

**De wereld van aardgas**

# Groen Gas

De rol van groen gas in de Nederlandse energievoorziening



**De wereld van aardgas**

# Groen Gas

De rol van groen gas in de Nederlandse energievoorziening

**GasTerra / Castel International Publishers**  
Groningen, The Netherlands

# Inhoud

Dit boek is een uitgave van GasTerra b.v. en is samengesteld onder redactie van Business Development Holland b.v. te Harderwijk (BDH) en Energy Matters b.v. te Driebergen (EM). BDH is een expertorganisatie op het gebied van strategie-ontwikkeling en marketingcommunicatie voor utiliteit-, woningbouw- en energiesector. EM is een adviesbureau op het gebied van energiestrategie en lokale energievoorziening.

**Auteurs:** Paul Friedel (Energy Matters), Peter Goudswaard (Energy Matters), Sander Peters (Energy Matters), Sjoerd Sloterdijk (BDH), Peter Wagener (BDH)

**Redactie GasTerra:** Anton Buijs, Henk Ensing, Gerard Martinus, Hans Overdiep

**Reviews:** Marco Linders (TNO Energie), Johan van Groenestijn (TNO Energie)

**Eindredactie:** Benne Holwerda (tekst), Paul Friedel (beeld)

**Figuren en illustraties:** De bronnen van de figuren en illustraties zijn in de bijschriften vermeld. De auteurs zijn hierbij zo zorgvuldig mogelijk te werk gegaan. Indien bronnen toch niet correct vermeld zijn, ontvangen wij hierover graag een melding.

**Concept en realisatie:** Castel International Publishers

**Vormgeving:** Eldad Groenman, Sylvia Sopamena (Castel Communicatie)

© 2013 GasTerra / Castel International Publishers

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeleenvoudigd, 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 978-90-79147-16-8

NUR 600

[www.bdho.nl](http://www.bdho.nl)

[www.energymatters.nl](http://www.energymatters.nl)

[www.castel.nl](http://www.castel.nl)

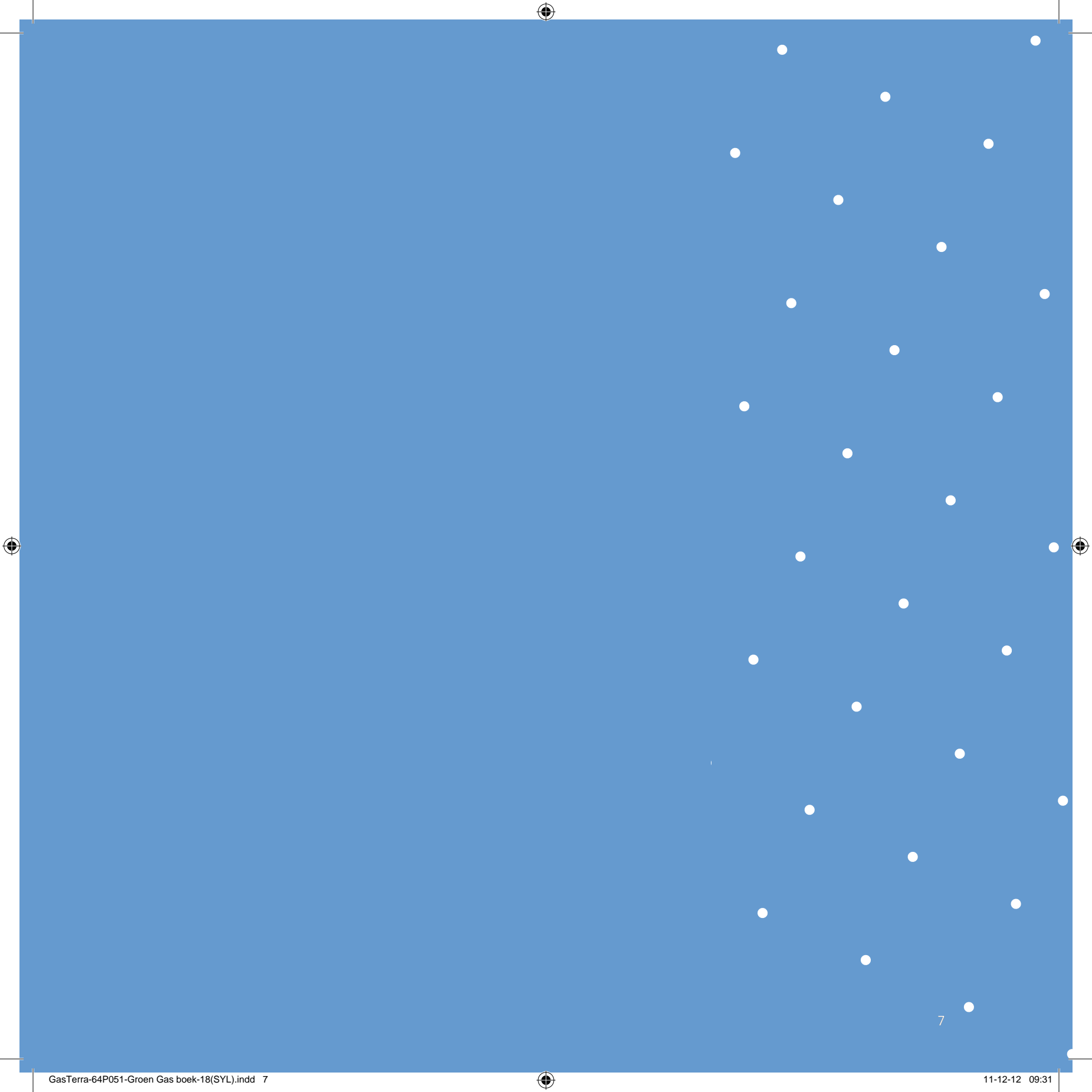
[www.gasterra.nl](http://www.gasterra.nl)

<b>Voorwoord</b>	<b>8</b>
<b>Hoofdstuk 1 Groen gas in Nederland</b>	<b>11</b>
1.1 Gas in Nederland	11
1.2 Groen gas - verduurzaming van een fossiele energiebron	12
1.3 Aardgas en energietransitie	13
1.4 Slimme netten	13
1.5 Definities	15
1.6 Leeswijzer	15
<b>Hoofdstuk 2 De waarde van biomassa en groen gas</b>	<b>19</b>
2.1 Biomassa en de koolstofketen	19
2.1.1 Het ontstaan van fossiele brandstoffen	20
2.1.2 De koolstofketen	20
2.2 De waarde van biomassa	22
2.3 Een praktische ketenbenadering: biomassaaffinage	24
<b>Interview Johan Sanders</b>	<b>26</b>
<b>Hoofdstuk 3 De duurzaamheid van biomassa</b>	<b>33</b>
3.1 Overzicht van biomassasoorten	34
3.2 Duurzaamheidscriteria	34
3.3 Nederlandse Technische Afspraak	41
3.4 Indeling van biomassa	41
3.4.1 Natte en droge biomassa - indeling op basis van vastestofgehalte	42
3.4.2 Eerste, tweede en derde generatie biomassa	43
3.4.3 Indeling op basis van herkomst	45
3.5 Geteelde biomassa	45
3.6 Reststromen	47
3.7 Geïmporteerde biomassa	50
3.8 Potentieel van biomassa	53
3.8.1 Stand van zaken in Nederland	54
3.8.2 Potentieel van biomassa in Nederland	55
3.8.3 Biomassa in mondiaal perspectief	56
<b>Interview Teun van der Weg</b>	<b>58</b>

<b>Hoofdstuk 4 Vergisting</b>	<b>65</b>
4.1 Vergistingsconcepten en de kwaliteit van biomassa	66
4.2 Het vergistingsproces in detail	69
4.2.1 Biochemische reacties van het vergistingsproces	70
4.2.2 Geroerde vergisters en propstroomvergisters	70
4.2.3 Procescondities	72
4.3 De vergistingsketen	75
4.3.1 Ontvangst en vooropslag	75
4.3.2 Voorbewerking en inbreng	75
4.3.3 Opvang en behandeling van biogas	77
4.3.4 Digestaatverwerking	77
4.4 Moderne ontwikkelingen: mestraffinage	79
<b>Hoofdstuk 5 Vergassing</b>	<b>83</b>
5.1 Vergassing: een oude bekende	83
5.2 Het principe van vergassing	84
5.3 Het vergassingsproces in detail	86
5.3.1 Reactortypen	86
5.3.2 Procescondities	90
5.4 De vergassingsketen	91
5.5 Innovatie: superkritische vergassing	91
<b>Interview Albert van der Molen</b>	<b>92</b>
<b>Hoofdstuk 6 Distributie van groen gas en biogas</b>	<b>99</b>
6.1 Gaskwaliteit als basis voor de Nederlandse infrastructuur	99
6.2 Kwaliteit van gas	101
6.3 Invoeden in het aardgasnetwerk	103
6.3.1 Gaskwaliteit	104
6.3.2 Druk en stroomsnelheid	104
6.3.3 Capaciteit van het netwerk	104
6.4 Opwaarderingstechnieken	106
6.4.1 Opwaardering van biogas	106
6.4.2 Opwaardering van productgas	108
6.5 Afzetroutes voor groen gas	109
6.6 Lokaal transport van biogas	110
<b>Interview Erik van Engelen</b>	<b>114</b>

# Inhoud

<b>Hoofdstuk 7 Eindproducten van biogas en groen gas</b>	<b>121</b>
7.1 Vergroening van aardgas	123
7.1.1 Elektriciteit	123
7.1.2 Warmte	123
7.1.3 Grondstof voor de industrie	123
7.1.4 Labeling van groen gas	125
7.2 Bio-wkk: lokale opwekking van elektriciteit en warmte	125
7.2.1 Techniek	125
7.2.2 Warmtebalans	125
7.2.3 De Organic Rankine Cycle	127
7.3 Rijden op groen gas	127
7.4 Vergelijking van eindproducten	129
7.4.1 Besparingen in substitutie van primaire energie	129
7.4.2 Substitutie van transportbrandstof	131
7.4.3 Maximale waarde uit biogas	132
7.4.4 Tot slot	132
<b>Hoofdstuk 8 Wetgeving en ondersteuning</b>	<b>135</b>
8.1 Wet- en regelgeving	135
8.1.1 Milieueffectrapportage (MER)	135
8.1.2 Regelgeving verbrandingsemissies	137
8.2 Ondersteuning en subsidie	139
<b>Hoofdstuk 9 Waterstof en groen gas</b>	<b>143</b>
<b>Bronverwijzing en literatuur</b>	<b>148</b>
<b>Register</b>	<b>150</b>
<b>Corporate statement GasTerra</b>	<b>160</b>



## Voorwoord



Nederland is bij uitstek een aardgasland. Maar dat zijn we niet vanzelf geworden. Na de vondst van het grote aardgasveld bij Slochteren in 1959 besloot de Nederlandse overheid om aardgas snel en groot-schalig in te voeren in onze energievoorziening. In een tijdsbestek van amper vijftien jaar vond een ware transitie plaats. Een energievoorziening die goeddeels op steenkool was gebaseerd, veranderde in de situatie zoals we die nu kennen, met aardgas als belangrijkste energiebron voor bijna alle marktsectoren. Daarbij heeft Nederland een schat aan kennis opgebouwd over deze relatief schone en flexibel inzetbare brandstof. En over het veilig en efficiënt gebruik ervan.

Dit boek gaat over groen gas. Het verschijnt in een periode waarin zich opnieuw grote veranderingen aandienen. Net als in de jaren zestig leven we in een transitietijdperk. Deze keer een transitie naar een nieuwe, zo duurzaam mogelijke, betrouwbare en betaalbare energievoorziening. Aan de basis van deze trend liggen zorgen over de verandering van het klimaat en over de zekerheid van de energievoorziening.

GasTerra is ervan overtuigd dat aardgas in de overgang naar een duurzame energievoorziening een belangrijke rol te spelen heeft. Niet alleen omdat het de schoonste fossiele brandstof is die flexibel ingezet kan worden, maar ook omdat aardgas op hoogst efficiënte wijze comfort brengt in nagenoeg alle Nederlandse huishoudens.

Mogelijk gaan de veranderingen in de Nederlandse energievoorziening nu wat minder onstuimig dan in de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw. Waar toentertijd sprake was van een snelle groei van het energiegebruik, is nu eerder sprake van stabilisatie of zelfs een lichte afname van de vraag. Desondanks heeft de huidige transitie een indrukwekkende omvang, te meer omdat ze een internationale impact heeft. Daarom is het zaak nu niet alleen te werken aan energietechnieken die pas in de verre toekomst hun vruchten afwerpen, maar ook aan schone en efficiënte technologie die ons in de tussenliggende tijd kan helpen toe te groeien naar die duurzame toekomst.

Vanuit dat perspectief en vanuit de visie dat aardgas als transitiebrandstof de pijler vormt voor een duurzame energievoorziening, kijkt GasTerra naar de ontwikkeling van groen gas. Op dit moment doen we in Nederland al veel praktijkervaring op met biomassavergisting en de inzet van groen gas. Die ervaring is van onschatbare betekenis als we op termijn goede keuzes willen maken voor het inpassen van nieuwe gassen in het Nederlandse aardgasnetwerk. Bovendien zal biogas in de toekomst, nog meer dan nu het geval is, een essentiële component zijn in de afvalverwerkingsketen. De techniek van biomassavergassing, nu nog vooral experimenteel, zal in de toekomst kunnen zorgen voor een verdere, aanzienlijke vergroening van de aardgasvoorziening.

De inzet van groen gas in combinatie met efficiënte technieken als warmtekrachtkoppeling en gaswarmtepompen levert qua duurzaamheid dubbele winst op. Daarom is het van belang dat Nederland zijn sterke energiepositie gebruikt om - op basis van de bestaande gasinfrastructuur - voor Nederland en Europa een uiterst efficiënte en betrouwbare energievoorziening op te bouwen.

Wij zien het als onze plicht om onze kennis op het gebied van de gasmarkt en gastehnologie te delen en zo het maatschappelijk debat over de energievoorziening te bevorderen. Om die reden hebben we in de afgelopen jaren de boekenserie 'De wereld van aardgas' uitgegeven. Dit boek over groen gas is het zesde deel in deze serie. Bij de voorbereidingen voor dit boek hebben we ervoor gekozen om het onderwerp groen gas in de volle breedte aan te pakken en de actuele discussie over biobrandstoffen niet uit de weg te gaan. Ook hebben we vier onafhankelijk experts gevraagd naar hun visie. Het resultaat is een boek dat het onderwerp van energie uit biomassa in een helder en reëel perspectief plaatst. Een veelbelovend perspectief ook. Want zoveel is zeker: de energievoorziening verandert en biomassa speelt daarin een steeds prominentere rol.

Gertjan Lankhorst  
CEO GasTerra



## Hoofdstuk 1

# Groen gas in Nederland

Groen gas – biogas met de kwaliteit en de verbrandingseigenschappen van aardgas – is volop in ontwikkeling. Groen gas is de verbindende schakel tussen het unieke fijnmazige gasnet in Nederland, oorspronkelijk aangelegd voor aardgas en een energievoorziening waarin hernieuwbare energiebronnen steeds meer de hoofdrol spelen. De geleidelijke invoering van groen gas maakt het mogelijk een deel van de traditionele gasvoorziening te verduurzamen én duurzame energie te bufferen in het gasnet. Groen gas speelt dan ook een belangrijke rol in het proces van energietransitie.

### 1.1 Gas in Nederland

De vondst van aardgas in Slochteren in 1959 betekende voor Nederland het begin van een grote omwenteling. De economie kreeg een impuls en de gehele Nederlandse energievoorziening veranderde in zeer korte tijd ingrijpend. Het Nederlandse energiesysteem, dat tot die tijd voornamelijk gebaseerd was op steenkool en stadsgas, werd in hoog tempo vervangen door een complete infrastructuur voor aardgas. Belangrijke argumenten bij deze snelle uitrol waren het transportgemak van aardgas, de goede regelbaarheid van gasinstallaties en de relatief geringe milieuvervuiling. De CO<sub>2</sub>-uitstoot speelde in de beginperiode van het aardgas nog geen rol, maar de verminderde uitstoot van fijnstof, roet, zwavel en stikstof (zeker ten opzichte van steenkool) werd meteen al gezien als een pluspunt.

In de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw werd in Nederland de meest fijnmazige gasinfrastructuur van Europa aangelegd (figuur 1). Deze unieke infrastructuur wordt sindsdien vrijwel uitsluitend ingezet om het aardgas zo efficiënt mogelijk af te leveren bij afnemers in de gebouwde omgeving, de elektriciteitsproductie en de industrie. In de gebouwde omgeving wordt aardgas voornamelijk ingezet voor ruimteverwarming en warm tapwater.

In de eerste decennia was de Nederlandse aardgassector betrokken bij de aanleg van gasleidingen tot ver in Europa. De verwachting was dat binnen afzienbare tijd nucleaire energie de betekenis van aardgas zou minimaliseren en Nederland wilde niet met een grote onbenutte aardgasreserve blijven zitten.



### 1.3 Aardgas en energietransitie

De doelstellingen van de Europese Unie ten aanzien van de verduurzaming van de energievoorziening vragen om een toenemende inzet van wind-, getijde- en zonne-energie in de lidstaten. Na een langzame start spelen deze duurzame of hernieuwbare energiebronnen een steeds belangrijker rol in de energievoorziening. De transitie richting duurzame energie is overduidelijk ingezet. Duidelijk is echter ook (zie figuur 3) dat Nederland in de eerste fase van de transitieperiode nog grote stappen moet maken, wil het de doelstelling van 16% duurzame energie in 2020 halen.

Groei en verdere ontwikkeling van duurzame energieopties zijn nodig. Aardgas speelt in deze transitieperiode een belangrijke rol bij het borgen van de continuïteit en de leveringszekerheid. Elektriciteitsproductie op basis van aardgas heeft het voordeel dat ze snel en direct regelbaar is. Gasgestookte elektriciteitscentrales zijn dan ook bij uitstek geschikt om eventuele tekorten in duurzaam geproduceerde elektriciteit op te vangen. Bovendien kan de technologie op bijna iedere schaalgrootte worden ingezet.

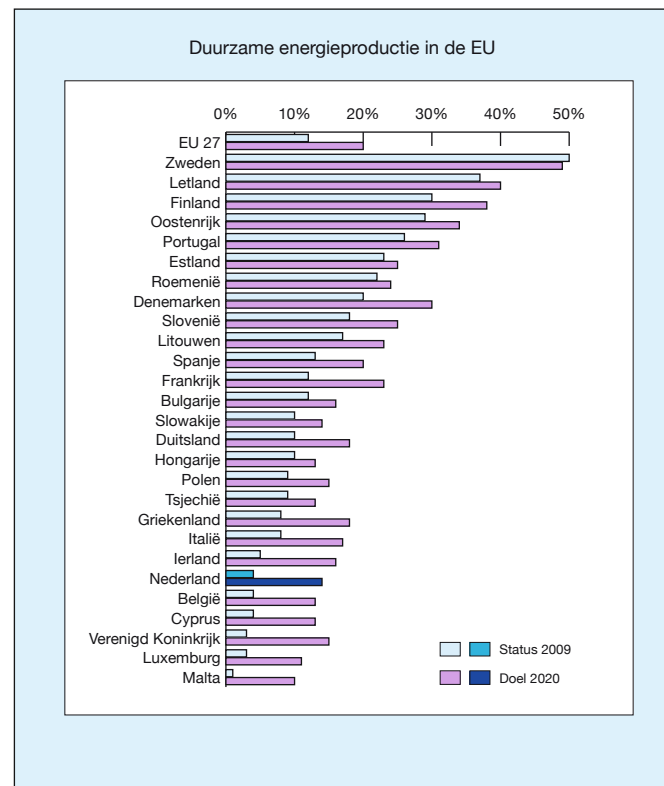
Aardgas kent in het gebruik als transitiebrandstof diverse voordelen:

- een hoge energiedichtheid
- goed transporteerbaar
- goed regelbaar
- relatief lage CO<sub>2</sub>-uitstoot bij verbrandingsprocessen (als gevolg van de relatief gunstige koolstof/waterstofverhouding, gunstiger dan bij aardolie en steenkool)
- relatief lage uitstoot van stikstofoxiden
- afwezigheid van zwavel
- geen bijdrage aan fijnstofproblematiek

Aardgas biedt een betrouwbare back-up voor kleinschalige én grootschalige toepassing van duurzame energie. Hetzelfde geldt voor groen gas. Het feit dat er een back-upvoorziening is, maakt de inpassing van duurzame energie eenvoudiger. Vooral in de gebouwde omgeving kan door de efficiënte inzet van aardgas ruimte ontstaan voor een groeiende toepassing van nieuwe duurzame energieopties. Zo kan aardgas het transitieproces versnellen en ondersteunen. De Nederlandse gasvoorraden zijn groot genoeg om de vraag gedurende een transitieperiode van enkele tientallen jaren te dekken.

### 1.4 Slimme netten

De verduurzaming van de energievoorziening is een reden te meer om zuinig te zijn op de Nederlandse infrastructuur en op de nog beschikbare eigen aardgasvoorraden. De mogelijkheid van ondergrondse opslag en het concept van de 'gasrotonde' zijn uitstekende uitgangspunten voor een energiesysteem dat garant staat voor een ononderbroken energievoorziening, ook bij extreme vraagpieken of bij plotselinge uitval van duurzame energieproductie.



Figuur 3 Duurzame energie (doelstellingen en status) in de Europese lidstaten als percentage van het primair energiegebruik.  
Bron: EurObserv'ER

Extra buffercapaciteit aan de productiezijde gaat in de toekomst hand in hand met flexibiliteit aan de gebruikerszijde. Hernieuwbare energie draait in feite de werking van het energiesysteem om: van volledig vraaggestuurd naar gedeeltelijk aanbodgestuurd. Het gebruik van energie zal in toenemende mate gekoppeld worden aan het moment van beschikbaarheid. Hiervoor worden de zogeheten slimme netten of *smart grids* ontwikkeld. In deze slimme netten zal aardgas de komende decennia een belangrijke rol spelen, door middel van de technologie van bijvoorbeeld warmtekrachtkoppeling (wkk) en hybride warmtepompen (een combinatie van een elektrische warmtepomp met een gasgestookte cv-ketel).

Niet alleen in Nederland, maar ook in landen als Italië, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk is deze ontwikkeling zichtbaar. Algemeen geldt dat, waar in de afgelopen jaren één energiedrager (aardgas) dominant was voor de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving, in de toekomst een palet aan energievormen en -technologieën beschikbaar zal zijn om in de behoefte van energiegebruikers te voorzien.



Figuur 4 Hybride warmtepomp, bestaande uit een elektrische warmtepomp en een gasgestookte cv-ketel. Bron: IthoDaalderop

Het gasnet biedt in dat palet mogelijkheden die voorheen niet werden herkend. Zo kan duurzaam opgewekte elektriciteit die niet direct gebruikt kan worden (grootschalige opslag van elektriciteit is immers nog niet beschikbaar) gebufferd worden in de vorm van waterstofgas. Dit waterstofgas kan zonder noemenswaardige problemen voor apparatuur en leidingmaterialen tot ongeveer 20 volumepercent worden bijgemengd aan aardgas. Recente praktijkproeven hebben dit uitgewezen [Kiwa Technology, 2012]. Een andere mogelijkheid is waterstofgas via een proces van methanisering om te zetten in groen gas. Zo ontstaat een 'ontkoppelpunt' in de energieketen.

Type gas	Beschrijving
Aardgas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gewonnen uit gasvelden, bevat voornamelijk methaan (<math>\text{CH}_4</math>)</li> <li>Chemische samenstelling wisselt</li> <li>Gasunie zorgt voor constante kwaliteit</li> </ul>
Groen gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verzamelterm voor SNG of opgewerkt biogas, stortgas of productgas</li> <li>Zodanige samenstelling dat het kan worden ingevoerd in het aardgasnetwerk</li> </ul>
Biogas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gas geproduceerd door middel van vergisting, bevat voornamelijk methaan (<math>\text{CH}_4</math>) en kooldioxide (<math>\text{CO}_2</math>)</li> </ul>
Stortgas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gasvormig product van stortplaatsen</li> <li>Samenstelling is vergelijkbaar met die van biogas</li> </ul>
Syngas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gas afkomstig van kolenvergassing</li> <li>Herkomst meestal fossiel</li> <li>Bevat voornamelijk waterstofgas (<math>\text{H}_2</math>) en koolmonoxide (CO)</li> </ul>
Productgas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gas geproduceerd door middel van biomassavergassing</li> <li>Bevat waterstofgas (<math>\text{H}_2</math>), koolmonoxide (CO), methaan (<math>\text{CH}_4</math>), kooldioxide (<math>\text{CO}_2</math>), waterdamp (<math>\text{H}_2\text{O}</math>) en hogere koolwaterstoffen (<math>\text{C}_x\text{H}_y</math>)</li> </ul>
SNG	<ul style="list-style-type: none"> <li>'Synthetic Natural Gas'</li> <li>Bevat voornamelijk methaan (<math>\text{CH}_4</math>)</li> <li>Geproduceerd via vergassing gevolgd door methanisering</li> </ul>
CNG	<ul style="list-style-type: none"> <li>'Compressed Natural Gas'</li> <li>Samengeperst aardgas met een druk van 200 - 250 bar</li> <li>Niet vloeibaar</li> <li>Vindt vooral toepassing als transportbrandstof</li> <li>Bio-CNG is CNG met biomassa als oorsprong</li> </ul>
LNG	<ul style="list-style-type: none"> <li>'Liquified Natural Gas'</li> <li>Aardgas dat door afkoeling tot <math>-162\text{ }^\circ\text{C}</math> vloeibaar is gemaakt</li> <li>In vloeibare toestand gemakkelijk (intercontinentaal) transporteerbaar</li> <li>Bio-LNG is LNG met biomassa als oorsprong</li> </ul>
LPG	<ul style="list-style-type: none"> <li>'Liquified Petroleum Gas'</li> <li>Bestaat uit lichte koolwaterstoffen (voornamelijk propaan (<math>\text{C}_3\text{H}_8</math>) en butaan (<math>\text{C}_4\text{H}_{10}</math>))</li> <li>Ontstaat bij de raffinage van ruwe olie</li> <li>LPG wordt onder druk opgeslagen om het vloeibaar te houden</li> </ul>
$\text{H}_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Waterstofgas               <ol style="list-style-type: none"> <li>gemaakt door <i>reforming</i> van aardgas bij hoge temperatuur (ca. <math>1000\text{ }^\circ\text{C}</math>)</li> <li>als bijproduct bij vergassing van biomassa of steenkool</li> <li>door middel van hydrolyse van water</li> </ol> </li> </ul>

Tabel 1 Definities van verschillende typen gas als energiedrager.

## 1.5 Definities

In de praktijk worden termen als ‘biogas’ en ‘groen gas’ nogal eens door elkaar gebruikt. Ze zijn echter niet onderling uitwisselbaar. Dit boek hanteert de volgende, algemeen aanvaarde benamingen voor verschillende gassen:

- Groen gas: dit is een verzamelterm voor biogas, productgas en stortgas, dat is opgewerkt tot aardgaskwaliteit en daardoor technisch onbeperkt inzetbaar is als directe vervanger van aardgas.
- Biogas: gas dat wordt geproduceerd door vergisting van biomassa.
- Productgas: gas dat wordt geproduceerd door vergassing van biomassa.
- Stortgas: het gasvormige product van vuilstortplaatsen, in samenstelling vergelijkbaar met biogas.

De naam ‘biogas’ wordt overigens vaak gebruikt voor alle gasstromen die duurzaam geproduceerd zijn. Biogas is daarmee een verzamelnaam voor biogas, stortgas en productgas. Dit boek volgt deze gewoonte ook, op sommige plaatsen wordt echter onderscheid gemaakt tussen de verschillende soorten biogas.

Tabel 1 geeft de definities van de verschillende gasvormige energiedragers [Platform Nieuw Gas, 2007]. Voor de volledigheid zijn ook enkele energiedragers opgenomen die in dit boek niet verder behandeld zullen worden.

