendien tot een grotere concurrentiekracht van WKK-installaties. Door efficiëntieverbetering wordt elektriciteit uit aardgas bij een CO₂-prijs van € 40 per ton al interessanter. CO₂-opslag kan daar, indien haalbaar, mee worden gecombineerd (circa 40 Mton per jaar voor elektriciteitsproductie).

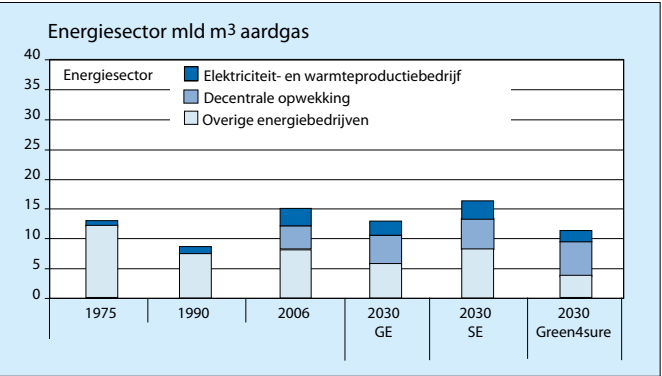
	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Elektriciteit
Groei	• Energie-extensieve groei	• Beperking groei mobiliteit	• Energie-extensieve groei	
Efficiëntie	• Isolatie • Zuinige apparaten	• Zuinige voertuigen	• Efficiënte processen	• Zuinige apparaten • Efficiënte centrales
Hernieuwbaar	• Bodemwarmte •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

Tabel 16 Toekomstige rol aardgas, hernieuwbaar en overig fossiel per sector (met CO₂-opslag)

In tabel 16 verschuift de huidige rol die aardgas in de gebouwde omgeving, de industrie en de elektriciteitsproductie speelt, naar de rol van energiedrager en bron voor de industrie, waar ook alle elektriciteit uit fossiele brandstoffen geproduceerd wordt. De energievraag is in alle sectoren als constant verondersteld, ervan uitgaande dat de efficiëntieverbetering de welvaartsgroei mogelijk

maakt. Het beeld dat hiermee ontstaat, is dat aardgas een energiedrager c.q. energiebron wordt voor de industrie en de elektriciteitsproductiesector. Het voordeel van aardgas is dat het op plaatsen kan worden geleverd die voor andere energiebronnen bijna onhaalbaar zijn (stoken met kolen midden in de stad komt alleen in Amsterdam en Nijmegen voor en kan in de toekomst waarschijnlijk heel moeilijk herhaald worden). De regelbaarheid, die nodig is bij een groot aandeel hernieuwbare elektriciteit, is bij aardgas ook uiterst goed, zodat WKK-toepassingen in zowel de industrie als in de elektriciteitsproductiesector voor de hand liggen. Het is goed denkbaar dat elektriciteitsbedrijven verplicht worden hun productie-installaties bij industriële bedrijven te plaatsen om zo de meest optimale WKK-installaties te verkrijgen. Een andere mogelijkheid is het invoeren van een heffing op het lozen van warmte in het oppervlaktewater.

10.3 Ontwikkelingen in de inzet van aardgas



Figuur 33 Inzet aardgas in beleidsscenario's

De bovenstaande figuur laat het gebruik van aardgas in de energiesector in het verleden en in de verschillende beleidsscenario's zien. Het is duidelijk dat aardgas in Green4sure in absolute termen een lagere inzet vergt dan in de overheidsscenario's GE en SE het geval is. In relatieve termen is de inzet wel groter. ■

11. Hoe kan aardgas de rol van transitiebrandstof spelen?

Nederlands aardgas is nog decennialang beschikbaar. Wereldwijde voorraden dekken een gebruiksduur van een halve eeuw of langer. Fossiele brandstoffen vormen in alle scenario's het fundament waarop de brug van overgang naar duurzame bronnen zal worden gebouwd. Aardgas is met zijn relatief gunstige eigenschappen voor de combinatie met andere energiebronnen de beste basis voor die transitie.