## 1.6 Leeswijzer

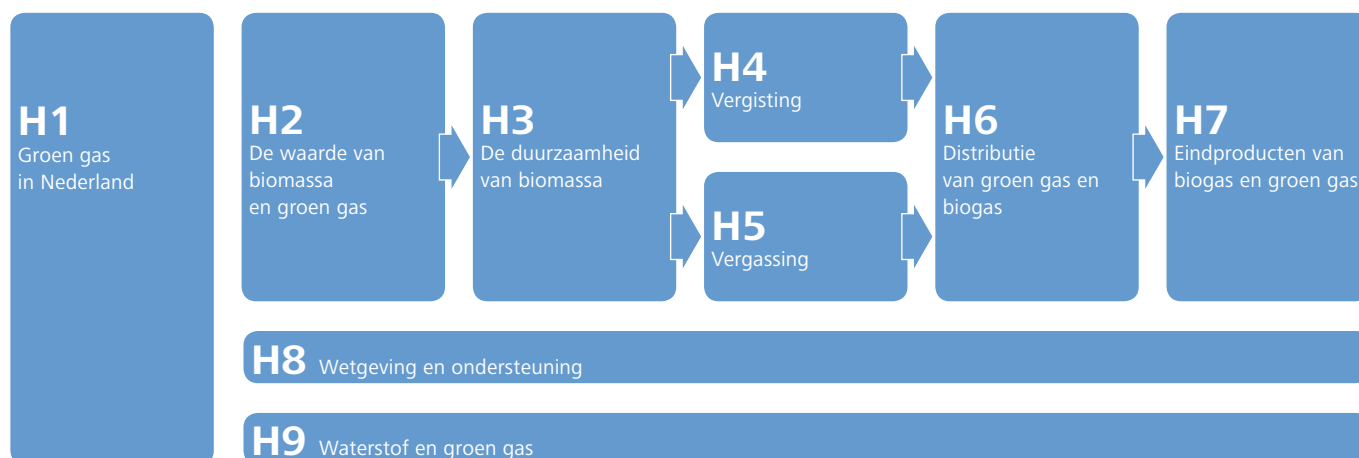
Dit boek gaat over groen gas. De hoofdstukken 2 tot en met 7 handelen over de herkomst van biomassa, de wereldwijde impact van biomassagebruik, beschikbare conversietechnieken, de invoeding van groen gas in het gasnetwerk en de verschillende visies op energie uit biomassa. In de meeste hoofdstukken worden bovendien enkele concrete voorbeeldprojecten beschreven.

De hoofdstukken 2 tot en met 7 van dit boek doorlopen de gehele groengasketen (figuur 5). De opbouw van het boek volgt deze keten stap voor stap. Bij iedere box van figuur 5 past een hoofdstuk.

**Hoofdstuk 2** schetst het onderscheid tussen het gebruiken van biomassa en het gebruiken van fossiele brandstoffen. Bij beide processen komt CO<sub>2</sub> vrij, maar de impact op de mondiale koolstofbalans is voor beide opties zeer verschillend.

**Hoofdstuk 3** beschrijft de verschillende soorten biomassa, de herkomst van biomassa en de criteria die gehanteerd worden om biomassastromen op hun duurzaamheid te beoordelen.

**Hoofdstuk 4 en 5** gaan over de volgende stap: de conversie van biomassa tot gas. Deze hoofdstukken beschrijven vergisting en vergassing, de belangrijkste conversiemethodes en hun kenmerken.



Figuur 5 De opbouw van dit boek: van biomassa tot gastoepping.

**Hoofdstuk 6** gaat over het al dan niet opwerken van biogas tot groen gas. Centraal daarbij staat de vraag wat de voor- en nadelen zijn van de verschillende opties: onbehandeld biogas lokaal gebruiken of opwerken tot groen gas en transporteren via het gasnetwerk?

**Hoofdstuk 7** behandelt ten slotte de toepassing van gas uit biomassa. Welke mogelijkheden liggen er voor productie van warmte of elektriciteit of voor het gebruik van groen gas als transportbrandstof of als grondstof voor de industrie?

**Hoofdstuk 8 en 9** gaan in op emissies en wetgeving en op de rol van waterstof in duurzame gastoeepassingen.

De ideeën over het gebruik van biomassa en gasproductie zijn niet statisch. Er bestaan verschillende visies op de betekenis van biomassa voor de energievoorziening. Om deze visies recht te doen, hebben de auteurs dit boek aangevuld met vier interviews waarin experts hun visie geven op gasproductie uit biomassa. De interviews zijn gelijkmatig verdeeld over het boek en zorgen voor afwisseling, nuancering en verdieping.

Alle hoofdstukken en de interviews kunnen ook zelfstandig gelezen worden. ■

*Nederlandse doelstelling: 3 miljard m<sup>3</sup> in 2030*

De doelstelling voor de Nederlandse overheid op het gebied van groen gas is vastgelegd in een zogeheten 'innovatiecontract'. Het innovatiecontract Groen Gas vat deze doelstelling samen als '10 x 10': tweemaal achter elkaar een vertienvoudiging van de productie. In concrete cijfers: van 30 miljoen m<sup>3</sup> (per jaar) groen gas nu (2012), zou de productie moeten oplopen naar 300 miljoen m<sup>3</sup> in 2015 en vervolgens tot 3 miljard m<sup>3</sup> in 2030. Als die doelstelling gehaald wordt, zou in 2030 zo'n 10% van het huidige jaarlijkse gasverbruik in Nederland gedekt worden met groen gas.





## Hoofdstuk 2

# De waarde van biomassa en groen gas

Voordat we ons in de volgende hoofdstukken verdiepen in de technische aspecten van biomassa en groen gas, besteden we hier aandacht aan de waardering van biomassa. De vraag waarom biomassa in potentie een duurzaam alternatief is voor fossiele brandstof, staat centraal. Ook bekijken we hoe we de inzet van biomassa kunnen optimaliseren. Er zijn immers vele mogelijkheden om nuttig gebruik te maken van biomassa. Productie van groen gas is slechts een van die mogelijkheden. De beschikbare hoeveelheid biomassa is niet oneindig en er moeten dus keuzes gemaakt worden. Wat is de beste manier om biomassa te gebruiken?

Het groeiende gebruik van biomassa als energiebron – buiten traditioneel gebruik voor koken en verwarming in ontwikkelingslanden (meestal met open vuur) – is een relatief nieuw verschijnsel. Daarom is de vraag hoe we de beschikbare biomassa verdelen over de verschillende toepassingen en gebieden in de wereld, nog niet beantwoord. Dit hoofdstuk zal dan ook geen expliciet antwoord geven op de vraag naar de optimale inzet van biomassa. Het is de bedoeling dat de lezer enkele handvatten aangereikt krijgt om zich een mening te vormen over dit thema.

### 2.1 Biomassa en de koolstofketen

Biomassa is een verzamelnaam voor een enorme verscheidenheid aan grondstoffen die met elkaar gemeen hebben dat ze van biologische oorsprong zijn. De grondstoffen kunnen van plant-

aardige of dierlijke afkomst zijn en worden sinds mensenheugenis gebruikt voor een brede diversiteit aan toepassingen: van voedsel of basismateriaal voor medicijnen tot bouwmaterialen en brandstoffen.

Dit boek behandelt de productie van gasvormige brandstof uit biomassa. Deze brandstof wordt vervolgens gebruikt om energie op te wekken in de vorm van warmte of elektriciteit, of wordt ingezet als transportbrandstof. Hiermee vormt groen gas dus een alternatief voor de traditionele inzet van fossiele brandstoffen voor energieproductie. Zowel bij de verbranding van biomassa als bij de verbranding van fossiele brandstoffen ontstaat  $\text{CO}_2$ . Toch wordt biomassa beschouwd als een duurzamere energieoptie. Om dat te verduidelijken behandelen we in dit hoofdstuk eerst het ontstaan van fossiele brandstoffen en de koolstofketen.

### 2.1.1 Het ontstaan van fossiele brandstoffen

Fossiele brandstof bestaat uit de resten van lang geleden afgestorven dieren en planten. In de loop van geologische tijdschalen kunnen deze resten inklinken en bedolven raken onder sediment. Door de hoge druk in deze sedimentaire gesteentelagen worden de organische resten in een miljoenen jaren durend proces omgezet in steenkool, aardolie en aardgas. Onder de zeebodem ontstaat uit plankton en ander zeeleven vooral aardolie en – in een later stadium – aardgas. Op land ontstaat in eerste instantie veen en daarna turf en bruinkool, wat vervolgens wordt omgezet in steenkool en aardgas.

Fossiele brandstof is dus in wezen biomassa, maar dan wel biomassa met een ouderdom van soms wel honderden miljoenen jaren. Gedurende deze lange periode is geleidelijk een deel van de organische koolstof op aarde ingevangen in de onderaardse brandstofreserves. Als de mensheid deze voorraden verbrandt, zoals ze nu in hoog tempo doet, komt de opgeslagen koolstof in een zeer kort tijdsbestek van enkele tientallen of hooguit honderden jaren vrij. Als de fossiele voorraden uitgeput zijn, duurt het miljoenen jaren voordat ze weer zijn aangevuld. Biomassa is een van de mogelijke alternatieven voor fossiele brandstof.

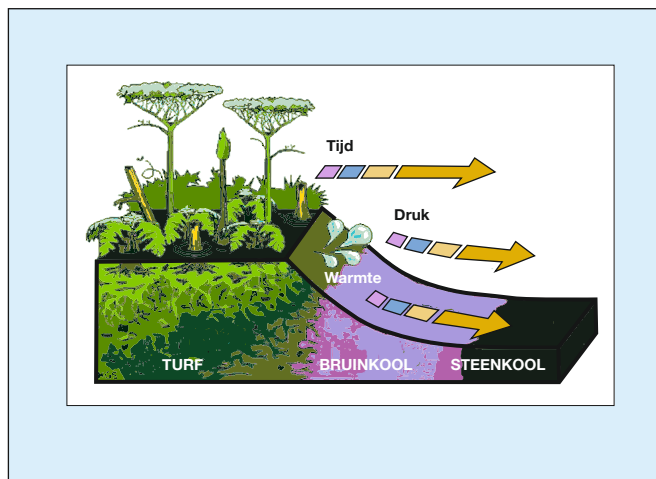


**Figuur 1** De verwerking van biomassa, hier in een houtzagerij. Energieproductie is niet de enige gebruiksmogelijkheid; hout kan bijvoorbeeld ook eerst als bouw materiaal worden gebruikt.

### 2.1.2 De koolstofketen

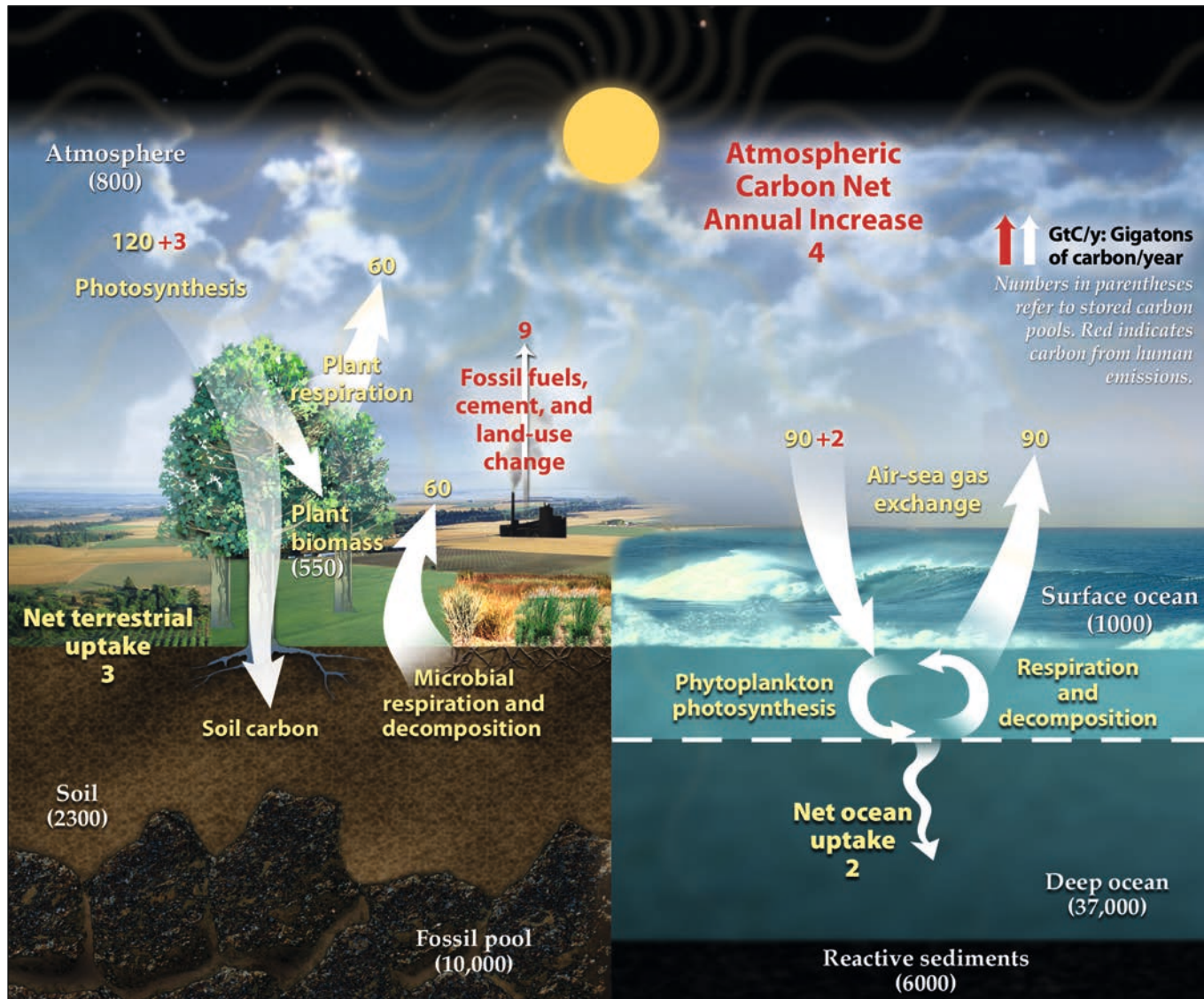
Zowel fossiele brandstof als biomassa is deel van de zogeheten 'koolstofketen'. Deze keten is weergegeven in figuur 3. De balans van de koolstofstromen in en op het aardoppervlak is van groot belang voor het leven op de planeet, dat op koolstof gebaseerd is. Daarnaast speelt koolstof in de vorm van  $\text{CO}_2$  (kooldioxide) een zeer belangrijke rol in de warmtehuishouding van de aarde. Er zijn op aarde verschillende 'bronnen' en 'afvoerputjes' (in het Engels: *sources* en *sinks*) van koolstof.

Als koolstof in vaste toestand gebonden wordt aan zuurstof ontstaat het gasvormige kooldioxide, ofwel  $\text{CO}_2$ . De koolstof die is ingevangen in fossiele brandstof, komt bij verbranding dus vrij als  $\text{CO}_2$ . Uit de figuur blijkt dat deze bron van  $\text{CO}_2$  een bescheiden component is in de totale koolstofkringloop. Deze  $\text{CO}_2$ -uitstoot komt echter boven op de natuurlijke  $\text{CO}_2$ -uitwisseling die op de aarde plaatsvindt. De afvoermogelijkheden voor  $\text{CO}_2$  zijn onvoldoende om alle extra vrijkomend  $\text{CO}_2$  (door verbranding van fossiele brandstoffen) te compenseren. Hierdoor wordt het evenwicht tussen de aanvoer en afvoer van  $\text{CO}_2$  verstoord: de concentratie van  $\text{CO}_2$  in de atmosfeer loopt langzaam op. Uiteindelijk



**Figuur 2** Het ontstaan van steenkool. Plantenresten in prehistorische bossen en moerassen vormen een dikke veenlaag, waaruit turf ontstaat. Onder invloed van druk en warmte vormt zich hieruit bruinkool en later steenkool en aardgas.

Bron: [www.peat-portal.net](http://www.peat-portal.net)



Figuur 3 De koolstofketen geeft de koolstofstromen in de vorm van biomassa en CO<sub>2</sub> weer. De getallen geven steeds de hoeveelheid koolstof in gigaton (GT) aan. De gele cijfers beschrijven de natuurlijke stromen (GT per jaar), de rode getallen geven de menselijke bijdrage (eveneens GT per jaar) weer. De witte getallen duiden de opgeslagen totale voorraden aan. De menselijke bijdrage aan de koolstofketen lijkt bescheiden, maar is toch voldoende om de balans te verstoren. Bron: Department of Energy (USA)

ontstaat bij een hogere temperatuur een nieuw evenwicht met een hogere atmosferische CO<sub>2</sub>-concentratie. Een hogere concentratie CO<sub>2</sub> zorgt weer voor een andere warmtehuishouding. Dit leidt tot een stijging van de wereldwijde gemiddelde temperatuur op het aardoppervlak en daarmee tot veranderingen in het klimaat.

Bij de verbranding van biomassa komt net zo goed CO<sub>2</sub> vrij als bij het gebruik van fossiele brandstoffen. Toch hoeft deze uitstoot niet tot een hogere atmosferische CO<sub>2</sub>-concentratie te leiden. Het CO<sub>2</sub> dat vrijkomt uit de biomassa, is immers in een relatief korte periode voorafgaand aan de verbranding aan de atmosfeer onttrokken om zo de groei van de biomassa mogelijk te maken. En bij de natuurlijke rotting van de biomassa zou het CO<sub>2</sub> sowieso ook deels weer vrijgekomen zijn.

Netto is er dus, gezien over een beperkte periode, in principe geen uitstoot van CO<sub>2</sub> bij de verbranding van biomassa. In de praktijk ligt dit wel een stuk genuanceerder. Er zijn vele tweede-orde-effecten waardoor biomassagebruik alsnog een negatieve CO<sub>2</sub>-balans kan krijgen. Denk bijvoorbeeld aan de effecten van grootschalige ontbossing of de drooglegging van *wetlands*.

Bij direct gebruik van biomassa, bijvoorbeeld het kappen van een boom of het oogsten van graan, is sprake van 'kortcyclische biomassa'. Gebruik van kortcyclische biomassa is dus in eerste instantie een betere optie dan het gebruik van 'langcyclische' fossiele brandstoffen.

In principe is het mogelijk om kortcyclische biomassa keer op keer te blijven gebruiken. Als de grondstoffenbalans in de bodem goed in stand wordt gehouden, kan steeds nieuwe biomassa groeien. Dit betekent dat de mineralen uit de biomassa weer worden teruggevoerd naar de bodem. Daarom is het mogelijk om kortcyclische biomassa duurzaam en hernieuwbaar in te zetten. In de praktijk is het vaak lastig om volledig duurzaam om te gaan met biomassa. Hoofdstuk 3 gaat hier verder op in.

## 2.2 De waarde van biomassa

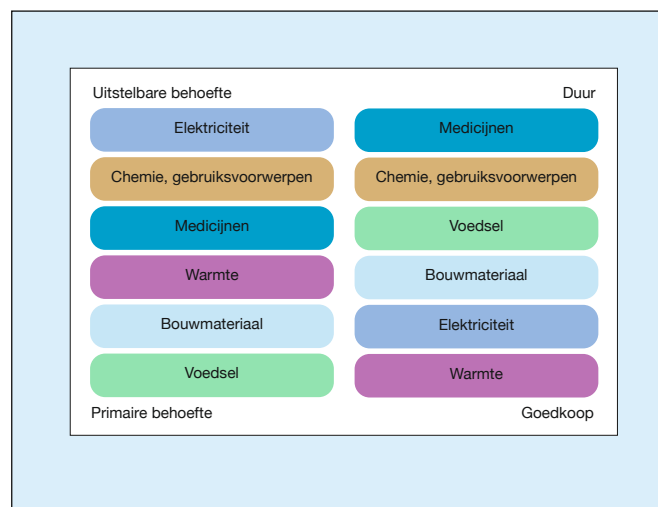
Dit boek behandelt bijna uitsluitend het gebruik van kortcyclische biomassa voor energietoepassingen. Er zijn echter vele toepassingen denkbaar voor biomassa. Het is daarom nuttig eerst eens te kijken op welke manieren we de mogelijkheden van biomassagebruik kunnen ontsluiten en hoe we een waardering kunnen geven

van de verschillende vormen van gebruik. Dit laatste is natuurlijk afhankelijk van wat de gebruiker belangrijk vindt.

De 'ladders' in figuur 4 geven enkele illustraties voor een mogelijke waardering. In de ladders zijn verschillende categorieën van biomassagebruik weergegeven: van voedsel en grondstof tot energie-opwekking. In de linker ladder is het gebruik van biomassa gesorteerd aan de hand van de behoeftevervulling van mensen. Functies die laag in de lijst staan, vervullen primaire behoeften. Hoe hoger op de ladder, hoe minder essentieel het biomassagebruik is.

De rechter ladder sorteert biomassagebruik aan de hand van de economische waarde van het eindproduct: energie is relatief goedkoop en staat dus onderaan; medicijnen, chemische producten en voedsel zijn juist relatief duur en staan bovenaan.

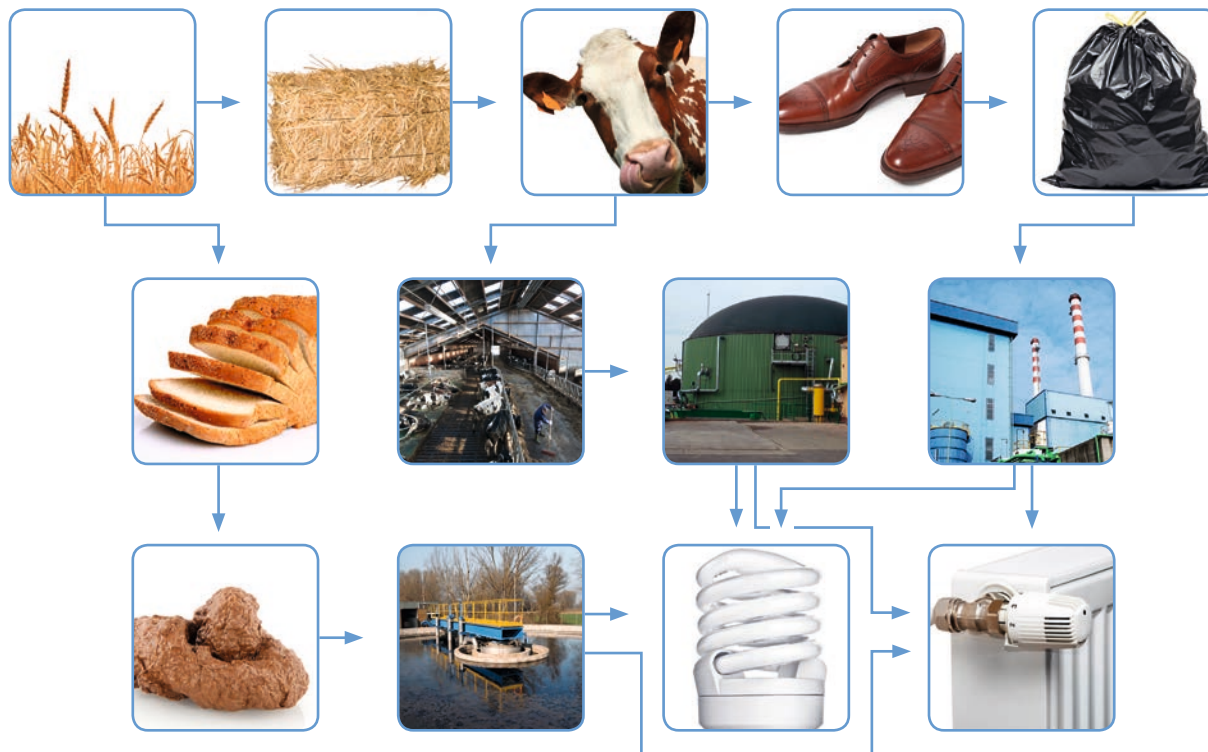
Uit deze voorbeelden wordt duidelijk dat verschillende waarderingen leiden tot een verschillende prioriteit voor het gebruiken van biomassa. De diagrammen dienen slechts als voorbeeld van een mogelijke 'waardebepaling'. In concrete gevallen kunnen afwegingen anders uitvallen, of zelfs onmogelijk zijn.



Figuur 4 De waardering van biomassagebruik kan leiden tot verschillen in prioritering. Links: sortering op grond van primaire levensbehoefte. Rechts: sortering op grond van de economische waarde van het eindproduct. Bron: *Energy Matters*

Duidelijk is dat de diagrammen (figuur 4) soms ook in tegenspraak met elkaar zijn. Het belang dat gehecht wordt aan de verschillende criteria, bepaalt dus deels het resultaat van de afweging. Dit soort diagrammen kan helpen om globale afwegingen te maken: mag energieproductie ten koste gaan van voedselvoorziening? Willen we algen gebruiken om biodiesel te maken of geven we de voorkeur aan algen als grondstof voor de industrie? Dit zijn zomaar enkele vragen die opkomen bij het denken over biomassa. Nog complexer wordt het als we bedenken dat soms cascades van biomassagebruik mogelijk zijn. Biomassa die eenmaal in warmte is omgezet door verbranding, is voorgoed verloren, maar hout voor bouwkundige constructies kan langdurig worden benut en kan daarna vaak nog hergebruikt worden. Zelfs indien biomassa als voedsel gebruikt wordt, is hergebruik

mogelijk: uit ontlasting en ander organisch materiaal worden in rioolwaterzuiveringen warmte en biogas gewonnen. Energieproductie moet dus concurreren met andere vormen van biomassagebruik. Tegelijk is de energievoorziening van levensbelang voor onze samenleving en is een vergroening hiervan noodzakelijk. Een oplossing kan zijn de ladders in figuur 4 als keten te beschouwen: waar mogelijk wordt biomassa ingezet voor hoogwaardige toepassingen, terwijl de reststromen van deze toepassingen worden gebruikt voor volgende sporten op de ladder, evenals de biomassastromen die in eerste instantie ongeschikt zijn voor de toepassingen met de hoogste waarde. Zo ontstaat een systeem waarbij de maximale waarde van biomassa in een cascade wordt ontsloten. In de huidige praktijk zien we deze integrale aanpak steeds vaker terugkomen.



Figuur 5 Een cascade van biomassagebruik. Van graan wordt brood gemaakt en uit de ontlasting wordt in de rioolwaterzuiveringsinstallatie energie geproduceerd in de vorm van warmte en elektriciteit. Parallel worden koeien gevoed, die melk, vlees en leer leveren. Via de afvalcentrale komt ook uit de leren schoenen nog energie. Bron: Energy Matters

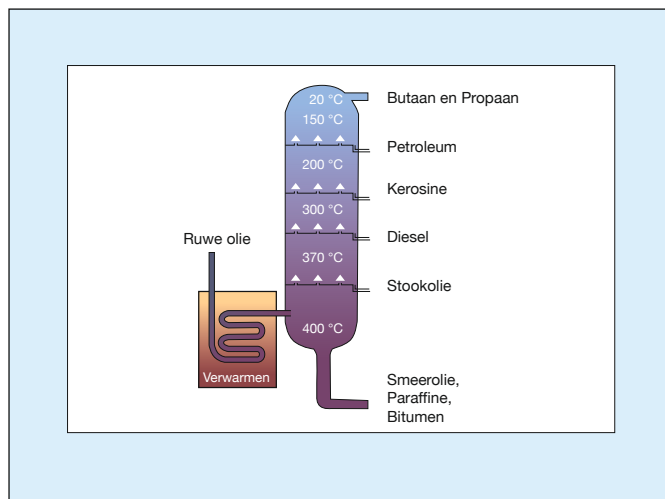
### 2.3 Een praktische ketenbenadering: biomassaraffinage

Om een indruk te krijgen van de mogelijkheden die een ketenbenadering biedt, gaat deze paragraaf in op een proces dat 'bioraffinage' heet. Bioraffinage is het verwerken van biomassa tot een verscheidenheid aan producten en energie. Het doel is de biomassa zo efficiënt mogelijk te verwerken, zodanig dat alle componenten worden gebruikt en het ontstaan van restproducten wordt geminimaliseerd. Hoe duurzaam bioraffinage is, hangt af van de grondstof. Niet alle biomassagrondstoffen zijn even duurzaam, zoals ook in dit boek duidelijk zal worden. Maar wanneer verschillende bioproducten en bio-energie worden geproduceerd door middel van biomassaraffinage, inclusief het recyclen van nutriënten naar de landbouw, neemt de toegevoegde waarde van biomassa hoe dan ook toe.

Bioraffinage is in veel opzichten vergelijkbaar met traditionele aardolieraffinage. Hierbij wordt de ruwe aardolie door destillatie gescheiden in talrijke fracties zoals benzine, diesel, kerosine, nafta en stookolie. Ook worden butaan en propaan (LPG) gewonnen. Een aantal van deze producten vindt zijn weg als grondstof voor de chemische industrie. Zo wordt nafta gekraakt tot bijvoorbeeld

etheen, propeen en butadien. Als restproduct blijft bitumen over, dat als grondstof dient voor asfalt. Op deze manier wordt de ruwe aardolie nagenoeg volledig benut.

Via een dergelijk proces is het ook mogelijk om biomassa uiteen te rafelen en de verschillende fracties te verwerken tot materialen, chemicaliën, transportbrandstoffen en energie. In zekere zin wordt bioraffinage al eeuwen toegepast. Voorbeelden van conventionele bioraffinage zijn de suikerindustrie, de zetmeelindustrie, de productie van plantaardige oliën, de voedingsmiddelenindustrie en de veevoederindustrie. Maar ook de productie van biobrandstoffen zoals bio-ethanol, biodiesel en biogas is een voorbeeld van bioraffinage. Het verschil met de aardolieraffinage is dat bij traditionele vormen van bioraffinage de nadruk ligt op het leveren van één hoofdproduct (suiker, zetmeel etc.). Er wordt verder weinig gedaan met de al dan niet waardevolle bijproducten. Voor een zo duurzaam mogelijke inzet van biomassa is volledige benutting echter wel belangrijk. Moderne bioraffinageconcepten slagen er steeds beter in biomassa maximaal om te zetten in nuttige producten. Toch kan hier vaak nog veel winst geboekt worden.



**Figuur 6** Een belangrijke stap bij aardolieraffinage is het destilleren. Na verwarming van de ruwe olie stijgen de gasvormige componenten op in de destillatiekolom. De temperatuur neemt naar boven toe af en hierdoor condensereren de verschillende producten elk op een andere hoogte. Zo ontstaat een scheiding van zware (onder) tot lichte (boven) aardolieproducten. Het rechter beeld toont destillatiekolommen in Pernis, het grootste raffinagecomplex van Europa. Bron: Energy Matters. Foto: Shutterstock

**VOORBEELDPROJECT***Kroos voor vee- en visvoer*

Voor de productie van 12 miljoen snijbloemen per jaar in een kascomplex van 20.000 m<sup>2</sup> produceert snijbloemkwekerij Franico in Hoogwoud (Noord-Holland) elk jaar 3 miljoen kuub biogas. Dit biogas wordt geleverd door een covergister, die Franico samen met een naburige veehouder heeft gebouwd. De installatie levert duurzame warmte en groene stroom aan de kassen. Inmiddels is aan de eigenaren een SDE-subsidie toegezegd voor een uitbreiding van de installatie. In 2013 zal de covergister 4,5 miljoen kuub biogas en 9 miljoen kWh groene stroom leveren, naast extra restwarmte ten behoeve van een kasoppervlak van in totaal 4 hectare.

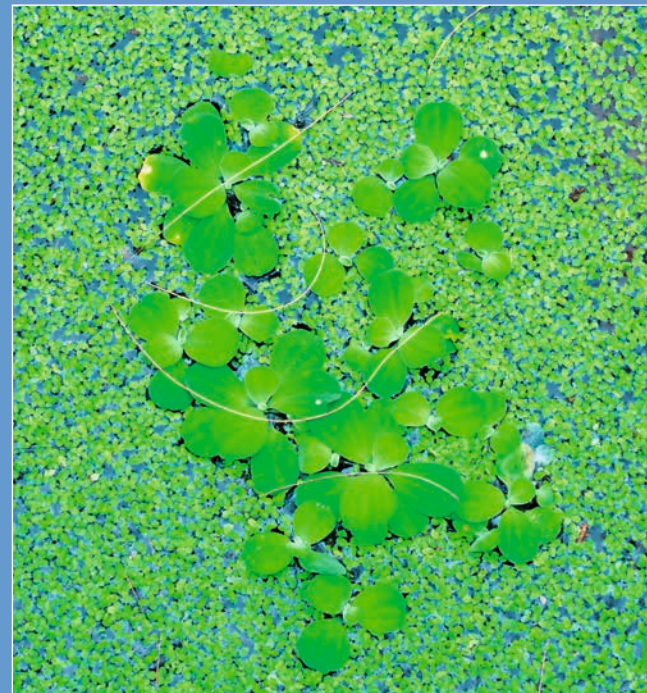
De rentabiliteit van veel covergisters staat onder druk doordat de prijs van coproducten fors is gestegen. Daarnaast zijn de opbrengsten (subsidies, vergoeding voor elektriciteit en warmte) relatief laag en de kosten voor het afzetten van het digestaat hoog. Volgens de mestwetgeving mag het restproduct uit de covergister niet volledig op eigen grond uitgereden worden.

Het kweken van eendenkroos biedt een slimme oplossing. De nutriënten en mineralen in het digestaat worden teruggewonnen door op het digestaat eendenkroos te kweken. Eendenkroos is zeer eiwit- en zetmeelrijk. Hierdoor is het uitermate geschikt voor de productie van vee- en visvoer. Omdat stikstof en fosfaat door het kroos worden opgenomen, neemt de milieudruk bij de afzet van het digestaat af. Daarnaast wordt de waterige fractie die op het riool geloosd moet worden, door het eendenkroos verder gereinigd. Wanneer het kroos kan worden ingezet als veevoer of als veevoersupplement, verlaagt dit de import van veevoer en van extra mineralen. De nutriëntenkringloop binnen Nederland wordt meer gesloten; het mest- en digestaatoverschot wordt teruggedrongen en in het buitenland (Brazilië) neemt de milieudruk door boskap en watergebruik af.

Eendenkroos is een hoogwaardig uitgebalanceerd eiwit- en zetmeelrijk vee- en visvoersupplement. Jaarlijks kan Franico per hectare tuinbouwkas 75 tot 100 ton (droge stof) aan eendenkroos produceren. Dit komt overeen met 30 ton (droge stof) aan eiwitrijke vee- en visvoervanger. Daarmee kan eendenkroos één op één de import van soja uit Brazilië vervangen. Dat levert een enorme besparing op van het kunstmest- en watergebruik in Brazilië. Tegelijk wordt het

drijfmest- en digestaatoverschot in Nederland verminderd. Al met al levert dit een flinke reductie van CO<sub>2</sub>-emissie.

Omdat het eendenkroos gekweekt wordt op digestaat uit een covergister – onder de huidige regelgeving geclassificeerd als afval – mag het afgezien van eigen gebruik niet in de voedingsketen van mens of dier worden ingevoegd. Zolang dit zo is, kan het kroos als coproduct worden ingezet in de vergister. Het kroos levert dan extra biogas, verhoogt het vergisterrendement en zorgt voor extra reductie van broeikasgassen. Ook verlaagt het eendenkroos de inkoopkosten voor coproducten en de kosten voor het afzetten van digestaat. Omdat veel (co)vergisters kampen met stijgende kosten voor coproducten en digestaatafzet, is de kweek van eendenkroos een interessante optie.



*Figuur 7* De mogelijkheden om energie, voedsel en grondstoffen uit eendenkroos te maken zijn legio. Foto: Shutterstock

## Interview

### Johan Sanders

hoogleraar biobased commodity  
chemicals



# ‘We zitten in een enorme lock-in’

Energie produceren uit biomassa is mooi, nuttig en nodig. Maar het is niet het eerste waar je aan zou moeten denken als je biomassa hebt, zegt professor Johan Sanders van de Wageningen University en Research Centre (WUR). ‘Het is zonde om waardevolle verbindingen kapot te maken voordat je er eerst iets anders mee gedaan hebt.’ In 2010 publiceerde Sanders samen met anderen het inmiddels toonaangevende boek *The Biobased Economy*, waarin hij het perspectief schetst van bioraffinage. Aanleiding voor een diepgaand gesprek over de waarde van biomassa.

‘Mijn leerstoel houdt zich bezig met de productie van bulkchemicaliën uit plantaardige grondstoffen. Dus in concurrentie met de traditionele petrochemie. Daarnaast houd ik me bezig met kleinschalige technologieën. In de *biobased economy* is kleinschaligheid vaak een voordeel, veel meer dan in de petrochemie. Ieder-

een begrijpt dat als je in de petrochemie een fabriek twee keer zo groot maakt, je dan ook twee keer zoveel tankers uit het Midden-Oosten voor de fabriek kunt laten afmeren. Maar als je je grondstoffen van het land moet halen, betekent een grotere fabriek dat je grondstoffen steeds verder van de fabriek verbouwd worden. Er komt

een moment dat je beter ergens anders een fabriek kunt bouwen. Daar maken wij studie van. Hoe kun je de voordelen van kleinschaligheid benutten zonder last te hebben van de nadelen?’



Prof. Johan Sanders studeerde chemie en promoveerde in 1977 als moleculair bioloog. Hij werkte achttien jaar bij Gist Brocades, waar hij zich onder meer bezighield met *genetic engineering*, en negen jaar bij Avebe. Sanders combineert daarmee kennis van de industrie met kennis van de landbouw en plantenketen. In 2003 werd Sanders hoogleraar *valorisation of plant production change*, destijds een bijzondere leerstoel aan de Wageningen Universiteit. Recent heeft de WUR een reguliere leerstoel ingesteld voor Sanders' werkveld onder de naam *biobased commodity chemicals*.

***U bestudeert vooral de productie van chemicaliën uit biomassa. Hoe verhoudt zich dat tot de productie van biogas? Bijten die twee elkaar niet?***

'Voor een deel natuurlijk wel. In de biochemie kennen we de zogeheten eco-piramide. Daarin vind je alle mogelijke toepassingen van biomassa gerangschikt naar waarde en naar marktvolume. Onder in de piramide is de waarde laag en de markt groot. Daar staan toepassingen als elektriciteit en warmte. Iets hoger staan de bulkchemicaliën en de transportbrandstoffen. Nog hoger de plastics, de coatings en de bouwmaterialen. Daarna komen veevoer en menselijk voedsel. De hoogste waarde en de kleinste markt, boven in de piramide, zijn voor de farmaceutica en de cosmeticagrondstoffen. Tussen die niveaus in de piramide bestaat in de praktijk een aanzienlijk waardeverschil. Voor farmaceutica hebben we per ton ongeveer tien keer zoveel geld over als voor voeding. Groen gas en biogas zitten in feite helemaal onder in de piramide, want die worden gebruikt om warmte en elektriciteit te maken. Daar concurreren je dus met steenkool en aardgas. Dan gebruik je de biomassa eigenlijk alleen nog om zijn calorische waarde.'

***Maar op zich is daar toch niets op tegen?***

'Het uitgangspunt van de biobased economy is: benut nu eerst de hogere waarde en daarna pas de lagere. Simpel gezegd: als je hout hebt, maak er dan eerst een tafel van. Dan kun je die later altijd nog in de fik steken om er warmte

van te maken of vergassen om er biogas van te maken. Dan heb je er twee keer nut van, niet één keer. Maar ga dus niet die waardevolle grondstoffen meteen omzetten naar biogas, dat is eigenlijk zonde. Voor veel mensen is dat een nieuwe zienswijze. Hoewel cascadering van biomassa expliciet genoemd wordt als doelstelling van het regeringsbeleid, zie ik nog veel overheidsmaatregelen die de biobased economy tegenhouden. Dat komt voor een deel door onkunde en voor een deel omdat er grote belangen zijn in de petrochemie. In Nederland kan het dan zomaar gebeuren dat de minister van Financiën zegt dat maïs niet gebruikt mag worden om er ethanol van te maken. Die discussie *food or fuel* ligt heel gevoelig. Maar diezelfde minister geeft wel subsidie om van maïs biogas te maken en dus elektriciteit en warmte. Die hebben een lagere waarde dan transportbrandstof.'

***Maar biogas concurreert met fossiele brandstoffen. Daarvoor geldt dan toch hetzelfde?***

'Fossiele grondstoffen worden eigenlijk maar op vier manieren toegepast: om te verwarmen, om er elektriciteit van te maken, als transportbrandstof en als grondstof voor chemicaliën. En kijk dan eens naar de kosten per gigajoule eindproduct. Warmte kost ongeveer vier euro, waarvan drie euro voor de grondstof kolen en één euro kapitaalkosten. Elektriciteit zit in de buurt van de twintig euro. Daarvan is zeven euro voor de grondstof en de rest is kapitaalkosten. Als ik transportbrandstoffen maak, kost me

dat ongeveer tien euro per gigajoule aan grondstoffen en één euro aan kapitaal. Maar dan de chemicaliën. Die komen op ongeveer dertig euro aan grondstoffen en veertig euro aan kapitaalkosten. Die kosten zijn zo hoog omdat het vaak veel moeite en energie kost om de structuur van moleculen te veranderen als je uitgaat van aardolie.'

#### ***Kunt u dat uitleggen?***

'In de petrochemie gaan we meestal uit van nafta. Daar maken we propyleen van en dan willen we bijvoorbeeld een hars gaan maken. Dat doen we door een aantal elementen aan dat molecuul vast te maken. Functionele groepen noemen we dat in de organische chemie. Chloor is een voorbeeld van zo'n functionele groep, maar het kunnen ook wat complexere structuren zijn. De bulkchemie maakt dan die grondstof voor hars door uit propyleen wat los te maken en er een paar van die functionele groepen aan vast te maken. Dat gebeurt vaak bij een hoge temperatuur of bij een hoge druk. Hoe dan ook, het kost enorm veel energie en het drijft de kapitaalkosten flink op. Nou wil het geval dat we in de organische chemie een stof kennen die glycerol heet. Dat is een bekend bijproduct als je biodiesel maakt. En van zo'n glycerol-molecuul kun je met weinig inspanning een harsmolecuul maken. Waarom? Omdat de functionaliteit die je nodig hebt er al grotendeels in zit. In de *biobased business* zoeken we dus naar grondstoffen die met weinig moeite omgevormd kunnen worden tot de verbindingen die we kennen uit de

petrochemie. En ook tot hele nieuwe verbindingen trouwens. Dat scheelt vaak heel veel energie en de afhankelijkheid van die fossiele grondstoffen neemt af. Dat zijn belangrijke voordelen.'

#### ***U zegt dus eigenlijk: het is slimmer om van biomassa dit soort chemicaliën te maken dan er biogas van te maken?***

'Inderdaad. Als je glycerol hebt en je gooit dat in een biogasinstallatie, wat op dit moment de meest populaire toepassing

is, dan concurrer je met kolen. Dan heeft deze stof per gigajoule drie euro waarde. Als je dezelfde stof inzet om hars te maken, dan bespaar je een grote hoeveelheid energie ten opzichte van de petrochemische route. En dan heb je een stof die dertig tot veertig euro waarde heeft. Wat je eigenlijk doet als je er biogas van maakt is een factor tien aan waarde vernietigen. Veel mensen weten dat niet. De gedachte is: de chemische industrie, daar stop je nafta in. Van nafta maak je

## *Als je biomassa gebruikt om er gas van te maken, dan gebruik je het alleen om zijn calorische waarde*



ethyleen en propyleen en daarna propyleenoxide, propyleenglycol, enzovoort. Ik zou zeggen: blijf ethyleen rustig uit aardgas of uit aardolie maken; dat is behoorlijk efficiënt. Maar als je ethyleenglycol nodig hebt, probeer dat dan direct uit suiker te maken.'

***Hoe komt het nou dat dit idee niet breed bekend is?***

'Dat komt doordat onze maatschappij sterk energetisch gestuurd is. Het ministerie van Economische Zaken wilde tot ongeveer het jaar 2000 alleen maar over elektriciteit en warmte praten. Pas na lang aandringen mocht er toen ook over transportbrandstoffen gesproken worden en

pas veel later mochten we ook de chemie ter sprake brengen. Die focus op elektriciteit en warmte zit er nog steeds heel sterk in. Zo komt het dat we in Nederland een flinke subsidie kennen voor groen gas. Maar ik durf te beweren dat er binnen een paar jaar een minister van Financiën komt die die subsidie schrapt. Want nu produceren we dertig miljoen kuub groen gas en dat gaat nog wel, maar als we driehonderd miljoen kuub produceren of drie miljard, dan is het niet meer te betalen. Dan sneuvelt de subsidie, er vallen een paar bedrijven om die hiermee bezig zijn en we zijn weer vijf jaar verder zonder vooruitgang. Dus we zijn in Nederland behoorlijk locked in; we kunnen alleen

en nu in Argentinië. Ze maken daar epichloorhydrine, een harsachtige grondstof voor propellers, windmolens, boten en zwembaden. Persoonlijk denk ik dat ze daar een enorme winst op maken. Zo zijn er ook andere grotere bedrijven die hiermee bezig zijn. Dupont bijvoorbeeld. En Avantium, een afsplitsing van Shell, maakt uit suiker een verbinding die heel erg lijkt op PET, het materiaal voor petflessen.'

***Is er in al die processen nog wel ruimte voor de productie van biogas?***

'Zeker. Er zijn namelijk geen planten die alleen maar de goeie moleculen maken. Dus door middel van bioraffinage halen we die plantaardige bestanddelen uit



***Als je hout hebt, maak er dan eerst een tafel van.  
Dan kun je die later altijd nog in de fik steken***

maar in bekende sporen denken als het om energie gaat. Ik zie echt goede bedrijven die hun tijd en intellect aan de verkeerde dingen spenderen.'

***Vindt u in de wetenschappelijke wereld weerklank voor uw visie op de bio-based economy?***

'Ja, daar begint men heel duidelijk anders te denken. Absoluut. En niet alleen in de wetenschap. Het Belgische bedrijf Solvay bouwt momenteel de vierde fabriek die gebaseerd is op biobased grondstoffen. In vijf jaar tijd heeft Solvay een fabriek gebouwd in Frankrijk, Thailand, China

elkaar om de componenten te krijgen die van waarde zijn in de chemie. Maar het restmateriaal, daar ga je dan ook weer iets nuttigs mee doen. Ja, en daar kun je dan wel heel goed biogas of elektriciteit en warmte van maken. Maar doe dat niet te vroeg in het traject. Want bij de toepassingen waar het alleen nog om de calorische waarde gaat, concurreren we met de grondstoffen steenkool en aardolie. Het bijzondere van die chemische toepassingen is dat we ook nog eens concurreren met de kapitaalkosten. Want we kunnen in die biobased processen een heleboel kapitaalkosten overslaan.

Om dezelfde reden – de kapitaalkosten – is direct calorisch gebruik van biogas te verkiezen boven de opwaardering tot groen gas. Bioraffinage is het nieuwe spel.’

***Moet bioraffinage altijd bij de hoogste waarde beginnen? Dan blijft er wellicht minder over voor groen gas.***

‘In theorie begin je bij de hoogste waarde en kijk je steeds wat je op basis van de reststoffen nog meer kunt doen. Het is ons streven om over tien of twintig jaar zover te zijn voor een groot deel van de chemie. Maar in de praktijk van vandaag kun je ook wel bij de laagste toepassing beginnen. Dan bouw je de keten van onderaf op. Maar doe dat dan met de visie dat je gaat samenwerken met partijen die de hogere waarde eruit halen. Plantaardige reststromen bevatten allemaal lignocellulose, de verbinding die planten en bomen stevigheid geeft en die je kunt vergisten of vergassen tot biogas. Daarnaast kunnen er in die reststromen eiwitten zitten, tot wel vijftig procent van

het gewicht. Nou moet je vrij veel moeite doen om die lignocellulose te ontsluiten. Ons idee is dat je eerst zou moeten kijken of je die eiwitten die in zo’n reststroom zitten, nuttig kunt gebruiken. Anders gooi je dat weg en dat is raar, want we vinden dat we in de wereld een tekort aan eiwit hebben. Met Essent en DSM en een aantal andere bedrijven kijken we hoe we bij dit soort grondstoffen eerst het eiwit eruit kunnen halen, dat je dan op zo hoog mogelijke waarde inzet.’

***Wat moet er nu gebeuren om bioraffinage meer kansen te geven?***

‘We hebben een totaal verzuild systeem. De meeste mensen denken alleen maar in hun eigen keten en zijn niet in staat om in een andere keten te denken. Bij bedrijven is het ook zo. Die zijn allemaal aan het optimaliseren in hun eigen keten. Dat moet veranderen. Dwarsverbanden krijg je niet door zuilen in stand te houden maar door een echt *level playing field*. Bij het ministerie van Financiën vinden ze dat ze

het netjes geregeld hebben, want ethanol betaalt net zoveel accijns als benzine, biodiesel betaalt net zoveel accijns als diesel en biogas betaalt net zoveel accijns als aardgas als je het als transportbrandstof gebruikt. Maar als ik ethanol vergelijk met biogas – wij hebben in Lelystad een installatie waar we beide maken – dan is er iets gek aan de hand. Op ethanol wordt de volledige brandstofaccijns geheven, 80 cent per liter benzine-equivalent. En biogas krijgt 40 cent subsidie en is vrijgesteld van accijns. Daar zit 1,20 euro verschil tussen, uitsluitend veroorzaakt door regels van één en dezelfde overheid. Dus de overheid zou moeten beginnen een level playing field te herstellen. Dan pas kan de biobased economy van de grond komen. Ik hoop dat dat snel gebeurt, want het is van belang voor de energievoorziening, de voedselvoorziening en de voedselprijzen. De biobased economy kan helpen om voedsel in de wereld goedkoper te maken. De discussie food or fuel is eigenlijk kunstmatig.’

*Ethanol en biogas in Lelystad*

In Lelystad is de groep van prof. Johan Sanders betrokken bij een proefinstallatie waar naast eiwit voor diervoeder ook bio-ethanol wordt gemaakt uit maïs. Sanders zegt hierover: ‘Je kunt van maïs natuurlijk ook biogas maken. Maar kijk nou eerst eens wat je met maïs in huis hebt. Van elke achttien ton maïsplanten is ongeveer acht ton zetmeel, één ton is eiwit, een halve ton is maïsolie en de rest is lignocellulose. Van zetmeel kun je gemakkelijk biogas maken; daar hoef je weinig voor te doen. Van eiwit ook, maar dan krijg je ammoniak waar we niet om verlegen zitten. En je maakt die eiwitten kapot. Dus kan dat niet anders? Je kunt zetmeel ook prima voor ethanol inzetten. Alles wat niet in ethanol wordt omgezet, gaat

naar biogas. De mineralen gaan terug naar het land. Het eiwit wordt verwerkt in veevoer, maar je kunt ook denken aan toepassingen als grondstof voor de chemie. De maïsolie gebruiken we in humane voeding. Dit doen we allemaal in een kleine installatie, die op commerciële schaal 3.000 m<sup>3</sup> ethanol per jaar produceert en ongeveer 3000 ton eiwit-zetmeelconcentraat voor diervoeders. De kapitaalkosten per liter ethanol liggen niet hoger dan die van een moderne grootschalige maïs-ethanolafabriek in de Verenigde Staten. Van zo’n kleine installatie is de investering te overzien. Dat is een groot voordeel; de innovatiesnelheid is daarmee namelijk hoger dan bij grote installaties.’



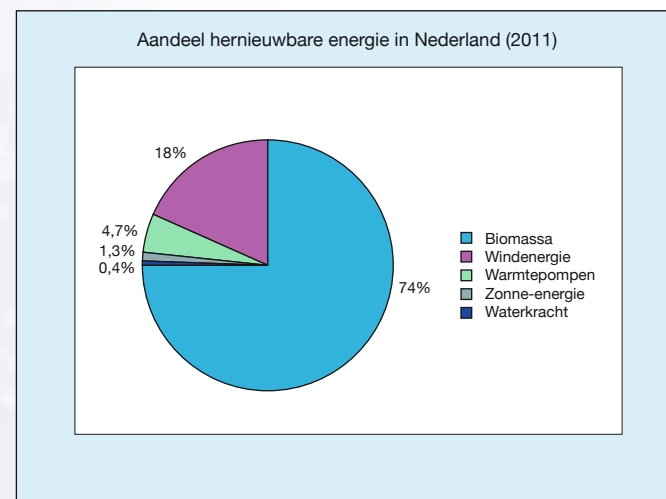
## Hoofdstuk 3

# De duurzaamheid van biomassa

Bij de verduurzaming van de energievoorziening in Nederland speelt biomassa een belangrijke rol. De overheid beschouwt biomassa nu vaak nog per definitie als een groene energiebron, maar de vraag is of iedere biomassasoort daadwerkelijk duurzaam is. De discussie hierover neemt toe. Dit hoofdstuk schetst een beeld van deze discussie en neemt daarbij de belangrijkste soorten biomassa onder de loep. Het doel is om de verschillende biomassastromen in een algemeen duurzaamheidsperspectief te plaatsen.

De Europese richtlijn 2001/77/EG definieert biomassa als *'de biologisch afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen van de landbouw, de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, alsmede de biologisch afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval'*. Op dit moment wordt bijna driekwart van de duurzame energie in Nederland opgewekt met biomassa (figuur 1), wat vooral wordt gerealiseerd door bijstook in elektriciteitscentrales. Tegelijk is de duurzaamheid van biomassa onderwerp van discussie geworden. Zo is er bijvoorbeeld aandacht gekomen voor de indirecte uitstoot van broeikasgassen als gevolg van de biomassaproductie. In deze duurzaamheidsdiscussie spelen ook andere factoren een rol.

Dit hoofdstuk begint met een overzicht van de verschillende soorten biomassa en hun herkomst. Daarna volgt een beschrijving van de beschikbare biomassa, in Nederland en daarbuiten, en van het (bruikbare) potentieel. Het hoofdstuk sluit af met een toekomstperspectief.