11.1 De rol van GasTerra

Als groothandelaar/leverancier van aardgas legt GasTerra zich toe op de inkoop van aardgas uit Nederlandse bronnen en een gedeelte import, en op de levering aan klanten in het binnenland en in de EU. Naast de levering van de beschikbare, Nederlandse gasvoorraden, kunnen er steeds meer contracten met buitenlandse beheerders van gasreserves gesloten worden. Gezien de gewoonte van GasTerra om zich intensief met de ontwikkeling van zuinige gastechnieken bezig te houden, zou dat echter te makkelijk zijn. GasTerra heeft een traditie hoog te houden. De inzet van aardgas zoals in dit boek beschreven is, vraagt aan de ene kant om inkoop van voldoende aardgas uit zoveel mogelijk bronnen, en aan de andere kant om het accepteren en zelfs bepleiten van een overheidsinstrumentarium om de transitie naar een duurzame energievoorziening mogelijk te maken. Ook moet daarbij geaccepteerd worden dat het gasgebruik in bepaalde markten (de gebouwde omgeving) afneemt en in andere sectoren (de elektriciteitsvoorziening) stijgt. Het past in de traditie van GasTerra om de ontwikkeling van zuinige technieken krachtig voort te zetten, bijvoorbeeld door een efficiëntieverbetering van de elektriciteitsproductie en door de ontwikkeling van installaties die hernieuwbare energie combineren met aardgas. Maar ook de ontwikkeling van groene gassen, met alle bijkomende problemen van duurzaamheid inbegrepen, komt hiervoor in aanmerking.

11.1.1 Technische ontwikkelingen

De steun van GasTerra aan nieuwe, zuinige gastoeepassingen voor kleinverbruikers zoals de HRe-ketel en de brandstofcel, is logisch en nuttig. Deze steun kan uitgebreid worden tot zonnecombi's, maar ook tot grootschalige WKK-toepassingen op basis van een STEG (dat wil zeggen het verhogen van het elektrisch rendement van het WKK-bedrijf, bijvoorbeeld van installaties met een vermogen van 50 MW), waardoor deze grootschalige installaties ondanks de hoge gasprijzen rendabel kunnen draaien. Daarbij zou het aantal technieken beperkt moeten worden tot strategische technieken, zoals HRe en WKK en moet er dus niet op alle mogelijke gastechnieken ingezet worden. Ook is het zinvol om gasinstallaties geschikt te maken voor een bredere wobbe-index, zodat op den duur ook andere gassen dan aardgas makkelijk ingezet kunnen worden.

11.1.2 Nieuwe gassen

De gasleverancier van de toekomst verkoopt niet alleen maar aardgas. En dus is het noodzakelijk dat GasTerra zich ook op andere gassen richt, zoals syngas en groen gas, misschien zelfs op gas dat andere calorische waarden heeft. Hierbij hoort dan ook het geschikt maken van gasinstallaties voor die andere gassen (een technische route voor een grotere inzetbaarheid), zodat op lokaal niveau ook andere gassen gebruikt kunnen worden.

11.1.3 Beleidscontext

Omdat aardgas de schoonste en minst CO₂-emitterende brandstof is en omdat GasTerra naar efficiëntieverbetering streeft, is er een beleidscontext nodig die dit streven beloont, zowel in de gebouwde omgeving als in de industrie en de elektriciteitsproductie. Het bijdragen aan zo’n beleidscontext was tot nu toe geen activiteit van GasTerra, maar past wel bij de taak van het bedrijf om serieus bij te dragen aan de rol van aardgas als transitiebrandstof. Daarbij moet zorgvuldig bepaald worden welke instrumenten het meest effectief zijn om die hogere rendementen te bereiken, zodat niet alleen GasTerra geld in innovaties investeert, maar ook andere partijen willen participeren (van ABB tot Daalderop). Er is dus een goede beleidscontext nodig voor zowel innovatie als voor implementatie. Met name een goede ondersteuning voor implementatie is belangrijk, want hierdoor zal de marktintroductie van innovaties waar GasTerra al van oudsher aandacht aan besteedt, gemakkelijker verlopen.