Figuur 1 Verdeling van de hernieuwbare energieproductie in Nederland over de verschillende bronnen. Bron: CBS

### 3.1 Overzicht van biomassasoorten

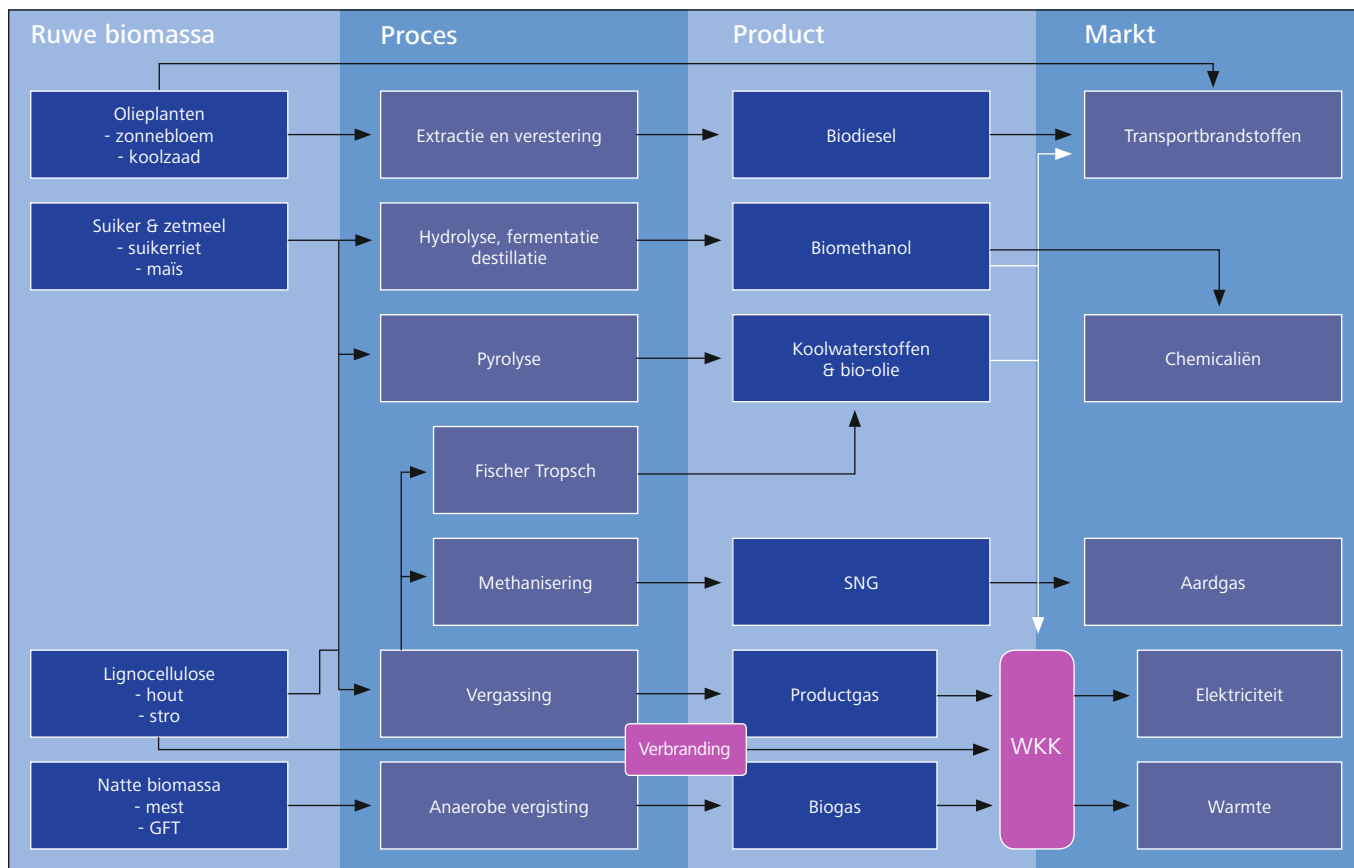
Er bestaat een grote verscheidenheid aan producten die gebruikt kunnen worden voor het opwekken van bio-energie. Een overzicht staat in tabel 1. Biomassa wordt op verschillende manieren benut. Er zijn daarnaast diverse conversietechnieken die biomassa kunnen omzetten in bruikbare energiedragers voor energie-opwekking (figuur 2).

Niet alle soorten in figuur 2 zijn even belangrijk voor de Nederlandse biomassaproductie. Zo worden er bijvoorbeeld biomassasoorten geïmporteerd uit het buitenland en sommige soorten worden helemaal niet gebruikt. Hierbij speelt de duurzaamheid van bio-

massa een belangrijke rol, zoals in de volgende paragrafen zal blijken. Een overzicht van de in Nederland gebruikte biomassasoorten is weergegeven in figuur 3.

### 3.2 Duurzaamheidscriteria

Momenteel is biomassa de meest gebruikte duurzame energiebron in Nederland. In 2011 was het totaal aandeel van hernieuwbare energie in bruto energetisch eindgebruik in Nederland 4,25% (bron: CBS), waarvan dus een ruime meerderheid met biomassa werd opgewekt (figuur 1). Technisch gezien kan iedere fossiele brandstof in iedere toepassing vervangen worden door biomassa [CE Delft, 2012]. Maar biomassa is niet altijd per definitie



Figuur 2 Overzicht van biomassastromen (conversieroutes, energiedragers en toepassing). Bron: Eubia.org

duurzaam [Hanegraaf et al., 2007]. Een van de keerzijdes van biomassa is dat de productie beslag legt op de beschikbare landbouwgrond en de natuurlijke omgeving (zoals de oorspronkelijke bossen in een gebied). In Brazilië zijn situaties bekend waarbij de teelt van suikerriet voor de productie van ethanol als transportbrandstof concurreert met de teelt van voedselgewassen. Er is zo een moreel-ethisch dilemma ontstaan waarbij voedselproductie voor de arme landen wordt verdrongen door de vraag naar duurzame energie van de rijke landen. Ook is er een verband met ontbossing (figuur 4) en het aantasten van de biodiversiteit. In 2006 haalde Indonesië het nieuws doordat het land tropisch regenwoud zou kappen om plaats te maken voor palmolie-

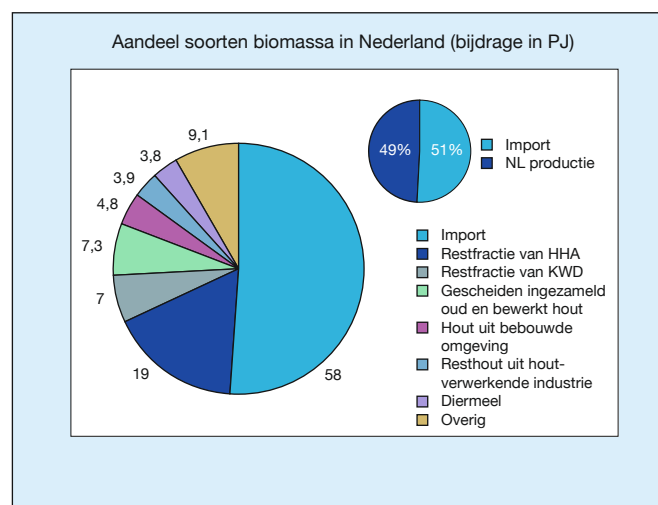
Indeling	Soort biomassa	Voorbeeld	
<b>Nat</b>	GFT-afval	GFT-afval	
	Agrarische reststromen	Mest	
	Geteelde gewassen	Zoutwaterlandbouw (algen, zeewieren)	
	Slib	Papierslib	
		Rioolwaterzuiveringsslib	
	Reststromen uit voedselindustrie	Diermeel	
Reststromen uit suikerindustrie			
Afval frituurvet en oliën			
<b>Droog</b>	Houtachtige biomassa	Resthout	
		Bermgras	
		Snoei- en dunningshout	
		Afvalhout	
		Olifantgras	
		Hennep	
		Populier	
		Wilg	
		Riet	
		Stro	
		Geteelde gewassen	Tarwe
			Maïs
			Suikerbiet
	Jatropha-olie		
	Rietsuiker		
	Koolzaad		
	Palmolie		
	Soja		

Tabel 1 Overzicht van biomassasoorten ingedeeld in de categorieën natte en droge biomassa.

plantages voor de productie van biodiesel. Mede hierdoor is er de laatste jaren een discussie ontstaan over de duurzaamheid van het gebruik van biomassa.

Kort en goed: om een bijdrage te leveren aan de duurzame energievoorziening moet biomassa zelf ook duurzaam worden geproduceerd en verwerkt. Om dat te bewerkstelligen heeft de Nederlandse overheid een aantal duurzaamheidscriteria voor biomassa laten opstellen door de commissie-Cramer, die hiervoor in 2006 in het leven is geroepen.

Uitgangspunten voor de commissie-Cramer waren dat biomassa niet mag concurreren met de voedselproductie en dat het de biodiversiteit niet mag aantasten. De productie van biomassa met hoog energierendement moet worden gestimuleerd en het materiaal moet allereerst hoogwaardig worden toegepast, voordat laagwaardige toepassingen in beeld komen. De grootschalige toepassing moet ook voldoen aan maatschappelijk verantwoord ondernemen, wat betekent: zo veel mogelijk aandacht voor leefomgeving, welvaart en welzijn van alle betrokkenen. Met deze uitgangspunten zijn, onder toezicht van de EU, een zestal thema's geformuleerd. Voor deze thema's zijn criteria geformuleerd waaraan de biomassa die in Europa wordt ingezet, moet voldoen [EC, 2008].



Figuur 3 Aandeel van verschillende soorten biomassa in Nederland (2011). Bron: CBS

Hierdoor kunnen CO<sub>2</sub>-besparingen worden gerealiseerd met een minimale impact op het milieu. De eerste drie thema's zijn specifiek voor biomassa, de andere zijn meer generiek en hebben betrekking op de drie P's: *people, planet* en *profit*. De thema's zijn:

1. Broeikasgasemissies
2. Concurrentie met voedsel en lokaal biomassagebruik
3. Biodiversiteit
4. Milieu
5. Welvaart
6. Welzijn

### Broeikasgasemissies

Het reduceren van broeikasgasemissies is een van de belangrijkste redenen om het gebruik van biomassa te stimuleren. Echter, bij de productie van sommige biomassastromen vinden op verschil-

lende plaatsen in de keten aanzienlijke emissies van broeikasgassen plaats, bijvoorbeeld bij de grondstoffenproductie (zoals de productie van maïs en koolzaad) of bij de conversie van bos naar landbouwgrond. Een goede inschatting van de hoeveelheid broeikasgassen die in een biomassaketen wordt geproduceerd, is daarom belangrijk. Deze bepaalt immers de broeikasgasbalans, die de basis is voor een effectieve inzet van biomassa. Het berekenen van de broeikasgasbalans is vaak zeer complex, omdat ook allerlei randverschijnselen van productie en transport meegerekend moeten worden. Het toepassen van dit eerste duurzaamheids criterium moet ertoe leiden dat – gerekend over de hele keten – het gebruik van biomassa netto een (veel) lagere emissie van broeikasgassen oplevert dan gemiddeld bij de inzet van fossiele brandstoffen. Dit geldt met name voor de inzet van biomassa in elektriciteitscentrales (figuur 5).



Figuur 4 Ontbossing in het Amazonegebied. Foto: Pixmule.com

### Concurrentie met voedsel en lokaal biomassagebruik

Dit criterium omvat vooral de concurrentie bij landgebruik en de verdringing van andere toepassingen en teelten van landbouwgrond. Door het gebruik van voedselgewassen (zoals maïs, graan, suikerriet etc., zie figuur 6 op pagina 38) voor energieproductie ontstaat er extra vraag naar deze gewassen, waardoor de prijs stijgt. Ook kan het verbouwen van energiegewassen leiden tot *Indirect Land Use Change* (ILUC). ILUC beschrijft het onbedoelde effect van verandering in landgebruik, bijvoorbeeld als gevolg van het gebruik van ongerepte natuur voor energiegewassen. Wanneer bijvoorbeeld graslanden of regenwouden moeten plaatsmaken voor akkerland, verdwijnt een grote natuurlijke opslag voor CO<sub>2</sub>. Verandering van landgebruik leidt in dit geval dus tot een aanzienlijke extra CO<sub>2</sub>-emissie. Verschillende studies laten zien dat deze indirecte effecten aanzienlijk kunnen zijn. Andere studies stellen weer dat landgebruik voor energiegewassen

kan worden gecompenseerd door hogere efficiëntie in akkerbouw en veeteelt [CDB, 2010]. Ook is het mogelijk om biomassa te produceren op gedegradeerde en marginale gronden, waar concurrentie met andere landgebruikfuncties minder kritisch is. *Jatropha* is bijvoorbeeld een gewas dat kan overleven met weinig water en onder schrale omstandigheden. Het gewas kan namelijk verbouwd worden op marginale gronden en als grondstof dienen voor de productie van biodiesel.

Of een biomassoort aan het criterium van concurrentie voldoet, kan worden afgemeten aan de mate waarin de productie van deze biomassa de voedselvoorziening en andere lokale vormen van landgebruik (voor medicijnen of bouwmaterialen) in gevaar brengt. Daarnaast moet een ILUC-waarde worden ingevoerd die duidelijk maakt wat het netto effect is van het nieuwe



Figuur 5 Bij de productie van elektriciteit uit brandstoffen komen broeikasgassen vrij. Foto: Shutterstock

landgebruik op de emissies van broeikasgassen. De Europese Commissie streeft ernaar deze ILUC-waarde op te nemen in de standaardwaarden per gewas, zoals vastgesteld in de Europese *Renewable Energy Directive* en de *Fuel Quality Directive*.

### *Biodiversiteit*

Biodiversiteit is de variatie van levende organismen in ecologische systemen [Creatieve Energie, 2007]. Een duurzame samenleving is zuinig op haar biodiversiteit. Toch neemt de biodiversiteit af als gevolg van menselijke activiteiten (figuur 7). Een van de belangrijkste oorzaken is het verlies aan areaal door ontbossing en andere vormen van omzetting van natuurlijke systemen [Ter Heijne, 2011]. Biomassaproductie kan zowel een positieve als een negatieve impact hebben op de biodiversiteit. Aan de ene kant kan een

verhoogde biomassaproductie leiden tot verlies aan bodemvruchtbaarheid en biodiversiteit in de bodem. Dit gebeurt met name wanneer het volledige gewas geoogst wordt en geen gewasresten worden teruggevoerd in de grond. Daarnaast neemt vooral grootschalige energieteelt veel landbouwgrond in beslag. Dit kan leiden tot ILUC, ontbossing en aantasting van natuurgebieden. Om deze en andere redenen wordt grootschalige biomassaproductie wereldwijd gezien als een bedreiging voor de biodiversiteit.

Toch kan de teelt van biomassa ook een positieve invloed hebben op de biodiversiteit. Energieplantages zijn ook broedplaatsen voor veel verschillende diersoorten. Onderzoek naar de biodiversiteit in energieplantages heeft uitgewezen dat er zich veel meer soorten in deze gebieden bevinden dan aanvankelijk was verwacht [Boosten



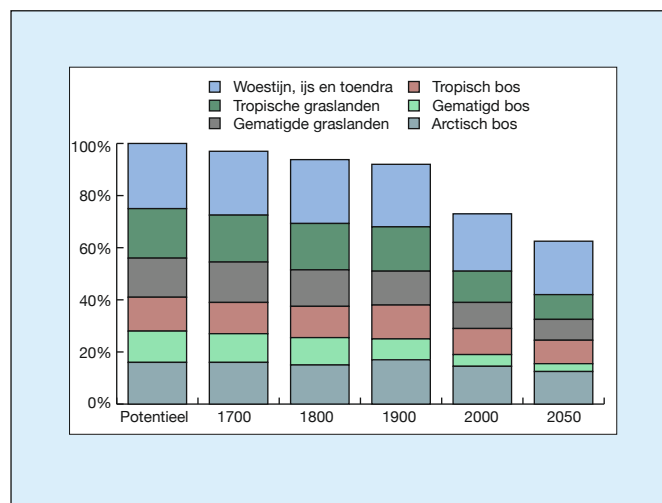
Figuur 6 Oogsten op een suikerrietplantage. Foto: Shutterstock

et al., 2010]. Bovendien is de verwachting dat het aantal soorten bij gelijkblijvend beheer verder zal toenemen en uiteindelijk in de buurt zal komen van de soortenrijkdom van de oorspronkelijke gronden. Verder zou de biomassaproductie moeten leiden tot een vermindering van de vervuiling, wat indirect de biodiversiteit ook ten goede komt. Het is daarom zaak om aan de hand van het criterium biodiversiteit ervoor te zorgen dat de biomassaproductie geen beschermde of kwetsbare biodiversiteit mag aantasten. Waar mogelijk zou biomassaproductie de biodiversiteit juist moeten versterken.

### Milieu

Biomassaproductie kan een negatieve invloed hebben op het milieu, bijvoorbeeld wanneer de productie gepaard gaat met het gebruik van pesticiden en kunstmest, die de bodem- en grondwaterkwaliteit aantasten. Ook kan biomassaproductie leiden tot erosie en uitputting van de bodem. Het criterium milieu is vooral gericht op de aspecten bodem, water en lucht. Om vervuiling van deze drie tegen te gaan moet er vooral gekeken worden naar:

- afvalmanagement;
- gebruik van agrochemicaliën;
- voorkomen van erosie;
- verbetering van de waterkwaliteit;
- luchtvervuiling (onder meer door fijnstof).



Figuur 7 Biodiversiteit uitgedrukt in het gemiddeld aantal soorten per ecotype door de jaren heen. Bron: [Ter Heijne, 2011]

### Welvaart

Energiewinning uit biomassa kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan de werkgelegenheid en de welvaart in een bepaalde regio. Verbetering van de welvaart in de importerende landen én in de producerende landen kan het effect zijn. Beleidsmakers proberen te voorkomen dat de minder ontwikkelde landen, waar veel geïmporteerde biomassa vandaan komt, worden uitgebuit. Veel ontwikkelingslanden zien in de productie van biomassa namelijk een mogelijkheid om hun economie te versterken. Zij kunnen exportinkomsten genereren, hun energieafhankelijkheid afbouwen, achtergestelde gebieden een nieuwe impuls geven en de landbouwproductie diversificeren (zie kader op pagina 40). Daarnaast kan energie uit biomassa de levensstandaard in afgelegen gebieden verhogen. Het is belangrijk dat deze voordelen ook daadwerkelijk gerealiseerd worden, zodat biomassaproductie bijdraagt aan de lokale welvaart. Om negatieve effecten op de lokale economie te voorkomen moet de biomassaproductie getoetst worden met een aantal meetbare prestatie-indicatoren, zoals:

1. de bijdrage aan de economie in de vorm van lonen en pensioenen;
2. belastingafdracht en ontvangen subsidies;
3. kosten van gekochte goederen;
4. betalingen aan leveranciers;
5. donaties aan de gemeenschap.

### Welzijn

Onder welzijn vallen aspecten als werkgelegenheid, arbeidsverhoudingen, veiligheid en gezondheid van werknemers. Ook training en opleiding, sociale diversiteit en gelijke kansen vallen hieronder. Het is belangrijk dat bij de productie van biomassa in ontwikkelingslanden werknemers niet worden uitgebuit. Het kader over Mali (pagina 40) laat zien dat biomassaprojecten een positieve bijdrage kunnen leveren aan het welzijn van de lokale bevolking. Voorbeelden van negatieve effecten zijn er helaas ook, bijvoorbeeld in gevallen waar de lokale bevolking van haar gronden wordt verdreven door grootschalige aanleg van biomassa-plantages. Zie het kader over Indonesië op pagina 41. Het is van groot belang dat projecten die het welzijn van de lokale bevolking schaden, worden aangemerkt als niet-duurzaam en op geen enkele manier worden gestimuleerd.

### *Jatropha-plantages leveren elektriciteit in Mali*

Biomassaproductie kan op verschillende manieren een bijdrage leveren aan de lokale economie, welvaart en welzijn. In veel arme landen zijn elektriciteit en gas een luxe. Energie uit biomassa kan in deze afgelegen gebieden uitkomst bieden. Vaak zijn er juist in deze gebieden genoeg bronnen voor biomassaproductie. Mali is hiervan een goed voorbeeld. Mali behoort tot de armste landen van de wereld en wordt gekarakteriseerd door een ongelijke verdeling van welvaart. Van de Malinese bevolking kan 99% niet beschikken over moderne energievoorzieningen als elektriciteit of gas. Het land lijdt onder stijgende energieprijzen die – gecombineerd met de lage katoenprijzen – ertoe hebben geleid dat veel boeren met de katoenproductie zijn gestopt. De productie van biomassa bleek een goed alternatief.

Mali Folkecenter (MFC) in Garalo is een van de initiatiefnemers van een project waarin voormalige katoenboeren jatropha verbouwen voor de elektriciteitsproductie. Het project is gefinancierd door Amader, MFC, stichting Fuels from Agriculture for Communal Technology (FACT-Foundation) en Stichting Het Groene Woudt (SHGW). Het project is relatief grootschalig en zorgt voor een nieuwe inkomstenbron voor de boeren. Het laat zien hoe biomassa een significante en duurzame bijdrage kan leveren aan de plaatselijke economie en aan het welzijn van de lokale bevolking.

*Bron: Practical Action Consulting (2009)*



*Figuur 8 Jatropha-plantage. Foto: Shutterstock*

### Landgeding in Indonesië

In arme landen kan biomassa een positieve bijdrage leveren aan de lokale economie en een goed alternatief bieden voor het ontbreken van een energie-infrastructuur. Toch kan biomassaproductie gemakkelijk een negatieve impact hebben op de lokale bevolking. Vaak staat het belang van de lokale bevolking dan lijnrecht tegenover de belangen van bedrijven die op grote schaal biomassa produceren voor westerse landen. Uitbuiting en afpersing worden daarbij niet geschuwd. Uit oogpunt van duurzaamheid is dit uiteraard niet acceptabel.

Indonesië heeft plannen om het landgebruik voor de productie van palmolie (figuur 9) uit te breiden van 6 miljoen naar 20 miljoen hectare (een gebied ruim vijf keer zo groot als Nederland). Deze expansie leidde in het recente verleden tot een enorme toename van het aantal conflicten dat rechtstreeks is gerelateerd aan de energiewinning. Er zijn concrete gevallen bekend waarin families hun land ruilden of in bruikleen gaven voor de productie van palmolie, maar daarbij door het betreffende bedrijf niet zijn gecompenseerd. Door de schaalgrootte van de palmolieprojecten duurde het bovendien vaak vele jaren voordat de families het afgesproken aandeel in de productie ontvingen. In de procedures die volgden, trokken de families meer dan eens aan het kortste eind omdat de betreffende palmoliebedrijven inmiddels waren overgenomen door buitenlandse concerns, die zeiden niet van de afspraken op de hoogte te zijn. Zo zijn in Indonesië veel families het slachtoffer geworden van bedrijven die actief zijn in de biomassaproductie.

Bron: Oxfam International (2007)



Figuur 9 Palmolienoten en palmolie. Foto: Shutterstock

### 3.3 Nederlandse Technische Afspraak

Duurzaamheidscriteria zijn zinloos als ze niet worden gehanteerd. De controle op de duurzaamheid van biomassa moet vanuit de overheid geïnitieerd en gehandhaafd worden. Daarom heeft de Nederlandse overheid deze duurzaamheidscriteria opgenomen in de Nederlandse Technische Afspraak (NTA) 8080. Deze regeling beschrijft de eisen die gesteld moeten worden aan duurzame biomassa voor energiedoeleinden (elektriciteit, warmte en koude, transport). In deze NTA is een classificatiesysteem opgenomen waarin per duurzaamheids criterium standaarden zijn geformuleerd voor broeikasgasemissie, ontbossing, voedselconcurrentie etc. Door duidelijkheid te scheppen over de afkomst en de duurzaamheid van biomassa faciliteert en stimuleert de NTA de handel in biomassa. In Nederland is het sinds 2011 mogelijk om biomassa te laten certificeren volgens de NTA 8080 (figuur 10 op pagina 42). Deze certificering maakt aantoonbaar dat de gebruikte biomassa aan de duurzaamheidscriteria voldoet. De biomassaketen wordt daarbij alleen als duurzaam beschouwd als iedere schakel in de keten een certificaat heeft. Bovendien moet de totale emissiereductie van broeikasgassen (van de gehele keten) voldoen aan de eisen van de NTA, en moet de tracering over de gehele keten zijn geborgd. Een kanttekening hierbij is dat studies over emissiereductie en traceerbaarheid nogal kunnen verschillen. Een groot deel van de biomassaproductie vindt buiten onze landsgrenzen plaats, wat controle lastig maakt. Om ze internationaal toepasbaar te maken, zouden de duurzaamheidscriteria overgenomen moeten worden door de Europese normalisatiecommissie CEN en de internationale organisatie ISO. Een tweede kanttekening is dat certificering van biomassa in Nederland niet verplicht is. Als Nederland de inzet van duurzame biomassa verder wil stimuleren, is het verplicht stellen van certificering via de NTA gewenst.

### 3.4 Indeling van biomassa

Biomassa kan op verschillende manieren worden ingedeeld. Bij iedere indeling staan andere eigenschappen van biomassa centraal. Zo bestaat er een indeling naar herkomst, naar vaststofgehalte en naar generatie. Omdat in dit hoofdstuk de duurzaamheid van biomassa een centrale rol speelt, is een indeling gemaakt op basis van herkomst en generatie. In de hoofdstukken 4 en 5, waar de groengasketen centraal staat, is de indeling naar vaststofgehalte relevant. Om deze redenen worden hier alle drie de indelingen beschreven.



Figuur 10 Certificering volgens NTA 8080. Bron: Houtpelletsdirect.nl



Figuur 11 Drijfmest kan worden geclassificeerd als natte biomassa.  
Foto: Shutterstock

### 3.4.1 Natte en droge biomassa - indeling op basis van vastestofgehalte

Het onderscheid op basis van vastestofgehalte is in feite een onderscheid tussen natte en droge biomassa. Deze onderverdeling onderscheidt twee hoofdstromen in de biomassaketen en heeft vooral een technische achtergrond, omdat bij de hoofdstromen verschillende conversietechnieken horen. Het vastestofgehalte is in de praktijk sterk bepalend voor de opslag, de verwerking en de uiteindelijke opbrengst van het materiaal. Droge biomassa bestaat uit allerlei gedroogde organische afvalstoffen. Denk hierbij aan houtpellets, zaagsel en allerlei vormen van GFT-afval. Meestal wordt droge biomassa verbrand in speciaal daarvoor ingerichte installaties, of als mengstof gebruikt om de brandstofmix voor bestaande kolencentrales te verduurzamen. Ook kan droge biomassa vergast worden, waarna het vrijkomende productgas opgewaardeerd kan worden tot groen gas.

Natte biomassa bestaat uit vochtig organisch materiaal. Denk hierbij aan mest, vers GFT-afval en rioolslib. Natte biomassa kan gedroogd worden tot brandbaar materiaal, maar wordt meestal vergist, waarbij biogas ontstaat. Net als droge biomassa kan natte biomassa worden ingezet voor de productie van groen gas.

Het rendement waarmee energie uit biomassa gehaald kan worden, wordt vooral bepaald door het vastestofgehalte (een indicatie voor de daadwerkelijke koolstofinhoud) van de biomassa. Daarom varieert de energetische waarde per biomassasoort. Het vastestofgehalte van drijfmest (circa 10%) is bijvoorbeeld veel lager dan het vastestofgehalte van houtpellets (>99%), zie ook tabel 2. Algemeen geldt: hoe hoger het vastestofgehalte, hoe hoger het energetisch rendement.

Soort biomassa	ODS-gehalte (in % van gewicht)
Papier	60
GFT-afval	53
Hout	77
Drijfmest	<10
Houtpellets	>99

Tabel 2 Gehalte organische droge stof (ODS-gehalte) voor een aantal biomassasoorten (weergegeven als percentage van het gewicht). Bron: Agentschap NL

### 3.4.2 Eerste, tweede en derde generatie biomassa

Biomassa kan ook worden ingedeeld in een eerste, tweede en derde generatie. Deze onderverdeling wordt vaak gebruikt voor het typeren van biobrandstoffen voor transport. Maar deze indeling is ook van belang, omdat ze een duidelijk onderscheid maakt tussen biomassa die concurreert met voedselgewassen (eerste generatie) en biomassa die dat niet doet (tweede en derde generatie). Eerste generatie biomassasoorten zijn over het algemeen voedselgewassen als maïs, koolzaad, soja (voor biodiesel) en suikerbiet, suikerriet en suikerpalm (voor bio-ethanol). Deze concurreren dus met de voedselproductie. Bij de productie van groen gas worden deze gewassen alleen gebruikt in het proces van covergisting van mest, waarbij de gewassen worden toegevoegd om de energetische waarde van de mest te vergroten (zie hoofdstuk 4).

Tweede generatie biomassasoorten concurreren niet direct met de voedselketen. Dit zijn gewassen die speciaal voor de energiewinning worden geteeld of het is biomassa van oneetbare resten van voedselgewassen (of andere organische reststromen). Het onderscheid tussen tweede en derde generatie biomassa is vooral een kwestie van innovatie. 'Nieuwe' biomassastromen als algen, zeewier en eendenkroos worden tot de derde generatie gerekend.

Energiewinning uit derde generatie biomassa (figuur 12) is nog in ontwikkeling. Grootschalige toepassing is nog niet aan de orde.



Figuur 12 Algenkwekerij Borculo. Bron: [www.hanshendriksen.net](http://www.hanshendriksen.net)

**VOORBEELDPROJECT***Energiemaïs in Nieuweroord*

Kloosterman Biogas in Nieuweroord, in de omgeving van Hogeveen, exploiteert de eerste vergistingsinstallatie voor energie-maïs in Nederland. De biomassa bestaat voor 100% uit maïs, die wordt vergist in drie hoofdvergisters en twee navergisters. De vergisters leveren biogas dat direct op de locatie wordt gebruikt in een wkk-installatie. Twee gasmotoren produceren ieder 836 kW elektriciteit. De warmte die hierbij vrijkomt, wordt onder meer gebruikt voor het verwarmen van de silo's voor het vergistingsproces. De overige restwarmte gaat door naar een machine op basis van de Organic Rankine Cycle (een soort stoommachine met een organische stof als werkmedium), die warmte omzet in elektriciteit, zonder toevoeging van extra biomassa. Deze ORC levert 10% van het vermogen van de twee gasmotoren. Zo kan dit bedrijf voor ongeveer 5000 huishoudens elektriciteit leveren.



Figuur 13 Luchtfoto van de installatie in Nieuweroord.  
Bron: Kloosterman Biogas

*'Biobrandstof vaak vuiler dan benzine'*

Veel van de huidige biobrandstoffen zijn minder duurzaam dan benzine en diesel gewonnen uit ruwe aardolie. De combinatie van CO<sub>2</sub>-uitstoot, landgebruik en kunstmestgebruik pakt voor bijna alle gangbare alternatieven slechter uit dan conventionele brandstoffen. Tot die conclusie komt onderzoeksbureau CE Delft. Vooral biodiesels uit sojaolie en palmolie komen er slecht uit, maar ook de meeste bio-ethanol (een alternatief voor benzine) scoort volgens het onderzoek slechter dan het fossiele origineel. De onderzoekers keken naar broeikasgasemissies, landgebruik en nutriëntenverlies (het gebruik van de schaarse elementen kalium en fosfor in kunstmest). Een gewogen optelsom van die factoren leidde tot een scorekaart waarin alle brandstoffen met elkaar worden vergeleken. De verhoopte klimaatwinst van broeikasgasemissies stond al langer ter discussie. Zeker als ook de indirecte CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt meegenomen, die wordt veroorzaakt door ontginning van nieuwe landbouwgronden voor verdreven voedselgewassen, blijken de meeste biodiesels meer CO<sub>2</sub> uit te stoten dan fossiele diesel. Door de extra criteria komen ook de biobrandstoffen voor benzine een stuk slechter uit de vergelijking. Met name bio-ethanol uit tarwe en maïs scoort slecht. Bio-ethanol uit suikerriet en suikerbiet, die in Nederland vaak wordt bijgemengd, doet het minder slecht maar nog steeds niet beter dan fossiele benzine.

Het onderzoek lijkt onbedoeld vooral de voordelen van fossiele brandstoffen aan te tonen: weinig landgebruik, weinig verlies aan voedingsstoffen. Analist Bettina Kampman van CE Delft is dan ook de eerste om het onderzoek te relativiseren. 'Het is bedoeld als indicatie. Wij zeggen niet de wijsheid in pacht te hebben.' Het best scoren methanol uit glycerine en een benzinealternatief uit resthout. Maar daarvoor moeten automotoren wel worden aangepast, wat het een dure optie maakt. Voor bijmengen in bestaande benzinetanks zijn ze niet geschikt. Voor dieselauto's is biodiesel uit afvalvetten, zoals frituurvet, het beste biologische alternatief. Dit is in Nederland ook de meest gebruikte biobrandstof, met ongeveer 85% van alle bijgemengde biodiesel. In Nederland worden dus relatief duurzame biobrandstoffen bijgemengd. Dat komt onder meer doordat biodiesel uit frituurvet dubbel telt: daardoor hoeven de oliemaatschappijen minder bij te mengen. Er is echter geen garantie dat Nederlandse biobrandstoffen duurzaam blijven. De vraag naar biodiesel uit frituurvet neemt ook in andere landen toe. De prijzen gaan omhoog, dus dan gaan oliemaatschappijen op een gegeven moment over op een andere biobrandstof.

Bron: de Volkskrant, 03-04-2012

### 3.4.3 Indeling op basis van herkomst

De herkomst van biomassa bepaalt in grote mate de duurzaamheid. De volgende bronnen van herkomst kunnen worden geïdentificeerd:

- geteelde biomassa;
- reststromen;
- geïmporteerde biomassa.

De volgende paragrafen zullen deze drie categorieën beschrijven en waar mogelijk een verband leggen met de duurzaamheids-criteria. Generieke uitspraken over duurzaamheid van biomassa zijn niet mogelijk omdat veel duurzaamheidsafwegingen afhankelijk zijn van de situatie. Dat maakt een goede afweging erg gecompliceerd. Toch zullen de volgende paragrafen op hoofdlijnen aangeven welke biomassastromen goed scoren op duurzaamheid en welke minder gunstig afsteken. Aan bod komen daarbij vooral de biomassastromen die in Nederland van belang zijn en de biomassa die geschikt is voor de productie van groen gas.

### 3.5 Geteelde biomassa

Geteelde biomassa wordt speciaal verbouwd voor de energiewinning. Voorbeelden zijn maïs, tarwe, suikerbiet, koolzaad, soja en bomen. Het gaat hierbij soms om biomassa van de eerste generatie. Deze gewassen kunnen direct worden gebruikt voor energieopwekking, maar ook in combinatie met mest. Dit laatste is vooral populair in Duitsland. Energiegewassen als koolzaad, graan en maïs worden momenteel vooral geteeld om er transportbrandstoffen van te maken. In mindere mate wordt geteelde biomassa in Nederland gebruikt voor de productie van groen gas. Zie hiervoor het voorbeeldproject op pagina 44.

Het telen van gewassen voor energiedoeleinden heeft een hevige discussie losgemaakt over de duurzaamheid van deze biomassa. Vooral gewassen die gebruikt worden voor de productie van bio-brandstoffen, zoals biodiesel en bio-ethanol, zouden niet duurzaam zijn. Stichting Natuur en Milieu heeft in 2011 duidelijk stelling genomen tegen deze vorm van biomassagebruik. Natuur en Milieu stelt dat het telen van landbouwgewassen voor energiedoeleinden geen klimaatwinst oplevert (zie het kader hiernaast). Zoals echter ook CE al aanvoert, is een zo harde conclusie moeilijk te trekken. Het gaat immers om een veelheid aan biomassasoorten, elk met hun eigen keten. Dat laat onverlet dat het telen van energiegewassen uit oogpunt van duurzaamheid momenteel nogal wat twijfel oproept.

Het artikel dat wordt geciteerd in het kader, gaat over biobrandstoffen en de inhoud ervan is dus niet een-op-een van toepassing op alle geteelde biomassa. Wel laat het artikel zien dat voor geteelde biomassa niet altijd wordt voldaan aan de duurzaamheids-criteria. Vooral het criterium 'concurrentie met voedsel en lokale toepassingen' levert vaak problemen op. Aan de andere kant zijn er studies die stellen dat energieteelt ook duurzaam kan plaatsvinden. CE Delft stelt bijvoorbeeld dat als gedegradeerd land benut kan worden voor het verbouwen van energiegewassen, dit een positieve lokale impact kan hebben op de netto broeikasgasemissies en op de biodiversiteit [CE Delft 2012]. Een voorbeeld hiervan is jatropha. Ook is het effect van energieteelt op het milieu sterk afhankelijk van het soort gewas dat gebruikt wordt. Per gewas verschillen het landgebruik, de bodemerrosie en de hoeveelheid energie die nodig is voor de oogst. Bovendien, als de vraag naar geteelde biomassa toeneemt, kan dit ook een stimulant zijn voor technologische ontwikkelingen, die ertoe leiden dat de gewassen uiteindelijk efficiënter verwerkt kunnen worden.

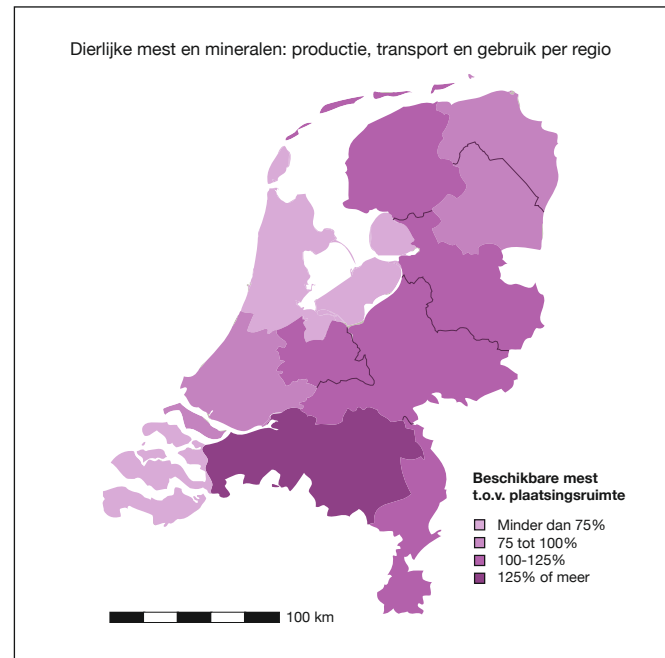
Duurzame energieteelt vindt ook plaats in Nederland. Hierbij gaat het vooral om bomen voor energieproductie. In het bos wordt op dit moment maar 55% van de bijgroei geoogst [Kuiper et al., 2008]. Dit betekent dat bestaande bossen niet worden aangetast en dat het aantal hectare bos zelfs toeneemt. Het probleem in



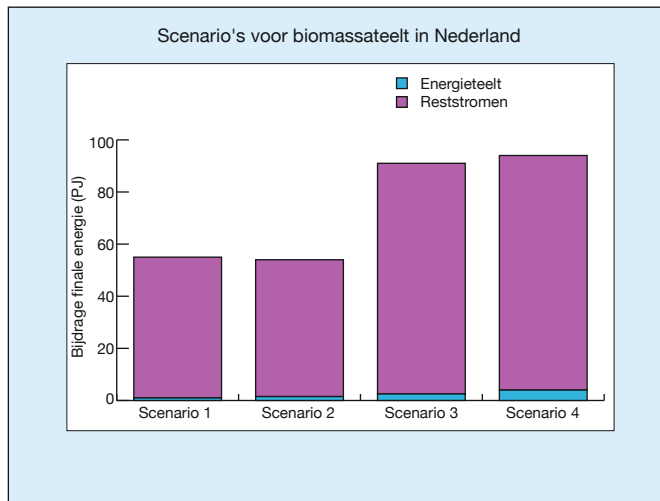
Figuur 14 Maisoogst. Foto: Shutterstock



Figuur 15 GFT-afval. Foto: Shutterstock



Figuur 17 Overbemesting in Nederland per regio. Bron: CBS



Figuur 16 Potentiële bijdrage aan duurzame energieopwekking van de belangrijkste beschikbare biomassastromen in Nederland (in PJ finale energie). Bron: [Koppejan et al., 2009], Agentschap NL



Figuur 18 Precisiebemesting. Foto: Shutterstock

Nederland is echter dat houtoogst niet winstgevend is. Dit wordt vooral veroorzaakt door de kleinschaligheid van bosbouwprojecten. Daarnaast blijven de houtopbrengsten laag. De houtprijzen worden bepaald door de West-Europese markt en zijn relatief laag. De combinatie van lage prijzen en hoge oogstkosten maakt houtoogst in Nederland niet rendabel. Mede daardoor wordt hout bij voorkeur geïmporteerd. In Scandinavië vindt duurzame houtoogst al jaren plaats. Hier worden bossen speciaal voor de biomassaproductie aangeplant. De houtige biomassa kan door middel van vergassing worden omgezet in groen gas (zie hoofdstuk 5).

### 3.6 Reststromen

Reststromen kunnen worden onderverdeeld in primaire en secundaire restproducten. Primaire restproducten ontstaan bij de bron, bijvoorbeeld in het bos, bij de oogst (stro, bietenloof) of tijdens het onderhoud van het landschap (bermgras, heideplaggen, tuinafval). Secundaire restproducten komen later in de keten vrij. Dit zijn bijvoorbeeld residuen van veilingen (doorgedraaide productie bij groente- en fruitveilingen), frituurvetten uit de horeca en GFT-afval [Hanegraaf et al., 2007]. Aparte categorieën in de reststromen zijn dierlijke mest en rioolslib, die gekenmerkt worden door een relatief laag drogestofgehalte. Alle genoemde reststromen zijn bruikbaar voor energieopwekking.

Reststromen worden in Nederland gezien als de belangrijkste biomassastroom (figuur 16), omdat veel restmateriaal voorhanden is in Nederland. Teelt van energiegewassen is in Nederland lastig, omdat het een klein land is. Reststromen zijn in de meeste gevallen duurzamer dan geteelde biomassa.

In Nederland wordt mest gezien als een van de belangrijkste biomassastromen. Voor het opwekken van energie wordt meestal drijfmest (vloeibare mest) gebruikt. Mest leent zich goed voor energieproductie, onder meer omdat het als gevolg van het mestoverschot ervaren wordt als een afvalprobleem. Wanneer mest wordt opgeslagen, kan dit leiden tot methaanemissies. Methaan is als broeikasgas 21 keer sterker dan CO<sub>2</sub> (tabel 3). Vaak wordt mest uitgereden over het land. Ook dan is er sprake van methaanemissie. Bovendien sluit de verhouding stikstof en fosfaat vaak niet aan bij de behoefte van de bodem. Ook is de opnamecapaciteit van mineralen door planten beperkt, waardoor

uitspoeling dreigt naar het grond- en oppervlaktewater. Door de toename van het fosfaatgehalte in water kan overmatige groei van algen optreden. Vooral in gebieden met grootschalige bio-industrie is overbemesting een reëel milieuprobleem (zie figuur 17). Export van mest is echter kostbaar. De inzet van mest voor de productie van bio-energie lijkt een waardevol alternatief.

Gezien het overschot aan mest zijn alternatieve toepassingen (zoals vergisting) bijzonder interessant. Het nadeel van drijfmest is echter dat het maar voor 10% uit vaste stof bestaat. Omdat de koolstofcontent laag is, blijft ook de energetische waarde laag. Drijfmest is vaak te nat om zonder meer te worden vergist; vergisting is wel mogelijk maar niet rendabel. Daarom wordt vaak een coproduct toegevoegd, zoals maïs, gerst of aardappelen. Deze toevoeging haalt het energetisch rendement sterk omhoog, waardoor de biogasproductie toeneemt (zie tabel 4).

Een nadeel van coproducten is dat ze in Nederland relatief schaars zijn ten opzichte van de hoeveelheid drijfmest. Zonder covergisting zijn ook de kosten per ton vermeden CO<sub>2</sub> lager. In dat opzicht is het dus gunstiger om zo weinig mogelijk coproduct toe te voegen. Ook kan covergisting leiden tot een grotere hoeveelheid digestaat (het restproduct van de vergisting).

CO <sub>2</sub> -equivalenten broeikasgassen	
Kooldioxide CO <sub>2</sub>	1 CO <sub>2</sub> -equivalent
Stikstofoxide N <sub>2</sub> O	310 CO <sub>2</sub> -equivalenten
Methaan (aardgas) CH <sub>4</sub>	21 CO <sub>2</sub> -equivalenten

Tabel 3 Bijdrage van drie broeikasgassen aan het broeikaseffect (in CO<sub>2</sub>-equivalenten). Bron: CBS

mengverhouding dunne rundveemest	mengverhouding snijmais	energetisch rendement vergisting
100%	0%	10%
75%	25%	59%
50%	50%	70%
25%	75%	75%
0%	100%	78%

Tabel 4 Het energetisch rendement van een vergistingsinstallatie met wkk met verschillende mengverhoudingen van rundveemest en maïs. Bron: Natuur en Milieu

Hierdoor kan het mestoverschot juist toenemen, bijvoorbeeld als er meer mineralen in het digestaat terechtkomen dan aanvankelijk in de mest zaten (ondanks het feit dat coproducten in de regel weinig fosfaat en nitraat bevatten). Toch is de verwachting dat vergisting, al dan niet in combinatie met nabewerking van de vergiste mest, kan bijdragen aan de verduurzaming van het bodembeheer [Migchels et al., 2011]. De chemische samenstelling van digestaat is meer homogeen dan van conventionele mest. Hierdoor wordt precisiebemesting beter mogelijk, waarbij de bemesting wordt afgestemd op de perceels- en gewasbehoeften aan mineralen.

Met een combinatie van gesloten opslag, snelle verwerking, scheidingstechnieken en vergisting is de productie van duurzame energie uit drijfmest eveneens goed mogelijk. Dit kan zowel op de boerderij als op regionaal niveau. Op deze manier wordt de uitstoot van broeikasgassen (als gevolg van opslag en uitrijden) aanmerkelijk gereduceerd [Peeters et al., 2011].

Ook rioolslib is een voor de winning van energie belangrijke reststroom. Rioolslib is het restproduct bij afvalwaterzuiveringsinstallaties, zoals in figuur 19. Dit (primaire en secundaire) slib is direct bruikbaar voor vergisting. In Nederland is slibvergisting een bekend procesonderdeel op de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI). Het biogas dat ontstaat bij slibvergisting, kan duurzaam

worden benut in de nabije omgeving. Een andere mogelijkheid is het biogas op te waarden tot groen gas en het in te voeren in het aardgasnet (zie kader op pagina 49). Ook is slibvergisting een goede manier om stikstof en fosfaat te concentreren, zodat het proces werkt als 'nutriëntenfabriek'.

Een RWZI levert schoon water en kan energie produceren. Maar daarnaast kan ze ook diensten bewijzen bij het terugwinnen van waardevolle mineralen, zoals stikstof, kalium en fosfaat. Op dit moment gaan deze stoffen bij het vergistingsproces vaak nog verloren, wat niet duurzaam is. Onder andere fosfaat is een eindige grondstof en een essentiële bouwstof voor micro-organismen, planten, dieren en mensen. Terugwinning van fosfaat is alleen zinvol als de stof in voldoende hoge concentraties aanwezig is. Het voordeel van vergisting is dat het digestaat mineralen bevat in een hoge concentratie. Terugwinning van fosfaat is goed mogelijk en maakt het gebruik van rioolslib voor de energiewinning tot een duurzame optie.

Naast mest en rioolslib kunnen ook landbouwresiduen en GFT-afval worden vergist tot biogas. Denk bij landbouwresidu bijvoorbeeld aan het loof van aardappelen en suikerbieten. Hiervan kan echter maar een fractie duurzaam worden gebruikt voor bio-energie. Een deel van de reststoffen wordt namelijk ondergeploegd ter



Figuur 19 Rioolwaterzuiveringsinstallatie in Epe. Bron: DHV

bevordering van de bodemkwaliteit. Ook hier geldt overigens dat er alleen sprake is van een gesloten kringloop als het digestaat wordt ingezet op het land.

In 2007 heeft de Vereniging Afvalbedrijven opdracht gegeven aan het onderzoeksinstituut IVAM om een levenscyclusanalyse te doen van drie verwerkingsopties voor GFT-afval: composteren, batchgewijs vergisten (met nacomposteren) en continu vergisten (met nacomposteren). Op dit moment wordt GFT-afval vooral verwerkt tot compost (figuur 20). Deze compost wordt meestal ingezet als grondstof voor de landbouw en kan dan dus niet worden benut voor energieproductie. Toch hoeft dit voor de productie van biogas

#### VOORBEELDPROJECT

##### *RWZI vergisting in Apeldoorn en Beverwijk*

Op de RWZI Apeldoorn is een aantal grote stappen gezet in de richting van een energieneutrale bedrijfsvoering. Een van die stappen is de teruglevering van restwarmte. Hiervoor is Waterschap Veluwe een samenwerkingsverband aangegaan met energiebedrijf Essent en de gemeente Apeldoorn. Het waterschap en Essent hebben een contract ondertekend voor de levering van restwarmte, ten behoeve van de verwarming van 2500 nieuwbouwwoningen in de wijk Zuidbroek. De levering van deze groene warmte leidt tot een CO<sub>2</sub>-reductie van 50 tot 65%. Daarnaast heeft Waterschap Veluwe op de RWZI Apeldoorn een covergister in gebruik genomen die externe afvalstromen meeergist, waardoor de biogasproductie sterk toeneemt. De vergister is bovendien voorzien van een nageschakelde DEMON-reactor. Deze zorgt ervoor dat het stikstofrijke digestaat dat vrijkomt bij de vergisting, op een energie-efficiënte manier wordt nabehandeld.

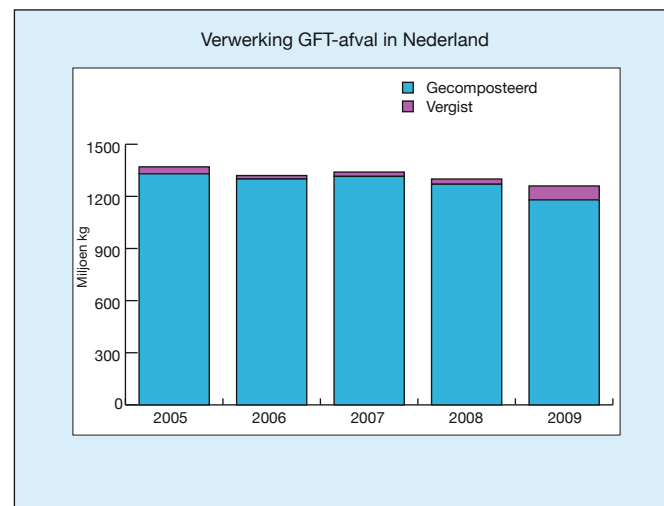
Op de RWZI in Beverwijk werd in het verleden het biogas dat vrijkwam bij de slibvergisting, gebruikt voor twee gasmotoren en twee cv-ketels. De gasmotoren zorgden voor warmte en elektriciteit en de cv-ketels werden ingezet als er een warmtetekort was. Het teveel aan biogas werd destijds afgefakkeld. Toen in 2006 de wkk aan vervanging toe was, besloot Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier om een nieuwe biogasinstallatie te bouwen, die biogas reinigt tot aardgaskwaliteit. Dit groene gas wordt geïnjecteerd in het gasnet. Per dag levert deze installatie circa 2000 m<sup>3</sup> groen gas, voldoende voor ongeveer 400 huishoudens.

uit GFT-afval geen probleem te zijn, als gekozen wordt voor nacomposteren, zoals bij batchgewijs of continu vergisten ook gebeurt.

De resultaten van de levenscyclusanalyse zijn weergegeven in figuur 21. De verschillende milieueffecten zijn hier onder één noemer gebracht, wat leidt tot een milieueffectscore per optie. Een positieve score betekent milieubelasting, een negatieve score betekent vermeden milieubelasting.

Duidelijk is dat beide opties van eerst vergisten en vervolgens nacomposteren beter scoren dan alleen composteren. Batchgewijs vergisten levert ten opzichte van alleen composteren een extra CO<sub>2</sub>-reductie op van 51 kg per ton GFT-afval en continu vergisten levert zelfs een extra CO<sub>2</sub>-reductie op van 141 kg. Bij benutting van warmte loopt dit op naar 223 kg per ton. Ondanks de energieproductie ontstaat er ook nog steeds compost. De combinatie levert dus vooral een efficiëntere verwerking van het GFT-afval op.

Er is redelijke consensus over het feit dat reststromen de belangrijkste bron zijn voor de productie van bio-energie in Nederland. Opwekking van energie uit reststromen kan daadwerkelijk duurzaam plaatsvinden. Toch blijven ook voor reststromen indirecte



Figuur 20 Verwerking van GFT-afval in Nederland (gecomposteerd en vergist) van 2005 tot 2009. Bron: Agentschap NL

duurzaamheidseffecten van belang. Sommige reststromen hebben al een nuttige toepassing als veevoer. Als deze producten aan de veevoermarkt worden onttrokken, zou dat kunnen leiden tot een stijging in de soja-import uit bijvoorbeeld Brazilië en mogelijk tot negatieve effecten op de biodiversiteit. Dergelijke negatieve effecten hoeven niet per se op te treden, maar de mogelijkheid moet wel meegewogen worden in een duurzaamheidsanalyse.

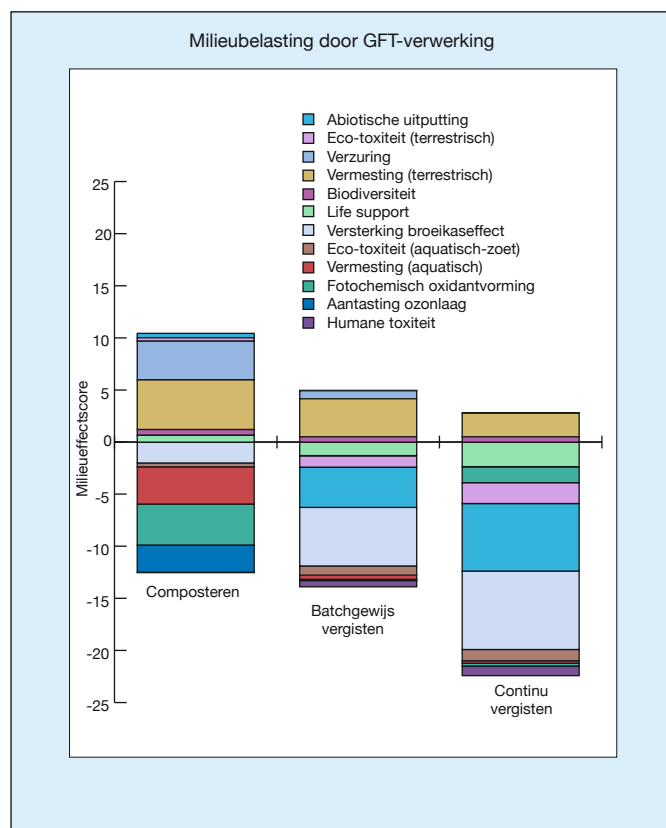
### 3.7 Geïmporteerde biomassa

Nederland produceert niet genoeg biomassa om de eigen doelstellingen voor 2030 te realiseren. Daarom is import van biomassa noodzakelijk. De handel in biomassa is fors gestegen in de afgelopen jaren (figuur 22). Daarbij domineert de handel in hout-

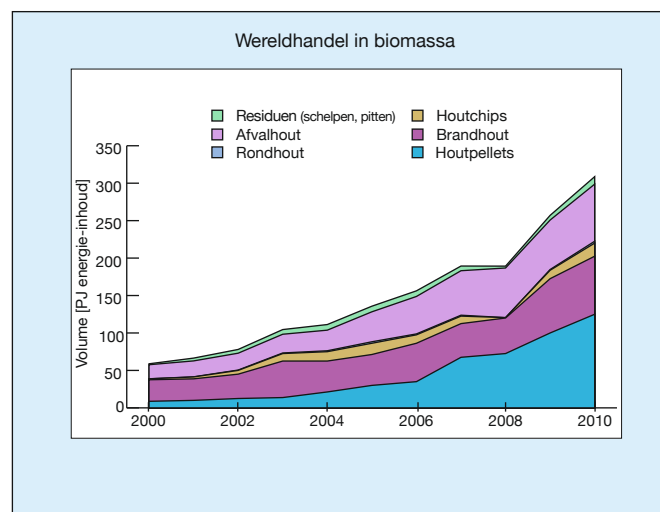
achtige biomassa en vloeibare brandstoffen zoals bio-ethanol en biodiesel. Natte biomassa als mest en rioolslib wordt niet in die vorm getransporteerd omdat de energetische waarde van het materiaal te laag is; verplaatsen is eenvoudig niet rendabel. De International Energy Agency (IEA) heeft de verwachting uitgesproken dat de handel in biomassa zich zal ontwikkelen tot een *global commodity market*.