11.2 De rol van de overheid

De belangrijkste rollen voor de overheid om de transitie naar een duurzame energiehuishouding mogelijk te maken, worden in Green4sure beschreven. Er komt een prijskaartje te hangen aan milieuschadelijke emissies (CO₂ als NO_x, fijn stof e.d.) doordat zij aan plafonds gebonden worden. Zo ontstaat er een marktcontext die de hiervoor beschreven rol van aardgas niet per definitie, maar wel goed mogelijk maakt. Het 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 aan het maximaal inzetten op aardgas. Dat terwijl zij het gebruik van aardgas niet vanwege brandstofdiversiteit maximeert, en zij andere opties (zoals kernenergie en CO₂-opslag voor kolencentrales) niet met overheidsinvesteringen bevoordeelt. ■

Noten

1.

Petajoule = 10 tot de 15^e macht joule.

2.

In het overzicht zijn de voorraden gashydraten niet opgenomen, de totalen (reserves + ontdekt potentieel + nog niet ontdekt potentieel) zijn cijfermatig weergegeven.

3.

Er is in de figuur vanuit gegaan dat al het 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.

4.

In het overzicht zijn voorraden gashydraten niet opgenomen, de totalen (reserves + ontdekt potentieel + nog niet ontdekt potentieel) zijn cijfermatig weergegeven.

5.

Ten opzichte van het verbruiksniveau 2010.

6.

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

7.

Het KNMI laat zien dat, afhankelijk van het scenario, het aantal graaddagen in 2050 met 9 tot 20% zal zijn gedaald ten opzichte van 1990. Het aantal graaddagen is recht evenredig met de vraag naar ruimteverwarming.

8.

Deze energiedragers zijn koolstofloos, maar (nog) niet altijd zonder CO₂ bij productie. Biogas is weliswaar niet koolstofloos, maar het gaat hierbij om kortcyclische koolstof uit niet-fossiele bronnen.

9.

In HR-ketels zit een warmtewisselaar waarin de waterdamp wordt gecondenseerd uit de rookgassen die ontstaan bij de verbranding van aardgas. De warmte die daarbij vrijkomt, wordt afgestaan aan het verwarmingswater en opgeteld bij het rendement dat door de ketel
10.

Binnen de industrie wordt niet alleen aardgas als brandstof gebruikt, maar worden ook restproducten uit de productie, zoals chemisch restgas, als brandstof ingezet en verhandeld. Uit de energiebalans blijkt dat door deze interne productie de hoeveelheid gas die binnen de sector verbruikt wordt, hoger is.

11.

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.

12.

In dit boek worden de investeringen voor een 100 MW-brandstofinstallatie geschat op M€ 45 - M€ 50, een factor twee lager dan de indicatie voor de installatie die in het GoBiGas-initiatief voorzien is.

13.

GOS = Gas Ontvang Station. Hier wordt aardgas vanaf HTL en RTL overgeslagen op de regionale en lokale distributienetwerken.

Literatuurlijst

AER, *Brandstofmix in beweging*. Den Haag: Algemene Energieraad Advies, 2008.

Blom, M. e.a., *Stimuleringsbeleid WKK*. Delft: CE Delft, 2007.

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

CBS, Statline. (<http://statline.cbs.nl>) (2007).

CBS, Statline. (<http://statline.cbs.nl>) (2008).

Daniels, B.W. e.a., *Instrumenten voor energiebesparing: instrumenteerbaarheid van 2% besparing per jaar*. Petten: ECN, 2006.

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

ECN, Brandstofinzet elektriciteitscentrales. (<http://www.energie.nl/stat/trends-058.html>) (2007).

Energietech. (<http://www.energietech.info/hrketel/inleiding.htm>) (2008).

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

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

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

Haldor Topsøe's, *From coal to substitute natural gas using TREMP*. Lyngby (Denmark): Haldor Topsøe, 2007.

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

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

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

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

I-dacta. (<http://i-dacta.digibel.be/pages/accueillang.php?param=nl>) (2008).

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

Leguijt, C. e.a., *De rollen van aardgas in de transitie*. Delft: CE Delft en ECN, 2007.

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

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

Postema, I. (eindred.), *To C or not to C, that's the question...*. Rotterdam: Strategisch Platform ROM Rijmond R3, 2003.

Rooijers, F.J. e.a., *Energiebesparingsgedrag, verkenning t.b.v. Algemene Energie Raad*. Delft: CE Delft, 2006.