Biomassahandel is in het afgelopen decennium vooral geconcentreerd geweest op Europa (figuur 23). Dit is te danken aan het duurzame energiebeleid en de EU-doelstelling om in 2020 minimaal 14% van de energieproductie duurzaam op te wekken. Biomassa is hierbij een belangrijke bron voor duurzame energie.

Zoals gezegd gaat het bij de internationale biomassahandel vooral om houtige biomassa in de vorm van brandhout, resthout, houtsnippers, houtpellets en rondhout. In figuur 23 zijn dan ook de belangrijkste handelsstromen voor houtpellets weergegeven, waarbij opvalt dat ze allemaal eindigen in Europa. De grootste exportlanden van houtpellets zijn Canada, de Verenigde Staten en Rusland. Marktkenner verwachten dat deze vorm van biomassahandel flink zal groeien. Ook zal Zuid-Amerika als exporteur steeds belangrijker worden [Pilgrims, 2010].



Figuur 21 Levenscyclusanalyse van het composteren en vergisten van GFT-afval. Bron: Vereniging Afvalbedrijven

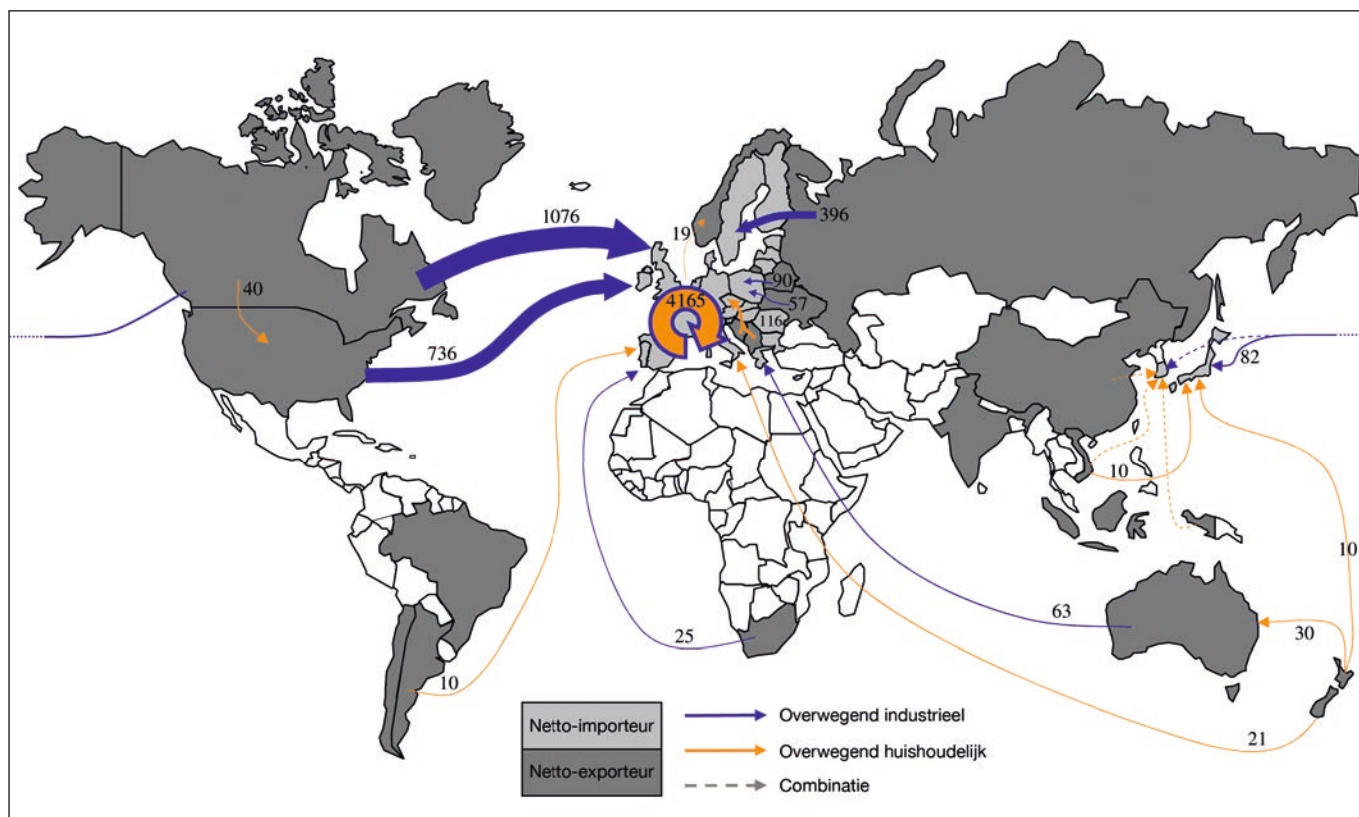


Figuur 22 Wereldwijde handel in vaste biomassa (in PJ). Bron: [Lamers et al., 2012]

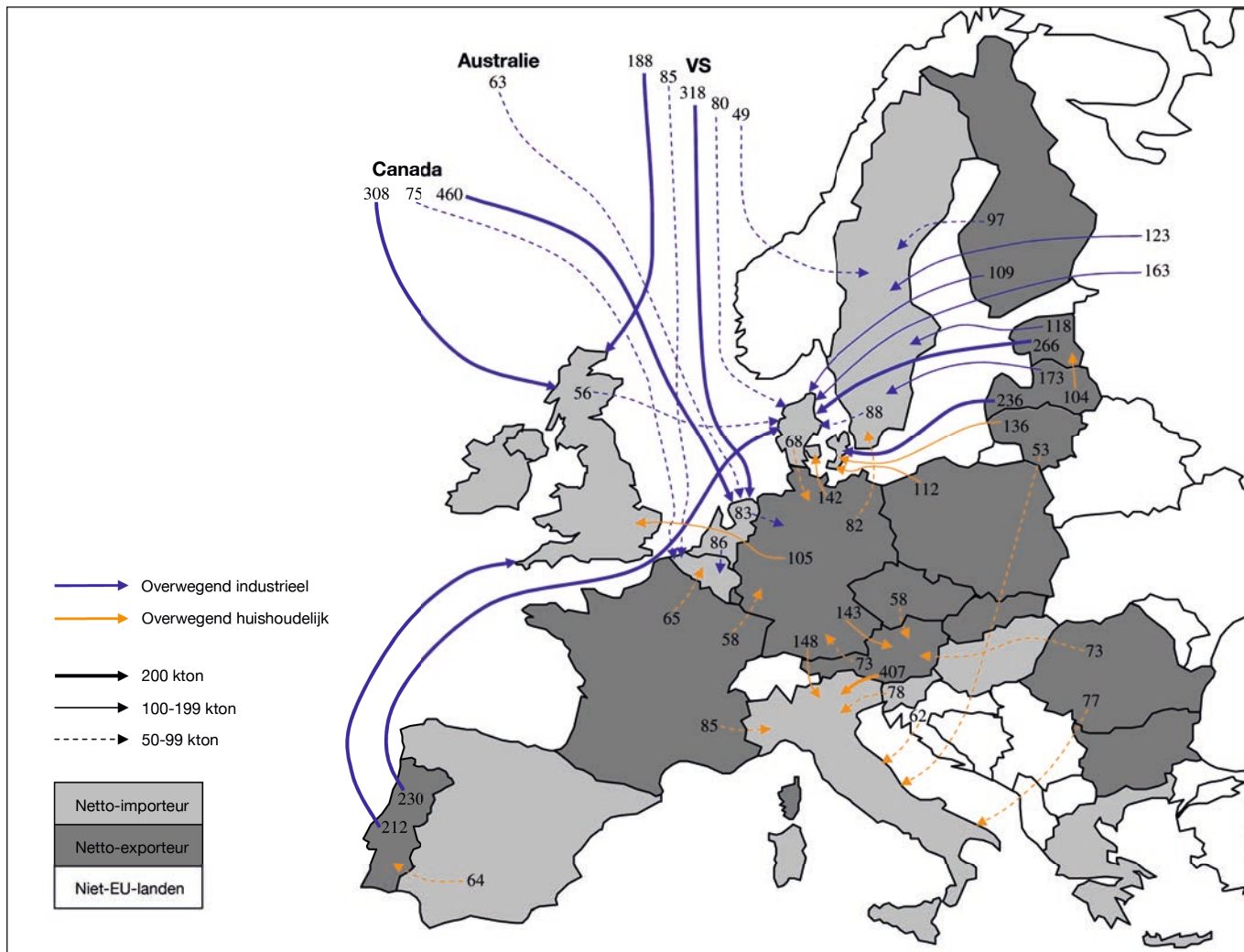
Nederland importeerde in 2010 841 kton aan houtpellets (figuur 24 op pagina 52). Daarvan werd 169 kton weer doorgevoerd naar België en Duitsland, waaruit blijkt dat de Rotterdamse haven een belangrijke positie heeft in de biomassahandel binnen Europa. Het is de ambitie van de haven om deze rol als energiehaven met de ontwikkeling van biomassa als nieuwe energiedrager verder uit te bouwen.

De meeste pellets worden in Europa gebruikt voor het verwarmen van huishoudens, gevolgd door stadsverwarming en grootschalige energieproductie. Dat laatste is vooral in Nederland populair. Door middel van vergassing (hoofdstuk 5) kunnen houtpellets ook gebruikt worden voor de productie van groen gas.

Een groeiende handel in biomassa heeft zeker voordelen. Zo wordt de markt transparanter en dat zorgt voor concurrerende prijzen. Voor Nederland is het nu al efficiënter om hout te importeren dan zelf te produceren. Maar ook hier geldt dat de duurzaamheid van geïmporteerde biomassa aandacht vraagt. Voor bedrijven is het vaak moeilijk om aan te tonen dat hun geïmporteerde biomassa daadwerkelijk duurzaam is. Daarom heeft de Nederlandse overheid het programma Duurzame Biomassa-import in het leven geroepen. Dit programma subsidieert vijftien projecten, waaronder het project Pellets for Power, dat wordt beschreven op pagina 53.



Figuur 23 Handelsstromen in houtpellets over de hele wereld. De donkergrijs ingekleurde landen zijn netto-exporteurs, de lichtgrijze landen zijn netto-importeurs en de landen in het wit spelen geen rol in de handel. Bron: [Lamers et al., 2012]



Figuur 24 Importstromen van houtpellets in de verschillende landen in Europa. Bron: [Lamers et al., 2012]

**VOORBEELDPROJECT***Pellets for Power*

Pellets for Power is een project dat de pelletproductie in Oekraïne stimuleert. Oekraïne is van oudsher een gebied met enorme agrarische productiemogelijkheden. Het land heet niet voor niets de 'graanschuur van Europa'. Samen met Oekraïense en Belgische onderzoeksinstituten ontwerpt Wageningen Universiteit een businessmodel voor de productie van gecertificeerd duurzame biomassapellets in Oekraïne.

Het project brengt de groeiende Europese vraag naar energie uit biomassa samen met een potentieel aanbod van biomassa in Oekraïne, een aanbod dat op dit moment niet gebruikt wordt. Dit biedt economische kansen voor Oekraïne en draagt zo bij aan lokale werkgelegenheid en lokale energievoorziening. De grotendeels onderbenutte bijproducten stro en riet worden onderzocht. Deze materialen kunnen worden verwerkt tot energiepallets. Daarnaast wordt het potentieel van de gewassen *switchgrass* en *miscanthus* onderzocht. Deze planten leveren hoge opbrengsten tegen lage kosten. De ketens worden met nieuwe biomassastandaarden (zoals de NTA 8080) beoordeeld op economische haalbaarheid en op duurzaamheid.

Bron: Wageningen UR



Figuur 25 Houtpellets. Foto: Shutterstock

**3.8 Potentieel van biomassa**

Welke rol kan biomassa nu daadwerkelijk spelen in de nationale en mondiale energievoorziening? De verwachtingen zijn hooggespannen. Maar of de productie en het gebruik van biomassa daadwerkelijk zullen groeien, is van diverse factoren afhankelijk. Belangrijk zijn onder meer het beschikbare landbouwareaal, de productiecapaciteit en de efficiency van de verwerkingsprocessen.

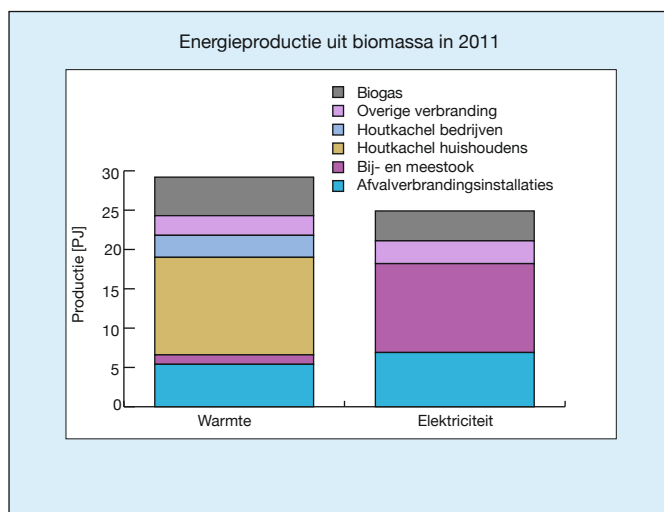
Het is dus de vraag hoeveel grond er nog extra beschikbaar is in de wereld – boven op de 1500 miljoen hectare die nu al gebruikt wordt voor agrarische activiteit – voor de productie van biomassa. Verschillende studies [Fischer et al., 2001; Koning et al., 2008; Luyten, 1994] geven schattingen die impliceren dat er in eerste instantie een enorm groeipotentieel is voor het landbouwareaal. Meer waarschijnlijk is een gematigde groei [Van Diepen et al., 2009].

De maximale productiecapaciteit van een gebied is overigens sterk afhankelijk van de aan- en afvoermogelijkheden, het aantal verwerkingsinstallaties en hun efficiëntie. Die efficiëntie wordt weer beïnvloed door het type biomassa dat verwerkt wordt.

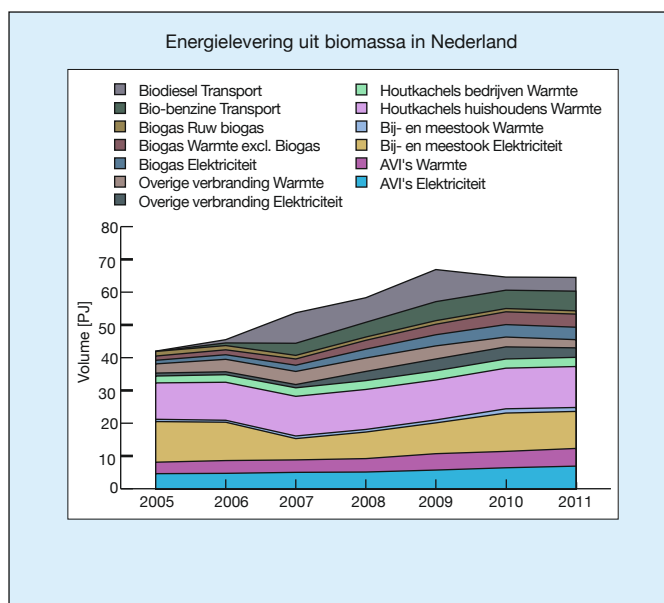
Onzekerheden over het beschikbare landbouwareaal hebben tot grote verschillen in potentieelstudies geleid. Ook de interpretatie van het begrip duurzaamheid draagt bij aan die verschillen. Zodra rekening gehouden wordt met de duurzaamheidscriteria die in dit hoofdstuk zijn beschreven, lijken al te optimistische scenario's onhaalbaar. Het verschil in potentieelstudies is dus vooral toe te schrijven aan weging van de duurzaamheidscriteria [CE Delft, 2012]. Het Europees Milieuagentschap (EEA) heeft verschillende Europese potentieelstudies voor bio-energie doorgevoerd. De verschillen zijn weergegeven in tabel 5.

Biomassa uit...	Landbouw	Bosbouw	Afval	Totaal
Lage schatting	4.4	1.6	4.3	10
Gemiddeld	6.0	1.8	4.0	11
Hoge schatting	8.0	2.3	4.0	14

Tabel 5 Schattingen van biomassapotentieel in de EU tot 2030, uitgedrukt in EJ primaire energie. Bron: CE Delft



Figuur 26 Links: bruto finale warmteproductie met bio-energie in 2011 (PJ). Rechts: bruto finale elektriciteitsproductie met bio-energie in 2011 (PJ). Bron: CBS



Figuur 27 Aandeel biomassa (in PJ) in Nederland van 2005-2011. Bron: CBS

In de tabel geldt dat bij de lage schattingen de duurzaamheids-criteria strikter meegewogen zijn dan bij de hoge schattingen. In de studies die een breed spectrum van duurzaamheids-criteria meewogen, schatten de onderzoekers de beschikbaarheid van duurzame biomassa op 40 tot 80% van het totale technisch potentieel in de EU. Sommige studies komen zelfs nog lager uit. Het gebrek aan consensus over de duurzaamheids-criteria is toe te schrijven aan het gebrek aan beleid op dit gebied. Onder beleidsmakers werd tot voor kort nauwelijks onderscheid gemaakt tussen duurzame en niet-duurzame vormen van biomassa.

### 3.8.1 Stand van zaken in Nederland

In 2011 werd in Nederland al ruim 64 PJ bio-energie in bruto finale eindgebruik opgewekt. Ongeveer de helft van de biomassa was geïmporteerd; de andere helft was afkomstig uit eigen productie. Van het totaal van 64 PJ werd 8,7 PJ opgewekt door middel van biogas en ingezet voor de productie van elektriciteit en warmte. Het grootste aandeel biomassa werd verbrand in houtkachels van huishoudens (12,4 PJ) en bijgestookt in grote elektriciteitscentrales (11,3 PJ). Zie ook figuur 26.

Volgens de meeste recente scenario's blijft biomassa tot 2020 de belangrijkste hernieuwbare energiebron, al zal het aandeel wel afnemen doordat andere hernieuwbare bronnen sterker groeien. Dezelfde scenario's voorspellen ook dat met het huidige overheidsbeleid de doelstelling van 14% duurzame energie in 2020 niet gehaald wordt, maar dat Nederland blijft steken tussen de 9 en 12%. In 2010 en 2011 is de groei in het totale eindgebruik van bio-energie enigszins afgevlakt ten opzichte van 2009. In de jaren daarvoor was juist een sterke groei te zien. De oorzaak van de afgenomen groei is de sterke daling in de inzet van biobrandstoffen in het wegverkeer. Deze daling werd gecompenseerd door een sterke toename van de hoeveelheid biomassa voor bijstook in elektriciteitscentrales, waardoor de totale inzet gelijk bleef (figuur 27).

In eerste instantie werd het gebruik van biobrandstoffen in het wegverkeer gestimuleerd, onder meer door de Europese richtlijnen voor hernieuwbare brandstoffen uit 2003. Later ontstond er discussie over de wenselijkheid van biobrandstoffen in het wegverkeer. De reductie van broeikasemissies bleek zeer beperkt

te zijn, of zelfs negatief als alle indirecte effecten worden meegenomen. Daarnaast concurreren biobrandstoffen vaak met de voedselproductie, waardoor voedselprijzen stijgen. Ook worden natuurgebieden bedreigd door een toename van de teelt van gewassen voor biobrandstoffen. Om deze redenen heeft de Nederlandse overheid haar doelstellingen voor het bijmengen van biobrandstoffen in het wegverkeer bijgesteld.

Ondanks de toegenomen meestook van biomassa in centrales kan ook deze vorm van biomassagebruik sterk verschillen van jaar tot jaar. De reden hiervoor is dat de investeringskosten voor meestoken relatief laag zijn. Hierdoor kunnen eigenaren van elektriciteitscentrales snel reageren op marktveranderingen en wijzigingen in wettelijke verplichtingen.

Bij andere grootschalige toepassingen van biomassa, zoals afvalverbrandingsinstallaties, is het beeld veel stabiel. Hierbij zijn de investeringskosten aanzienlijk; als een installatie eenmaal is gebouwd, is het voor de eigenaar van belang de installatie zo goed mogelijk in te zetten. Daar komt bij dat het overheidsbeleid erop gericht is zo weinig mogelijk afval te storten. Ook importeert Nederland afval, onder meer uit het Verenigd Koninkrijk. Dit zorgde ervoor dat de beschikbare verwerkingscapaciteit volledig werd benut.

De laatste jaren is de grootste groei te zien bij de verbranding van biomassa. In Nederland zijn drie middelgrote verbrandingsinstallaties gebouwd die elektriciteit opwekken door middel van verbranding van afvalhout en kippenmest. Al met al is de verbranding van biomassa verantwoordelijk voor ruim 80% van de energieopwekking met biomassa in Nederland [Agentschap NL, 2012].

Een andere sterke groeier was de productie van biogas. Er zijn plannen om een aanzienlijk deel van de gasvoorziening met groen gas in te vullen.

- De productie van biogas uit RWZI's is de laatste jaren min of meer stabiel en is goed voor ongeveer 2% van het eindverbruik hernieuwbare energie. In ruim tachtig RWZI's wordt biogas gewonnen en nuttig gebruikt. De laatste jaren wordt meer biogas omgezet in elektriciteit, terwijl de directe verbranding in andere processen iets afneemt. De verwachting is dat de totale

productie van biogas uit RWZI's zal stijgen door het vergroten van de biogasproductie, door betere benutting van biogas en door betere benutting van restwarmte.

- De productie van hernieuwbare energie uit stortgas lijkt over haar hoogtepunt heen. De afname wordt veroorzaakt doordat er steeds minder afval wordt gestort sinds het begin van de jaren negentig. In 2011 leverde stortgas nog ongeveer 1% van het eindgebruik van hernieuwbare energie.
- De productie van hernieuwbare energie uit covergisting van mest vlakke even af vanaf 2009. In de daaraan voorafgaande jaren (2005-2009) was er telkens een stijging van zo'n twintig nieuwe vergistingslocaties, terwijl er in 2010 maar zes bij kwamen. Dit had te maken met het ontbreken van een subsidieregeling voor nieuwe installaties, nadat de bestaande subsidieregeling in 2006 was stopgezet. De verwachting is dat onder een nieuwe subsidieregeling het aantal installaties voor de vergisting van mest weer zal toenemen. Die invloed was bij het schrijven van dit boek nog niet zichtbaar. Eind 2010 waren er 94 vergistingsinstallaties, die samen voorzagen in ongeveer 5% van de totale hernieuwbare energie in Nederland.
- Ook de productie van hernieuwbare energie uit andere biogasbronnen (onder meer GFT-afval of andere natte organische afvalstromen) neemt de laatste jaren toe, al vlak de toename wel af. De toename betreft met name nieuwe projecten waarbij elektriciteit wordt gemaakt uit biogas.

### 3.8.2 Potentieel van biomassa in Nederland

Het is niet eenvoudig om een goed beeld te schetsen van het biomassapotentieel in Nederland. Vaak wordt gesproken over de beschikbaarheid van biomassa in plaats van over het potentieel. Hierbij is het 'potentieel' vaak synoniem voor het technisch potentieel, en 'beschikbaarheid' voor het potentieel na meewegen van de duurzaamheidscriteria.

Ondanks de grote verschillen wordt de totale beschikbaarheid van de hoeveelheid biomassa in Nederland geschat op 54 tot 94 PJ per jaar aan finale energie (figuur 16 op pagina 46), dus na conversies [Koppejan et al., 2009]. Deze schatting is gebaseerd op een aantal potentieelstudies en vier scenario's, die ieder een ander wereldbeeld schetsen. In het minst gunstige scenario is er weinig ontwikkeling, waardoor het grootschalige gebruik van tweede generatie biomassa uitblijft en Nederland een bescheiden

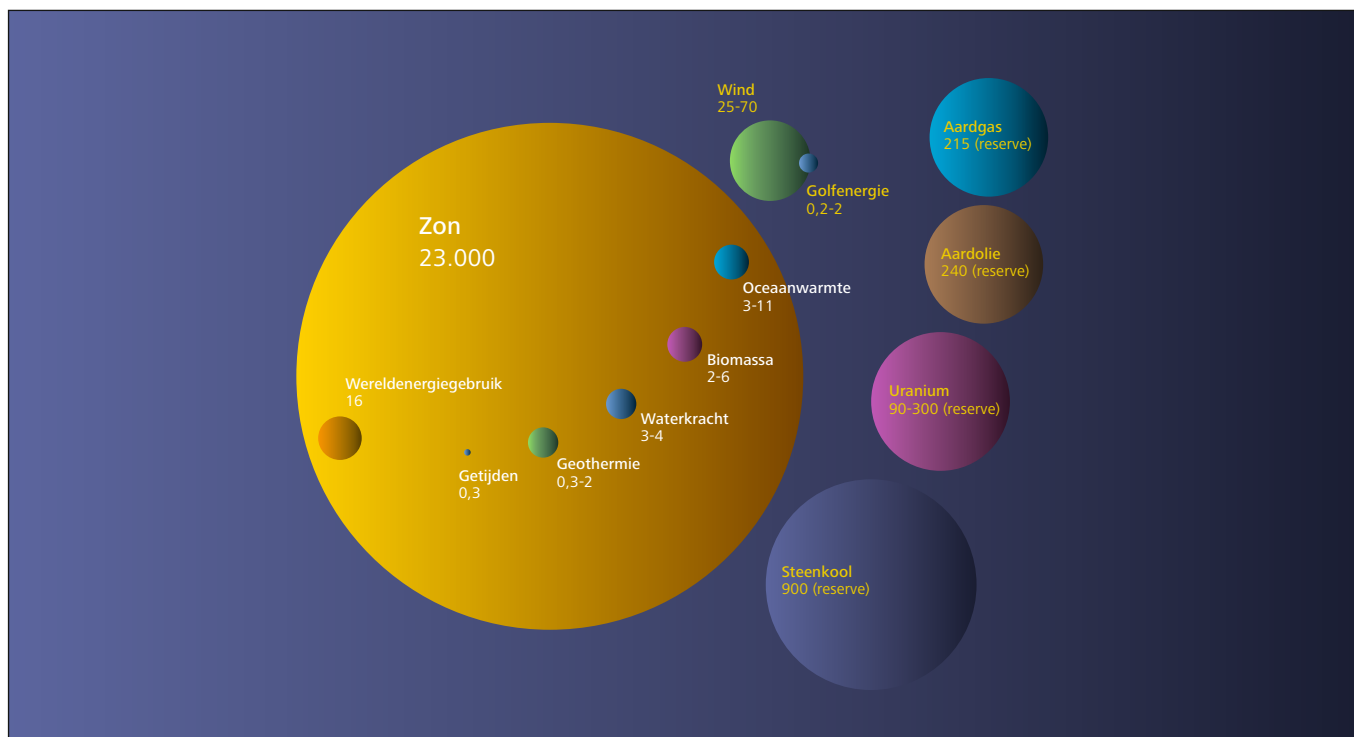
rol speelt op de biomassamarkt. In het meest gunstige scenario wordt het gebruik van biomassa flink gestimuleerd, waardoor de biomassaproductie zich snel kan ontwikkelen. Zoals besproken verschilt per studie hoe zwaar duurzaamheidscriteria worden meegewogen.

De beschikbaarheid van biomassa voor elektriciteit en warmte in 2020 kan zodanig toenemen dat, uitgaande van scenario 4, hiermee 101-157 PJ aan fossiel brandstofgebruik vermeden kan worden. Dit komt overeen met 3,4 tot 5,4% van het totale verwachte primaire energieverbruik in 2020. Daarnaast wordt zo per jaar de emissie van ongeveer 3,1 Mton CO<sub>2</sub> vermeden. Dit betekent dat als alle biomassa in Nederland wordt ingezet, de overheid hiermee ongeveer een derde van de doelstellingen voor duurzame energie kan invullen.

Het grootste potentieel voor biomassa in Nederland ligt bij reststromen, waaronder mest. Vrijwel al deze reststromen kunnen worden ingezet voor de productie van biogas. In potentie kan dus ongeveer 90 PJ aan biogas worden geproduceerd. Dit is echter sterk afhankelijk van het doel waarvoor biomassa wordt ingezet. Weliswaar is de afgelopen jaren een stijging te zien in de productie van biogas, maar het aandeel biogas is nog relatief klein.