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

SEQ Nederland. (<http://www.seqnederland.nl/default.asp>) (20 november 2007).

Smokers, R.T.M., L.C. den Boer, J.F. Faber, *State-of-the-Art CO₂ en mobiliteit*. Delft: CE Delft, 2007.

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

Register

Aardgasconsumptie	22, 23	De Bruyn	53
Aardgasveld	21, 42	Diesel	14, 38, 45 - 47, 54, 55
Aardgaswinning	21	Duurzaamheidsgehalte	51
Af-fabriek	45	Ecotax	14, 55
All-electric	31, 32, 34 - 36	Elektriciteitscentrale	16, 17, 31 - 33, 40, 41
Autobrandstof	46	Elektriciteitsprijs	33
Basislastvoorziening	39	EPC	33 - 36
Beleidscontext	17, 58	EPC-eisen	35
Benzine	14, 38, 45, 47, 54, 55	EU-ETS	16
Bestaande bouw	8, 14, 30 - 32, 35, 36, 55	Exergie	41
Bewegend-bedproces	51	Fossiele brandstof	6 - 8, 11, 12, 15, 17, 19, 20, 34, 38 - 41, 44, 47, 55
Biogas	11, 31, 34, 35, 46 - 51	GasTerra	6, 9, 11, 18, 19, 20, 32, 57, 58, 64
Biomassa	8, 15, 20, 25 - 27, 35, 46 - 51, 55	Gasturbine	13, 19, 38, 40 - 43
Bodemwarmte	8, 15, 25, 55	Gas uit steenkool	48
BONGO-project	50	Gasvooraad	6, 9, 12, 13, 21, 23, 24, 57, 64
Brandstofcel	32, 38, 42 - 44, 57	Gaswarmtepomp	31, 33 - 35
Brandstofmix	14, 17, 54	Gebouwde omgeving	8, 9, 14 - 18, 27, 28, 30, 35, 40, 47, 54 - 58
Bussen	45 - 47	Glastuinbouw	11, 15, 17, 41, 55
CNG	45 - 47	Global Economy	8, 17, 30, 31, 34, 42
CO ₂ -afvang	35, 38, 42, 43	Green4sure	7, 8, 17 - 19, 24, 25, 27, 28, 31, 35, 56, 58
CO ₂ -opslag	8, 11 - 17, 55, 58	Groen gas	8, 9, 14, 15, 18, 20, 25, 47 - 51, 54, 55, 57
Combiwarmtepomp	31	GTL	38
Commissie Cramer	50	Hartwick	54
CV-ketel	32 - 34	Hernieuwbare energie	9, 11 - 17, 20, 26 - 28, 55, 57

Hoogwaardige warmte	27, 41
Hotelling	53, 54
HRe-ketel	14, 18, 28, 31 - 33, 35, 55, 57
Huisbrandolie	53
Industriesector	37, 38
IPCC	12
Kernenergie	15, 16, 27, 28, 44, 55, 58
Koeling	31, 34
Kolen	6, 9, 11, 14 - 16, 21, 27, 28, 34, 39, 41, 44, 51, 55, 56
Koolstofloze energiedrager	31, 34, 35
Leveringszekerheid	16, 17, 18, 25, 27
Life-cycle analysis	46
LNG	13, 23, 24
LPG	14, 45, 46, 54
Methanatie	52
Micro-WKK	8, 13, 14, 28, 32, 33, 43
Motie Van der Ham	50
Nieuwbouw	8, 14, 30, 31, 35, 36, 55
NO _x	12, 16, 17, 34, 41, 43, 44, 47, 58
OGP	23, 24
Ondervuring	37, 38, 39
ORC	32
Ottomotor	45, 46
Pearce	54
Personenauto	45, 47
Post-combustion-techniek	42
Pre-combustion-techniek	42
Pyrolyse	49
Quenchen	52
Restwarmtelevering	31, 34
Retrofit	45
Ruimteverwarming	30, 33 - 35, 53
SNG	49 - 52
Steenkoolvergassing	38
STEG	9, 13, 14, 15, 17, 19, 27, 28, 33, 38, 40 - 44, 55, 57
Stichting Slim met Gas	19
Stirlingmotor	32, 33
Stofwolkvergassing	51
Stookolie	39, 44, 45
Stoomvergassing	49
Stortgas	49
Strong Europe	8, 17, 30, 42