### 3.8.3 Biomassa in mondiaal perspectief

Naar de mondiale beschikbaarheid van biomassa is veel onderzoek gedaan. De verschillen in uitkomst zijn groot: van een tiende van de energievraag in 2050 tot anderhalf keer diezelfde energievraag. Ondanks deze verscheidenheid aan uitkomsten kan het biomassapotentieel uit residuen van landbouw en



Figuur 28 Vergelijking van het wereldwijde potentieel per beschikbare energiebron (in TW/jr). Voor fossiele brandstoffen zijn de totale reserves weergegeven, voor de duurzame energiebronnen het jaarlijks potentieel. Bron: [Perez et al., 2009]

bosbouw wereldwijd worden geschat op ongeveer 100 EJ primaire energie. Dit is 20% van het huidige mondiale energiegebruik [Bergsma et al., 2010] en komt neer op ongeveer 2,2 Gton vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot. Hierbij wordt uitgegaan van duurzame biomassaproductie.

Een van de koplopers op het gebied van biomassaproductie in de wereld is Brazilië. In dit land droeg biomassa in 2006 al voor bijna 30% bij aan de totale energiebehoefte [Lora et al., 2007]. Vooral de productie van suikerriet heeft een hoge vlucht genomen. Het potentieel voor het verbouwen van suikerriet, maar ook andere gewassen voor biobrandstof zoals soja, zonnebloem en Afrikaanse palm, is in Brazilië nog altijd enorm. De Braziliaanse overheid huldigt het standpunt dat het benutten van dit enorme potentieel mogelijk is zonder de voedselproductie in gevaar te brengen. Brazilië geldt momenteel dan ook als de grootste leverancier van biobrandstoffen aan Europa. Hier kunnen echter wel kanttekeningen bij geplaatst worden. Ondanks de beweringen van de nationale overheid blijkt de biomassaproductie in Brazilië lang niet altijd duurzaam te zijn [Wiskerke, 2011]. Uitbreiding van de productie gaat vaak ten koste van de oorspronkelijke bossen. ■

## Interview

### Teun van der Weg

projectmanager duurzame energie  
bij Suiker Unie



# ‘We moeten buiten kaders durven denken’

Met de bouw van twee grote, identieke biomassavergisters is Suiker Unie in één klap de grootste producent van biogas in Nederland. Het restmateriaal van de suikerbieten leent zich bijzonder goed voor vergisting, vertelt Teun van der Weg, projectmanager duurzame energie bij Suiker Unie. Toch zitten er wel wat haken en ogen aan de productie van duurzame energie. De logistiek van de suikerproductie wordt namelijk sterk bepaald door de oogstcampagne van de suikerbiet. Ook aan de achterzijde van het proces, de afzet van groen gas, loopt Suiker Unie tegen duidelijke grenzen aan. En dan is er ook nog de *food or fuel* discussie. Desondanks is Van der Weg een tevreden man. De vergister in Dinteloord draait uitstekend en die in Groningen is net in gebruik genomen.

‘Sinds de jaren zeventig produceren we al biogas. Alleen gebeurde dat toen bij onze afvalwaterzuivering. De suikerindustrie liep destijds voorop met de techniek van anaerobe waterzuivering. Het gas was eigenlijk

bijzaak; het werd ingezet als bijstook voor het drogen van bietenpulp. Door de SDE-regeling werd vergisting een paar jaar geleden veel interessanter. Ik ben voor de locatie Dinteloord betrokken geraakt bij

de bouw van de grote biovergister. Die is eind 2011 in bedrijf gesteld. Het concept dat we daar gebouwd hebben, is nu één op één ook hier bij Groningen gerealiseerd en in bedrijf genomen. En tegelijk

bouwen we in Duitsland, bij onze suikerfabriek tegen de Poolse grens, nog zo'n vergister. Energieproductie is geen bijzaak meer.'

### **Hoeveel gas produceert Suiker Unie straks?**

'In Dinteloord hadden we al een vergister van 3,5 miljoen m<sup>3</sup> gas per jaar. De twee nieuwe installaties leveren elk 10 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Daarmee zijn we denk ik de grootste biogasproducent van Nederland. We nemen straks bijna de helft van de totale biogasproductie voor onze rekening.'

### **De twee nieuwe vergisters zijn helemaal identiek?**

'Ja en ook de bedrijfsvoering is identiek. We draaien in Dinteloord nu ruim een half jaar en we zijn geen fundamentele fouten tegengekomen. Natuurlijk wel eens een leidinkje dat wat handiger had gekund,



maar verder werkt het allemaal boven verwachting. Best spannend, want we moesten in Groningen al gaan bouwen voordat de installatie in Dinteloord was opgestart. Als je eenmaal aan het bouwen bent, kun je niet meer zo gemakkelijk dingen wijzigen. Maar gelukkig was dat dus ook niet nodig.'

### **Hoe komt het dat het zo voorspoedig gelopen is?**

'Uitgangspunt voor ons project was dat we maximaal gebruik wilden maken van bewezen techniek. We zijn suikerproducent en de verleiding is groot om redenerend vanuit de suikerfabriek een vergister te bouwen. Maar we hebben bewust mensen gezocht die verstand hebben van vergisten. Dan kom je al snel in Duitsland en Zweden terecht. We zijn heel veel op reis geweest en hebben uiteindelijk een Duits ingenieursbureau gevonden. Samen hebben we alle componenten bij elkaar gezocht en zijn we tot dit ontwerp gekomen.'

### **Hoe past de vergisting in het productieproces van de suikerfabriek?**

'Een biet wordt geoogst en naar de fabriek gebracht, gewassen en in reepjes gesneden. Daarna logen we met warm water van 70 graden de sacharose uit de biet; daar maken we verder in het proces suiker en suikerstroop van. Wat overblijft is uitgeloopte biet; dat noem je dan pulp. De niet-suikers proberen we zoveel mogelijk in die pulp te houden. En die pulp is dus materiaal dat heel geschikt is voor veevoer. Echter de productie van

pulp en de afname van de pulp lopen niet synchroon. Daarom zetten we een deel van de pulp in voor vergisting. Door dat uitlogen met warm water maak je het materiaal heel toegankelijk voor de vergister. Het is geblancheerd eigenlijk.'

### **Met zo'n grote vergister produceert Suiker Unie waarschijnlijk meer gas dan het bedrijf zelf nodig heeft?**

'Nee, daar komen we lang niet aan. Hoewel we gigantisch geïnvesteerd hebben in energiebesparing – de laatste twintig jaar hebben we een reductie gehaald van veertig procent – kunnen we maar een klein deel van dat energieverbruik compenseren met ons biogas. Wat we zelf kunnen maken is ongeveer tien procent van ons verbruik. Meer kan wel, maar dan moeten we drastisch investeren in vergistingscapaciteit. Met de huidige stand der techniek kunnen we zelfs wel honderd procent halen. Maar dan kom je in een heel andere discussie terecht: *food or fuel*. Onze bietenpulp wordt voornamelijk gebruikt als veevoer. Daar is veel vraag naar. Dus als we meer pulp zouden inzetten voor de productie van biogas, concurreren we met veevoer. Dat willen wij niet.'

### **Maar kennelijk zet Suiker Unie wel een deel van die pulp in voor de productie van groen gas. Waarom is dat?**

'Primair zetten we voor de vergisting restmateriaal in dat niet wordt toegepast als veevoer. Dat vullen we aan met pulp. Het productieproces bij onze fabrieken is zo dat we in een korte campagneperiode

## Energieproductie is geen bijzaak meer

heel veel bieten verwerken. In die periode zijn de afzetmogelijkheden voor pulp beperkt. We hebben twee jaar geleden geïnvesteerd in een opslag voor perspulp, zodat we die afzetperiode wat kunnen verlengen. Maar desondanks blijft er nog een substantiële hoeveelheid over die we niet direct kwijt kunnen. Die drogen we. Dan kom je dus in de vreemde situatie terecht dat je fossiel gas gaat verstoken om pulp te conserveren. Terwijl je die pulp ook kunt inzetten om biogas of groen gas te maken. Die opties concurreren dus met elkaar. En de vraag is dan wat aantrekkelijker is: voer of gas? Dat is de afweging die we maken. Voor ons is het aantrekkelijk om een deel van onze pulp te verwerken tot groen gas.'

**Die keuze voor groen gas is wel opvallend. Suiker Unie zou het opwerken ook achterwege kunnen laten en het onbewerkte gas zelf kunnen gebruiken in de processen. Waarom gebeurt dat niet?**

'Omdat we een campagnebedrijf hebben. De bietencampagne start in september en stopt medio januari. Dat kan ook niet anders. Tijdens de campagne verbruiken we veel gas. En als alle bieten zijn verwerkt, stopt het proces. Maar de vergister gaat door. Dus dat gas moeten we dan ergens kunnen afzetten. Daarom hebben we ervoor

gekozen om al ons biogas op te werken tot aardgaskwaliteit en het in te voeden in het regionale transportnet. Zodat we het hele jaar rond dat gas kwijt kunnen.'

**De productie van de vergister loopt dus niet parallel met de bietencampagne?**

'Nee, de vergister draait het hele jaar door. Dat kan omdat we hier op deze locatie die grote biomassaopslag hebben. Wat we niet kunnen vermarkten als veevoer, slaan we hier op. Daardoor kan de vergister het hele jaar in bedrijf zijn. Dat is noodzakelijk,

anders zouden we de business case van de vergister niet rond krijgen.'

**Is die business case erg afhankelijk van de subsidie?**

'Dit soort projecten draait niet zonder subsidie. Beide installaties zijn gebouwd met SDE-subsidie. Ik denk wel dat we over twaalf jaar, als die subsidie afgelopen is en de installaties zijn afgeschreven, kunnen blijven draaien. Maar of we dan zover zijn dat we zonder subsidie een nieuwe installatie kunnen bouwen, dat weet niemand.'

### Suiker in Nederland

Teun van der Weg begon zijn loopbaan bij Suiker Unie in 1987. Aanvankelijk werkte hij in de suikerproductie; later leidde hij als manager verschillende projecten. De laatste jaren is hij projectmanager duurzame energie.

Suiker Unie is een coöperatie van suikerbientelers. De huidige coöperatie is ontstaan door fusie van verschillende kleinere coöperaties. De oudste daarvan dateert van 1899. Tegenwoordig maakt Suiker Unie deel uit van het agro-industriële concern Royal Cosun, waartoe onder meer ook Aviko (aardappelen), Sensus (inuline) en SVZ (groenten en fruit) behoren.

In de jaren zeventig maakte de suikerindustrie in Nederland een periode van marktordening door die grote invloed had op de sector. Vanaf het einde van de jaren negentig werd liberalisatie het motto, waarna marktwerking voor ordening moest zorgen. Teun van der Weg: 'Toen ik in 1987 bij Suiker Unie kwam, waren er nog tien suikerfabrieken in Nederland.

Nu zijn er nog twee: Dinteloord en Groningen. Met deze twee fabrieken verwerken we hetzelfde volume aan bieten als voorheen met tien fabrieken.'

Een paar jaar geleden waren de vooruitzichten voor de Nederlandse suikerindustrie niet gunstig. De gedachte was dat Nederland op de wereldmarkt voor suiker niet voldoende concurrerend zou kunnen zijn. Inmiddels is het tij gekeerd. Op de wereldmarkt is minder suiker beschikbaar dan was voorspeld en de prijzen liggen op een niveau waar de Nederlandse suikerfabrieken goed kunnen meekomen. Belangrijke afnemers zijn voedingsmiddelenbedrijven, waaronder de grote frisdrankenconcerns. Ondanks de grote vraag naar suiker is de Nederlandse productiecapaciteit gereguleerd vanuit de Europese Unie. Nederlandse bietenboeren zouden meer kunnen produceren, maar de regels staan een hogere productie niet toe. Daardoor stijgt de suikerprijs gestaag.



## We onderzoeken voortdurend wat we nog meer uit die biet zouden kunnen halen

### **Zijn er nog andere opties voor het gebruik van die suikerbiet? Bioplastics bijvoorbeeld?**

'Onze focus is helemaal gericht op die suikerbiet. Zo staat het ook in onze statuten: onze opdracht is het verwaarden van de biet. We onderzoeken voortdurend wat we nog meer uit die biet zouden kunnen halen. Dan kun je ook denken aan *biobased* materiaal. Sterker nog, zowel in Dinteloord als hier in Groningen hebben we op ons terrein ruimte gehouden voor bedrijven die iets in de keten kunnen betekenen. Maar ook als dat van de

grond zou komen, blijven er altijd reststromen over. Het lukt je nooit om al het restmateriaal om te zetten in bioplastics. Dus in zo'n setting past een vergistingsinstallatie perfect.'

### **Intussen blijft vergisting een complex en ondoorgankelijk proces. Zeker op deze schaalgrootte.**

'Nou ja, zo groot zijn onze tanks nou ook weer niet. We hebben vier tanks van 4.400 kubieke meter. Er zijn wel grotere, ook in Nederland wel. We hebben er bewust voor gekozen de tanks niet te groot te maken. Eerst zouden we drie tanks bouwen, maar ik wilde graag een gespiegelde installatie. Dus we hebben de totale vergisterinhoud van drie tanks verdeeld over vier kleinere tanks. Daarmee spreiden we

het risico ook een beetje. Er kan natuurlijk best eens een tank ziek worden. Vergisting blijft inderdaad voor een deel onvoorspelbaar. Laatst hadden we in Dinteloord tijdens een onweersbui plotseling schuimvorming; dat is een teken dat er iets niet pluis is. Na de bui was het weer over. Blijkbaar reageerde die bacteriemassa heel sterkt op de luchtdrukverandering. Dat hadden we vooraf niet kunnen bedenken. Wat er precies gebeurt in die vergister, dat weet eigenlijk nog niemand. Daarom stappen we er een beetje behoudend in. We moeten die installatie eerst leren begrijpen.

Een boer snapt zijn koe ook niet volledig, maar hij ziet wel of die koe gezond is. Zo zie ik die tanks ook. Waarschijnlijk komen we erachter dat we ze best nog wat zwaarder kunnen belasten.'

### **Wat gebeurt er met het slib uit die tanks?**

'Het streven is om daarmee volledig terug te gaan naar de landbouw. We zijn nog bezig met de wetgeving; dat is nu nagenoeg rond. Daarmee kunnen we de kringloop sluiten. De biet komt naar de fabriek toe, we halen koolstof eruit in de vorm van suiker en biogas en de mineralen – kalium, stikstof, fosfaten – gaan weer terug naar de akkerbouw. Niet naar die specifieke akker waar de biet vanaf komt, dat krijgen we nog niet voor elkaar, maar die kant gaat het wel op. In Brabant regelen we die afzet van digestaat via een afzetcoöperatie, dat wordt daar heel positief ontvangen. En hier in het noorden is vanuit de landbouw de vraag nog groter; het digestaat is bijvoorbeeld ook heel geschikt voor de aardappelteelt en dat komt hier in de regio veel voor. Daarom hebben we ook in het noorden gekozen voor afzet via een afzetcoöperatie, die een goede ingang heeft bij de afnemers.'

### **Verwacht u nog ontwikkelingen in de vergistingstechniek? Kan het rendement misschien nog omhoog?**

'Wij halen hier een omzettingsrendement van 85 tot 90 procent. Maar dan moet ik erbij zeggen dat wij behoorlijke gemakkelijke producten in de vergister hebben. Ik hoef niet in de weer met enzymen

en dergelijke. Maar als je bijvoorbeeld gras wilt vergisten, of andere producten met veel lignine erin, dan wordt het een stuk lastiger. Dan moet je het materiaal thermisch of enzymatisch gaan voorbehandelen. Wat onze eigen vergisters betreft: we willen nog wel kijken of we ze wat zwaarder kunnen belasten. Dus we gaan er meer materiaal doorheen halen en meten of de vergister biologisch stabiel blijft. Dat is nog wel een mooie uitdaging.'

***Dat gaat u proefondervindelijk vaststellen?***

'Ja, maar op kleine schaal. We onderzoeken dat op labschaal en met een pilot-installatie. We hebben in Roosendaal bij Cosun Food Technology Center een pilot gedraaid op de voeding van Dinteloord. Dat ging goed, ook bij hogere belastingen. We denken dan ook dat daar nog wel wat te winnen valt. En dat zou betekenen dat we met de bestaande capaciteit aan vergisters meer gas kunnen produceren. Alleen lopen we dan wel aan tegen het probleem dat we dat gas ook kwijt moeten raken. Daar knelt het. In Dinteloord moeten we soms al gas afblazen omdat het gasnet onze productie niet kan opnemen. Op warme zomernachten zou dat kunnen gebeuren. Dan zie 's avonds vanaf een uur of elf de druk in het systeem oplopen. Wij mogen maar tot 8 bar gaan. Pas vanaf een uur of vijf in de ochtend gaat de druk dan weer naar beneden. Ik denk dat als Dinteloord volop draait, we vijftien tot twintig procent van ons gas niet kwijt kunnen. Bovendien zijn er in de omgeving andere initiatieven die met groen gas aan

## *We voeden groen gas in op het regionale transportnet, zodat we het hele jaar rond dat gas kwijt kunnen*

de gang gaan. Die krijgen nu van de netbeheerder te horen dat het net vol zit, omdat Suiker Unie er al zit.'

***Wat zou er moeten gebeuren?***

'We hebben voorgesteld om een deel van het gas terug te pompen in het hogedruknets van 40 bar. Overstort noemen we dat. Technisch is dat niet zo ingewikkeld. Maar het ligt toch nogal gevoelig. Het grootste probleem is de regelgeving. De hele sector is natuurlijk erg *top-down* georganiseerd, en de fysieke netten zijn dat ook. Daardoor is het echt niet eenvoudig om iets te veranderen. Maar netbeheerder Enexis heeft het idee nu in behandeling en er komt een pilotproject om het te testen.'

***Kan groen gas in de komende decennia een significante rol gaan spelen in Nederland?***

'Groen gas is straks één van onze energiedragers. Om voldoende biomassa beschikbaar te krijgen zal de overheid nog wel wat moeten doen aan de regelgeving. Dat is momenteel de grootste bottleneck; heel veel stoffen mag je domweg niet gebruiken. Een stabiel beleid ontbreekt. En niet alleen voor groen gas. Als we in Nederland onze ambitie op het gebied van groen gas willen waarmaken – dan hebben we het over een vertienvoudiging van de huidige

productie in een paar jaar tijd – dan zullen we wel meters moeten maken op dit soort onderwerpen. We moeten buiten de kaders durven denken. Ik zie dat ook wel gebeuren. Hier in het noorden hebben we de *task force* groen gas, dat is een initiatief van Energy Valley, waarbij de politiek en het bedrijfsleven samen proberen de knelpunten op te lossen. In een transitieperiode als deze is het normaal dat je tegen knelpunten aanloopt. Dat hoort er gewoon bij. Het is echt pionieren soms; denken in mogelijkheden in plaats van moeilijkheden. Dat is hartstikke leuk.'





## Hoofdstuk 4

# Vergisting

De productie van gas uit biomassa kan op verschillende manieren plaatsvinden. In de natuur wordt onder bepaalde omstandigheden al gas geproduceerd uit biomassa: tijdens rotting van plantenresten ontstaan onder meer methaan ( $\text{CH}_4$ ) en koolstofdioxide ( $\text{CO}_2$ ). Het is mogelijk om de gasproductie uit biomassa te conditioneren en zodoende de opbrengst te maximaliseren. Dit hoofdstuk behandelt de gasproductie uit biomassa door middel van vergisting. In het volgende hoofdstuk komt vergassing aan de orde. De verwerking van dit gas tot groen gas en de toepassing van biogas en groen gas komen in latere hoofdstukken aan bod.

De geconditioneerde productie van gas uit biomassa is in essentie een streven om zo veel mogelijk methaan vrij te maken uit organische verbindingen. Hierbij zijn twee hoofdroutes te onderscheiden: vergisting en vergassing.

Bij vergisting wordt gas geproduceerd uit biomassa door microben. Dit proces is dus biochemisch van aard. De vergassingsroute produceert gas door biomassa bij een ondermaat aan zuurstof en hoge temperatuur deels te verbranden om zodoende de organische verbindingen in de biomassa te kraken tot kleinere – gasvormige – brokstukken. Vergassing is een thermochemisch proces.

De twee routes – vergisting en vergassing – hebben elk hun eigen toepassingsgebied. Voor ‘natte biomassa’ zoals mest en GFT-afval is vergisting in het algemeen de aangewezen optie om biogas te

produceren. Vergassing werkt goed voor droge biomassa, zoals houtsnippers. Dit verschil heeft een grote invloed op de toepassing van deze beide routes. Figuur 1 geeft hiervan een overzicht.

De indeling in natte en droge biomassa zijn we ook al tegengekomen in hoofdstuk 3. Dit onderscheid is niet alleen van belang bij de keuze tussen vergassen of vergisten, maar heeft ook andere gevolgen. Natte biomassa heeft door het grote aandeel water een hoog soortelijk gewicht en een relatief kleine energie-inhoud. Transport is daarom omslachtig en duur. De vergisting van natte biomassa vindt daarom over het algemeen plaats op de plek waar de biomassa beschikbaar is. Droge biomassa kan veel gemakkelijker worden getransporteerd. Het lage gewicht en de relatief grote energie-inhoud maken transport eenvoudig en rendabel.

Het conversierendement van het vergistingsproces, in termen van omzetting van organische stof in methaan, is sterk afhankelijk van de gebruikte biomassa. Dit wordt geïllustreerd in figuur 3. In alle gevallen is het rendement bij vergisten lager dan dat bij vergassen.

In hoofdstuk 5 gaan we verder in op vergassing. In dit hoofdstuk zullen we de vergistingsroute in detail beschrijven. Eerst wordt het concept van vergisting besproken, evenals de verschillende soorten biomassa die vergist kunnen worden. Vervolgens gaan we dieper in op het vergistingsproces zelf, op de verschillende typen reactoren en op de belangrijkste procescondities. Paragraaf 4.4 beschrijft de vergistingsketen van opslag tot afvoer. Het hoofdstuk sluit af met een paragraaf over innovatie bij mestvergisting.





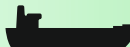


#### 4.1 Vergistingsconcepten en de kwaliteit van biomassa

Vergisting is een biologisch proces waarbij biomassa, plantaardig of van dierlijke afkomst, bij afwezigheid van zuurstof door micro-organismen wordt omgezet in alcohol, melkzuur en biogas. Micro-organismen 'eten' als het ware de in de biomassa aanwezige voedingsstoffen en produceren op hun beurt weer nieuwe

producten. Zo ontstaat in de natuur bijvoorbeeld moerasgas, en op vuilstortplaatsen komt stortgas vrij. De afbraak van het organisch materiaal bij afwezigheid van zuurstof (anaerobe vergisting) zorgt voor de productie van methaan. Dit kan vervolgens worden opgevangen en nuttig worden gebruikt. Bij aanwezigheid van zuurstof (aerobe omzetting) worden de materialen ook afgebroken, maar ontstaat geen methaan. In dit hoofdstuk beperken we ons tot anaerobe en geconditioneerde vergisting.

De meest voorkomende vorm van geconditioneerde vergisting in Nederland is mestvergisting. Andere vormen zijn vergisters op basis van groente-, fruit- en tuinafval (GFT-afval), reststromen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie (VGI) en zuiveringsslib van riool- en afvalwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's).

In figuur 3 is een overzicht gegeven van de biogasopbrengst van verschillende typen biomassa. Uit de figuur wordt duidelijk dat de energie-inhoud van de verschillende soorten biomassa behoorlijk varieert. Over het algemeen is de energie-inhoud lager naarmate het materiaal meer vocht bevat en dus minder organische droge stof. De biomassa in het bovenste deel van de grafiek wordt dan ook vooral in propstroomvergisters toegepast; de stoffen

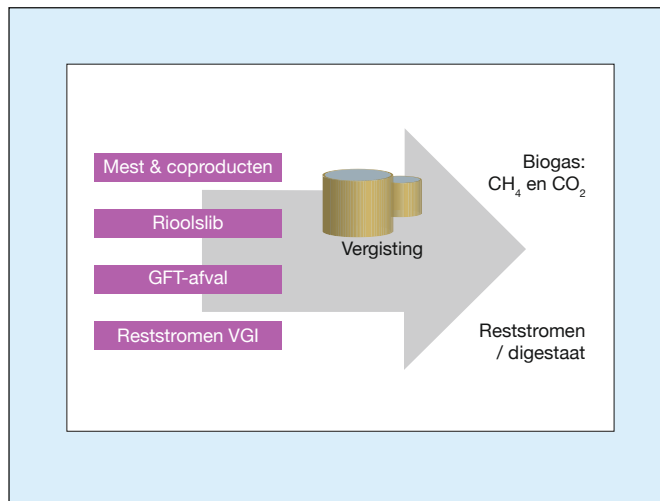
Afstand tot biomassa		Conversie	Proces	Schaalgrootte	Energiedrager	Restproduct
Intercontinentaal	Lokaal					
Mest  Slib, GFT en andere natte reststromen 		Vergisting 	Biologisch-chemisch (microben)	Kleinschalig en lokaal	Biogas (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> )	Digestaat
Houtsnippers  Houtpellets  		Vergassing 	Fysisch-chemisch	Grootschalig en centraal	Productgas (CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO, CO <sub>2</sub> )	As, teer en houtskool

Figuur 1 Vergisting versus vergassing. Voor natte biomassa is vergisting een goede optie. Droge biomassa kan worden vergast. Bron: Energy Matters

in het onderste deel van de grafiek worden eerder toegepast in geroerde vergisters (de verschillende typen vergisters worden besproken in paragraaf 4.2.2).

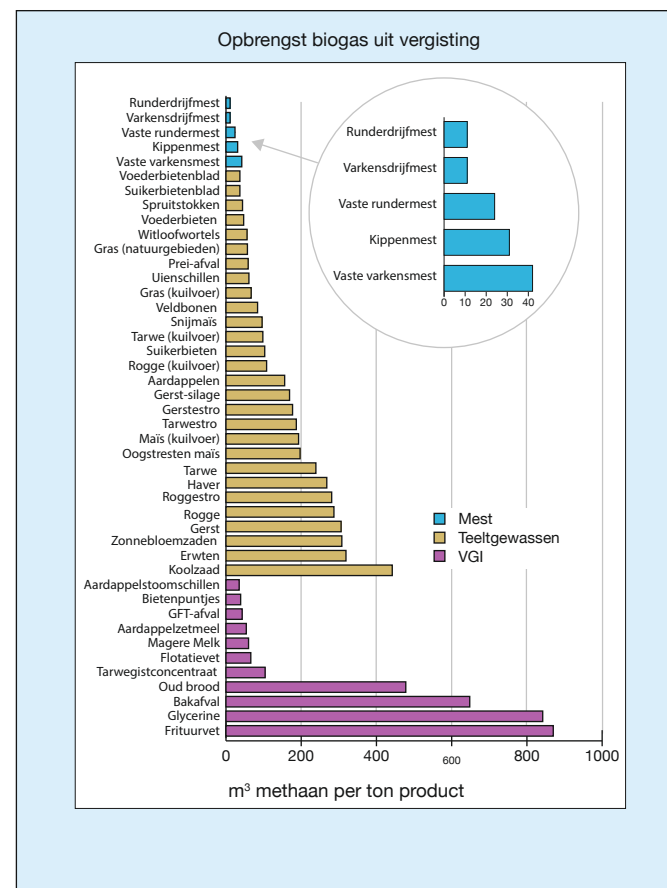
Het vergisten van pure mest is lastig als gevolg van de lage energie-inhoud. In de praktijk wordt daarom vaak gekozen voor 'covergisting'. Hierbij wordt een mengsel vergist van minimaal 50 gewichtsprocenten mest en een zogeheten cosubstraat. Als cosubstraat wordt bijvoorbeeld snijmaïs gebruikt, of bietenpulp, graanresten of reststromen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie of uit de biobrandstofindustrie. Covergisting leidt in de regel tot een hogere biogasopbrengst. Wel geeft covergisting aanleiding tot een fundamentele discussie over de rol van vergisting in de Nederlandse mesthuishouding. Zie het tekstkader over covergisting en mestproblematiek op pagina 69.