Strong sustainability	54
Syngas	9, 35, 47, 50, 52, 57
Synthesegas	49, 51, 52
Tank-to-wheel	45, 46
Techniekparadox	54
Transitie	6, 7, 9, 11 - 13, 18, 19, 35, 36, 48, 50, 57, 58
Transport	8, 14, 15, 50, 54, 55
Trias energetica	25, 26
Utiliteitsbouw	30, 34 - 36
Vergassing	48 - 52
Vergisting	48 - 51
Victor	54
Voorzieningszekerheid	13, 16, 17, 19, 20, 44
Warmtekracht	40
Warmtekrachtkoppeling	37, 38, 42
Warmtelozingen	16, 18
Warmtepomp	31 - 33, 34, 55
Watergas-shiftreactie	52
Weak sustainability	54
Well-to-wheel	45, 46
Werkgroep ‘Groen Gas’	50
Wervelbedvergassing	49, 51
White Plains	52
Windenergie	25
WKK-installatie	9, 14 - 18, 26, 38, 39, 41 - 43, 55, 56
Wobbe-index	49, 50
Woningbouw	30, 31, 34
ZEPP	42, 43
Zonnecombi	15, 55
Zonne-energie	25, 27

Corporate statement GasTerra

GasTerra is een internationaal opererende handelsonderneming in aardgas. De onderneming is werkzaam op de Europese energiemarkt en heeft een belangrijk aandeel in de Nederlandse gasvoorziening. Daarnaast biedt GasTerra aan de gashandel gerelateerde diensten aan. De onderneming heeft een sterke inkooppositie en meer dan veertig jaar ervaring met de in- en verkoop van aardgas.

GasTerra vervult een publieke taak met betrekking tot de uitvoering van het kleineveldenbeleid van de Nederlandse overheid. Dit beleid is gericht op de bevordering van de productie van Nederlands aardgas uit de kleinere gasvelden. Vanuit een klantgerichte houding wordt gestreefd naar bestendige relaties met marktpartijen en naar verkoopovereenkomsten, waarin de marktwaarde van het aardgas en bijgeleverde diensten tot uiting komt.

GasTerra zet in op duurzame ontwikkeling als fundament voor strategie en acties. De economische waarde en het maatschappelijk belang van aardgas als energiebron geven de onderneming een belangrijke rol in de benutting van de binnenlandse gasvoorraad en de energievoorziening in Nederland en de Europese Unie (EU). GasTerra bevordert een veilige en doelmatige inzet van aardgas en is actief in de ontwikkeling van verdere toepassingen. Het bedrijf onderkent het grote belang van het transitietraject naar een duurzame energievoorziening en initieert projecten in dit kader.

GasTerra's handelen is gebaseerd op een gedragscode, waarbij de waarden integriteit en respect de leidraad vormen.

De wereld van aardgas

De wereld van aardgas is een initiatief van GasTerra, Nederlands grootste handelsbedrijf in aardgas en derde grootste leverancier in de Europese Unie. Onder deze aanduiding verschijnt een serie boeken over de betekenis, de toepassingen en de toekomst van aardgas. GasTerra wil hiermee - in deze tijd van complexe discussies over het klimaat, CO₂-effecten, energiegebruik, energievoorraden en technische mogelijkheden - eenieder die werkzaam is in de energiesector of die erin geïnteresseerd is op de hoogte houden van de feiten over en de stand van zaken van aardgas.

Aardgas als transitiebrandstof

'Aardgas als transitiebrandstof' is de eerste uitgave in de reeks *De wereld van aardgas*. In dit boek wordt inzicht gegeven in de huidige stand van zaken met betrekking tot de inzet en mogelijkheden van aardgas in het overgangstijdperk naar duurzame energiebronnen. In de reeks staan onder andere vervolgitgaven over warmtekrachtkoppeling en over de geschiedenis en toekomst van aardgas in Nederland op stapel.

Kennis is vermogen. Een vermogen dat GasTerra graag wil delen.

ISBN 978-90-79147-03-8



9 789079 147038 >