Op stortplaatsen voor huishoudelijk afval komt een eenvoudige vorm van anaeroob vergisten veel voor. Hierbij ontstaat zogeheten 'stortgas', dat kan worden opgevangen en gebruikt voor de productie van warmte of elektriciteit. De energie-inhoud van



**Figuur 2** Verschillende vormen van vergisting. De twee belangrijkste vormen van geconditioneerde biogasproductie zijn die uit natte biomassa (zoals mest en slib) en uit halfdroge biomassa als GFT-afval.

stortgas is over het algemeen vrij laag, omdat het methaan in lage concentraties vrijkomt en vaak vermengd met lucht wordt opgevangen. De hoeveelheid stortgas die vrijkomt, neemt bovendien geleidelijk af doordat in de loop der tijd de hoeveelheid biomassa op de stortplaats door de vergisting afneemt. Dit boek zal verder niet ingaan op de toepassing van stortgas, temeer omdat er in Nederland geen nieuwe stortplaatsen meer worden aangelegd.



**Figuur 3** Methaanopbrengst voor verschillende typen biomassa. Reststromen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie leveren over het algemeen een hoge methaanopbrengst. Mest heeft een lage opbrengst vergeleken met de andere categorieën. Bron: [Kool et al., 2005]

## VOORBEELDPROJECT

*Covergisting bij BioMoer Energy*

Asperge- en aardbeienteler Arno Loos exploiteert sinds 2011 een covergister-wkk. Samen met twee rundveehouders en een akkerbouwer is hij eigenaar van BioMoer Energy. De covergister zet per jaar 25.000 ton rundveemest en coproducten om in biogas. Het gas wordt met twee wkk's omgezet in groene stroom en warmte.

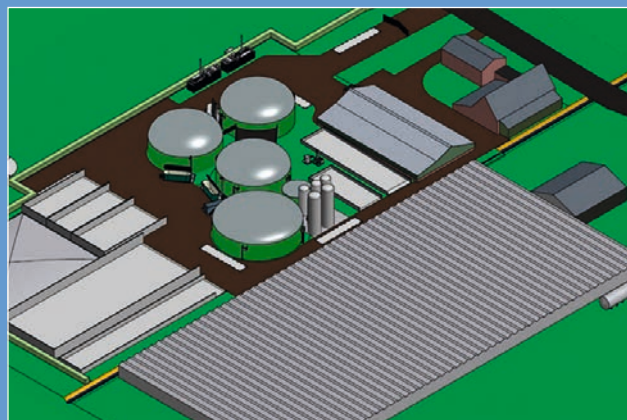
Loos gebruikt vaste en vloeibare coproducten: snijmaïs, graanresten, bietenpulp, raapschroot, ecofriet (die over de datum is) en glycerine uit een biobrandstoffabriek. Op basis van het metaanbod en de beschikbare coproducten stelt hij een menu vast voor de vergister. Dit wordt samengesteld in een mengbak, waarna het substraat aan de bovenzijde van de vergister wordt ingevoerd. Er is bewust gekozen voor een 'mesofiel' vergistingsproces (mesofiel duidt op de temperatuur waarbij de vergisting plaatsvindt: 25 tot 45 °C), omdat dit proces beter beheersbaar is dan vergisting bij 45 tot 60 °C). Indien nodig wordt met het raapschroot de temperatuur van de vergister op 45 °C gehouden.

Volgens Loos is het succes van de installatie te danken aan een gevarieerd maar constant dieet voor de anaerobe bacteriën en aan een juiste reactorgeometrie. Vijf roerwerken, die elk uur vijftien minuten draaien, zorgen voor een goede menging in de reactor. Het digestaat dat overblijft, wordt aan de onderzijde van de vergister afgevoerd en met een leiding naar de nagisttank geleid.

Met de restwarmte van twee biogas-wkk's (800 kWe en 1,2 MWe) verwarmt Loos gedurende 6,5 maand per jaar 6 hectare asperges (volle grond) en 3 hectare aardbeien (onder glas), waarvan 2,1 hectare met assimilatiebelichting. Voor de overige 5,5 maand zoeken de eigenaren nog een bestemming. Dankzij de assimilatiebelichting levert de aardbeienkwekerij van oktober tot en met juni Hollandse aardbeien. De wkk's draaien 8.100 uur per jaar en produceren 16 miljoen kWh aan elektriciteit. Met de restwarmte en een warmtebuffer van 2.000 m<sup>3</sup> bespaart Loos ongeveer een miljoen kuub aardgas per jaar. Ook wordt regenwater opgevangen en gebruikt voor de teelt. Niet-consumeerbare aardbeien worden verwerkt in de vergister. Het loof en de potgrond worden aan het einde van de teelt versnipperd en verspreid over de asperges. Het digestaat van de vergister wordt gescheiden in een dikke en dunne fractie en her-

gebruikt. De dikke fosfaatrijke fractie wordt afgenomen door enkele boomkwekerijen en de dunne fractie wordt ingezet voor bemesting van grasland en aardappelen.

In de toekomst willen de eigenaren van BioMoer Energy uitbreiden naar 50.000 ton mest en substraat. Omdat hoogwaardige coproducten duurder worden, kijken ze verder naar mogelijkheden om de processen te optimaliseren. Een optie is het gebruik van laagwaardige coproducten als gras. Voor dezelfde biogasopbrengst moet dan wel het vergistervolume uitgebreid worden. Ook het terugvoeden van de dikke fractie in de vergister is een mogelijkheid.



Figuur 4 BioMoer Energy. Boven-midden: opstelling gasmotoren in twee rechthoekige containers. Midden-links: vier grote ronde covergisters. Midden: vijf verticale opslagtanks voor vloeibaar coproduct. Midden-rechts: stal met runderen. Geheel links: sleufsilos voor opslag coproduct. Rechts-onder: aardbeikas. Geheel rechts: warmwaterbuffer.  
Bron: BioMoer Energy

### Covergisting en mestproblematiek

Het huidige concept van mestvergisting, waarbij drijfmest met coproducten wordt vergist (covergisting), leunt voor de productie van biogas per volume-eenheid zwaar op de beschikbaarheid van coproducten. Het zijn juist de coproducten die veel biogas opleveren. Maar coproducten zijn in Nederland relatief schaars ten opzichte van de hoeveelheid (drijf)mest. Wanneer een mengverhouding van 50/50 (gewichtspcenten) aangehouden wordt, is het aanbod van coproducten in Nederland slechts voldoende om 10% van de hoeveelheid drijfmest te vergisten. Geteelde energieproducten zijn dan niet meegerekend [Elbersen et al., 2011].

Doordat er onvoldoende coproducten beschikbaar zijn, leidt een groei van het aantal vergisters tot stijgende prijzen van coproducten. Het incidenteel toelaten van nieuwe producten door de overheid heeft dit probleem vooralsnog alleen tijdelijk verlicht.

Een ander nadeel van covergisting is dat het gebruik van coproducten leidt tot een groter volume digestaat (de reststof die na vergisting overblijft). Dit digestaat bevat mineralen en deze extra mineralen vallen onder de gebruiksnorm van dierlijke mest. Het paradoxale gevolg van energieproductie uit mest door covergisting is dan ook een vergroting van het mestprobleem in Nederland.

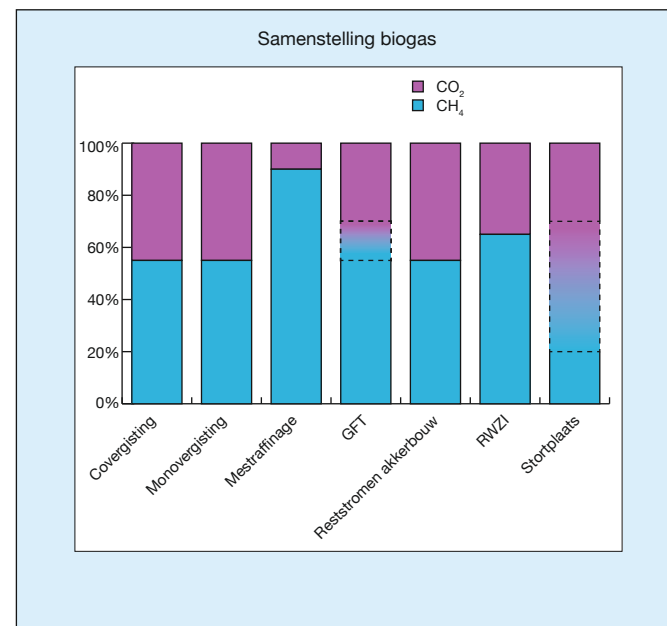
Door de relatief dure coproducten en hoge kosten voor de afvoer van digestaat is covergisting momenteel sterk afhankelijk van subsidie. Monovergisting lijkt een aantrekkelijk alternatief. Ook het ontwikkelen van methoden om bij covergisting het digestaat te bewerken en de mineralen hieruit terug te winnen en nuttig te gebruiken, kan helpen.

## 4.2 Het vergistingsproces in detail

Het vergistingsproces is een complex samenspel van verschillende biochemische reacties. Het netto resultaat is dat met name de eenvoudig afbreekbare organische stoffen worden omgezet in biogas. De lastig afbreekbare stoffen, zoals houtige biomassa, blijven grotendeels achter in het digestaat. Dit digestaat maakt circa 80% uit van het volume van de inputstroom. Het wordt als grondverbeteraar en meststof afgezet, met name in de agrarische sector. Het biogas bestaat voornamelijk uit een mengsel van methaan ( $\text{CH}_4$ ) en koolstofdioxide ( $\text{CO}_2$ ) (zie figuur 5). Daarvan is methaan de waardevolle component: dit gas wordt uiteindelijk gebruikt voor verbranding. Verder bevat het biogas waterdamp, waterstof, zwavelwaterstof en ammoniak.

Vergeleken met aardgas is biogas meestal laagcalorisch. Biogas heeft met gemiddeld  $21,5 \text{ MJ/m}^3$  een lage energiedichtheid (aardgas:  $31,65 \text{ MJ/m}^3$ ). Laagcalorisch gas kan echter opgewerkt worden naar een gasvormige of vloeibare brandstof of naar een grondstof voor de vervaardiging van kunststoffen. Dit wordt behandeld in hoofdstuk 6.

Component	Concentratie
Methaan ( $\text{CH}_4$ )	45 - 75 vol. %
Koolstofdioxide ( $\text{CO}_2$ )	25 - 45 vol. %
Waterdamp ( $\text{H}_2\text{O}$ )	2 - 7 vol. %
Waterstofsulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ )	20 - 20.000 ppm
Stikstof ( $\text{N}_2$ )	<2 vol. %
Zuurstof ( $\text{O}_2$ )	<2 vol. %
Waterstof ( $\text{H}_2$ )	<1 vol. %



Figuur 5 De samenstelling van biogas voor verschillende types biomassa.  
Bron: Agentschap NL

### 4.2.1 Biochemische reacties van het vergistingsproces

De hier beschreven vergisters werken onder anaerobe (zuurstof-arme) omstandigheden. Bij het vergistingsproces zijn veel verschillende micro-organismen betrokken. Het ene micro-organisme produceert 'afvalstoffen' die het voedsel zijn voor het andere. Het afbraakproces en de vorming van methaan, het bruikbare en brandbare gas, vindt plaats in vier fasen (zie ook figuur 6):

1. hydrolyse
2. verzuring (acidogenese)
3. azijnzuurvorming (acetogenese)
4. methaanvorming (methanogenese)

#### Hydrolyse

In de hydrolysefase worden lange complexe ketens (niet-opgeloste vetten, eiwitten en koolhydraten) omgezet in minder complexe en korte ketens (opgeloste verbindingen). Dit proces vindt plaats door inwerking van enzymen die door 'fermentatieve' bacteriën worden geproduceerd. Zo worden in de biomassa aanwezige koolhydraten omgezet tot suikers, vetten tot vetzuren en eiwitten tot aminozuren. Bij dit proces zijn eiwitten een bron van energie en koolstof en zijn de verkregen aminozuren weer bouwstenen voor de aanmaak van nieuwe bacteriën. Hierdoor houdt

het vergistingsproces zichzelf aan de gang, zolang de condities juist zijn en voldoende biomassa voorhanden is.

#### Verzuring

Na het omzetten van de niet-opgeloste organische verbindingen in minder complexe, opgeloste verbindingen volgt de verzuring- of fermentatiefase (acidogenese). In de cellen van de fermentatieve bacteriën worden opgeloste organische verbindingen (aminozuren) vervolgens omgezet in eenvoudige verbindingen zoals:

- carbonzuren (vluchtige vetzuren)
- alcoholen (bijvoorbeeld  $C_2H_6O$ )
- koolstofdioxide ( $CO_2$ )
- waterstofgas ( $H_2$ )
- ammoniak ( $NH_3$ )

Voor de verzuring van glucose is slechts vier uur nodig, voor cellulose één tot twee dagen. Voor methaanvorming van de afbraakproducten van glucose zijn vier dagen nodig en voor die van cellulose vijf tot acht dagen [Keyzers, 2006].

#### Azijnzuurvorming

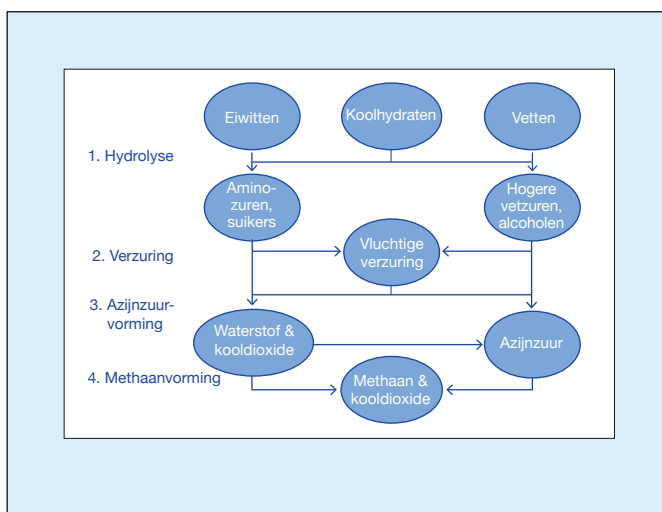
In dit proces worden in de fermentatiefase ontstane organische stoffen omgezet in waterstof ( $H_2$ ), azijnzuur ( $CH_3COOH$ ), koolzuurgas ( $CO_2$ ), methaanzuur ( $CH_2O_2$  of 'mierenzuur') en methanol.

#### Methaanvorming

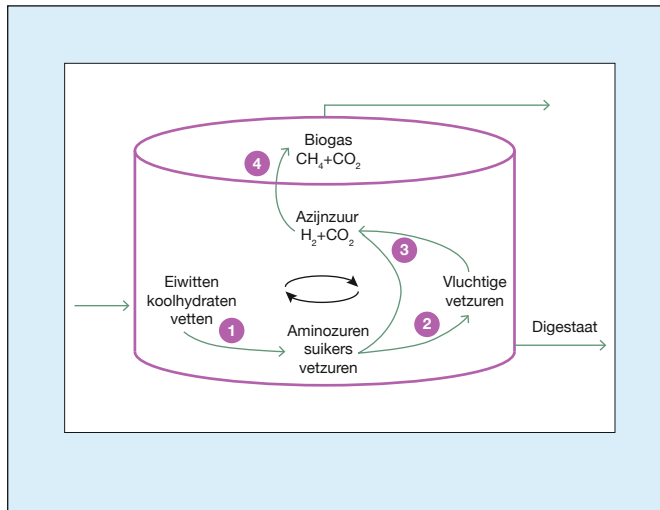
In het methanogeneseproces wordt methaan gevormd uit voornamelijk waterstof, azijnzuur en koolstofdioxide. Zuren, alcoholen en organische stikstofverbindingen die niet afgebroken kunnen worden door de aanwezige bacteriën, hopen zich op in de vergister. Zolang de 'snelheid' van de zuurproducerende en de methaanproducerende bacteriën ongeveer gelijk is, blijft de methanogenese op gang. In paragraaf 4.2.3 wordt beschreven hoe de procescondities invloed kunnen uitoefenen op de snelheid van dit proces.

### 4.2.2 Geroerde vergisters en propstroomvergisters

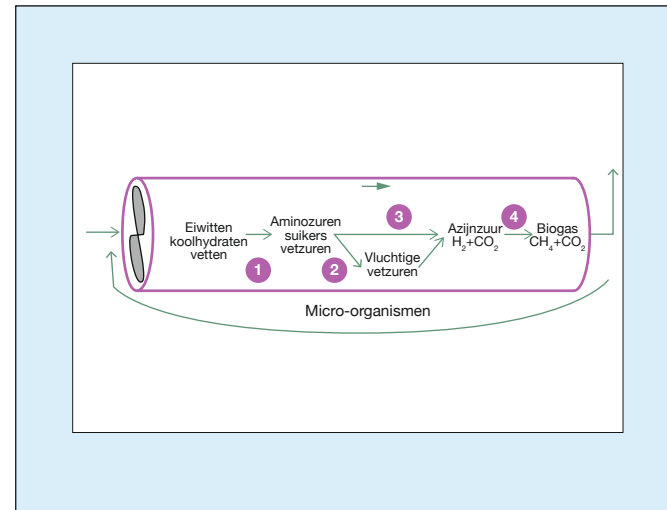
In het voorgaande werden al twee soorten vergisters genoemd: geroerde vergisters en propstroomvergisters. In geroerde vergisters vinden alle reacties continu en simultaan plaats door de gehele vergistertank (zie figuur 7). De invoer-, tussen- en eindproducten worden voortdurend gemengd. Veel mestvergisters en mestcovergisters zijn uitgevoerd als volledig geroerde vergisters.



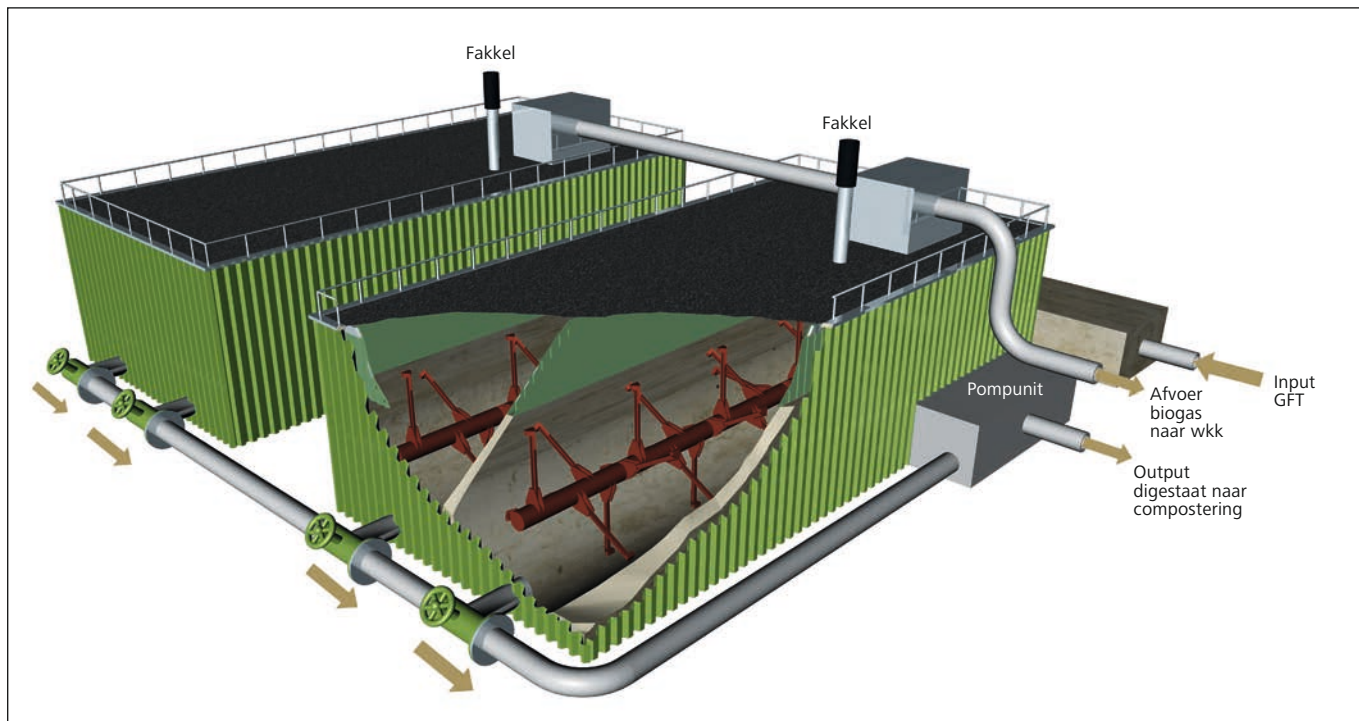
Figuur 6 Het vergistingsproces kan worden opgedeeld in vier fasen.  
Bron: [Van Nieuwenhuijzen et al., 2011]



Figuur 7 Vergistingsproces in een geroerde vergister.  
Bron: Energy Matters



Figuur 8 Vergistingsproces in een propstroomvergister.  
Bron: Energy Matters



Figuur 9 Semidroge anaerobe propstroomvergister van Axpo Kompogas. Deze installatie is opgesteld bij zowel Veluwe Afval Recycling (VAR) in Wilp als bij afvalverwerker De Meerlanden in Rijsenhout. Bron: VAR

	Sterke punten	Zwakke punten
<b>Geroerde vergister</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Door de lange verblijftijd, tot 20 à 25 dagen bij mesofiele vergisting, biedt de vergister een tijdelijke mestopslag.</li> <li>• Een mestopslagsilo kan makkelijk omgebouwd worden tot een geroerde vergister.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kan maximaal 10% droge stof vergisten.</li> <li>• Geen optimale gasopbrengst doordat niet alle mest even lang vergist wordt.</li> <li>• Digestaat niet geheel kiemvrij.</li> <li>• Veel warmte nodig om de vergister op temperatuur te houden.</li> <li>• 1/3 van de mest met methaanvormende bacteriën moet achterblijven in de vergister.</li> </ul>
<b>Propstroomvergister</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hogere biogasopbrengst bij dezelfde verblijftijd.</li> <li>• Doordat een deel van het digestaat teruggevoerd wordt, komt de biogasproductie sneller op gang en is het vergistingsproces minder gevoelig voor processtoringen en mestsamenstelling.</li> <li>• Het digestaat bevat minder kiemen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Een deel van het digestaat moet naar het begin van de vergister worden teruggevoerd.</li> <li>• Vooropslag voor mest en naopslag van het digestaat nodig.</li> <li>• Hoge investering, vooral in roerwerk en pompen. Hier staat een beter rendement tegenover.</li> <li>• Slijtage door bewegende onderdelen.</li> </ul>

Tabel 1 Voor- en nadelen van geroerde vergisting en propstroomvergisting. Bron: [Van der Leeden, 2003]

De meest gangbare mengsystemen zijn een verticale peddel, een versnijdende radiaalpompe of een dompelpompe. De aanvoer van mest en coproducten en de afvoer van digestaat verlopen gelijktijdig en het mengen gebeurt op gezette tijden. Vaak wordt het 'uitgegist' substraat overgepompt in een navergister of opgeslagen. Hier kan het digestaat tot rust komen, waarna het wordt verwerkt tot grondverbeteraar en meststof. Het biogas uit de hoofdvergister wordt vervolgens via de navergister (waar nog wat biogas vrijkomt) naar de gasbehandelingsinstallatie getransporteerd.

Een propstroomvergister of 'doorstroomvergister' is een liggende tank waarbij het substraat aan de ene kant ingebracht wordt en aan de andere kant (na vergisting) de tank verlaat (zie figuur 8). Haaks op de bewegingsrichting van het substraat beweegt het roerwerk. In een propstroomvergister vinden de biochemische reacties sequentieel plaats. De biomassa wordt langzaam door de tunnel verplaatst en daarbij komen de reacties steeds in een andere fase terecht. Op iedere plek in de vergister is dus één reactiefase dominant. In een propstroomvergister is het dan ook noodzakelijk om een deel van het digestaat (met hierin de bacteriestammen) weer in te voeren aan het begin van de tank; de bacteriën in het digestaat zorgen ervoor dat de reacties aan het begin van de vergister op gang komen.

Het organische drogestofgehalte (ODS-gehalte) van een propstroomvergister ligt met maximaal 15% hoger dan dat van een continu geroerde staande vergister (maximaal 8 tot 10%). In de praktijk wordt dit type vergister vaak gecombineerd met een navergister, waardoor de biogasproductie toeneemt.

### Keuzecriteria

De keuze tussen geroerde vergisting of propstroomvergisting wordt gemaakt op basis van de soort en de hoeveelheid biomassa, de kwaliteitseisen die gesteld worden aan het biogas, de robuustheid van de installatie, de kosten en de opbrengsten [Van der Leeden, 2003]. In veel gevallen is de beschikbaarheid van biomassa een vast gegeven, dat bepaald wordt door type vee, het aantal dieren en de bedrijfsvoering van de boerderij. Met de beschikbare biomassa ligt de hoeveelheid organische droge stof vast en daarmee de energie-inhoud. Daarnaast wordt de keuze voor een bepaald vergistingsproces gestuurd door de beschikbare ruimte: hoe langer de verblijftijd in de vergister moet zijn, hoe meer ruimte nodig is om alle biomassa te kunnen verwerken. Tabel 1 geeft een overzicht van de belangrijkste voor- en nadelen van geroerde vergisters en propstroomvergisters.

### 4.2.3 Procescondities

Een belangrijke maat voor de kwaliteit van de vergisting is het afbraakpercentage. Dit percentage geeft aan welk deel van het ODS-gehalte tijdens de vergisting wordt afgebroken. Gangbaar is een gemiddeld afbraakpercentage van 60%. Uiteraard is dit percentage afhankelijk van verschillende factoren, waaronder de verblijftijd en grootte van de substraatdeeltjes. Hoe kleiner de substraatdeeltjes en hoe gelijkmatiger de toevoer van het substraat, des te beter is het contact met de bacteriën en dus ook de biogasopbrengst.

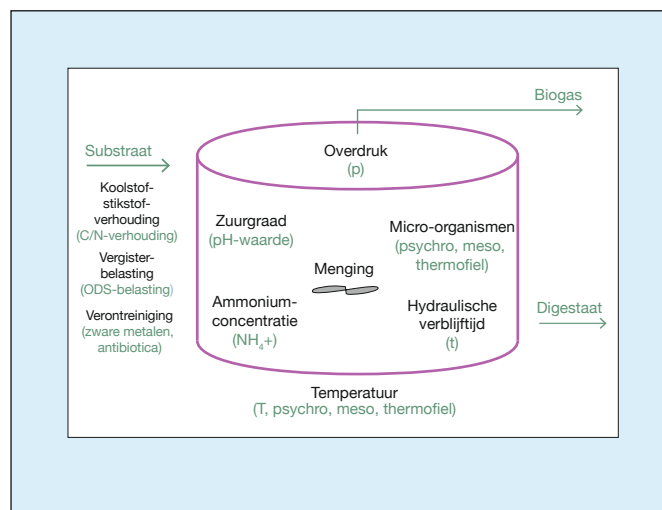
In figuur 10 zijn de factoren die een rol spelen bij de kwaliteit van de vergisting schematisch weergegeven. Deze factoren worden hieronder toegelicht.

### C/N-verhouding

De bacteriën die het vergistingsproces gaande houden, hebben voedingsstoffen nodig. Voor de eiwitvoorziening en de vermeerdering van bacteriën zijn onder meer waterstof (H), zwavel (S) en fosfor (P) nodig. Daarnaast wordt de energievoorziening van de bacteriën sterk bepaald door de verhouding tussen koolstof en stikstof (de C/N-verhouding). Bij een te lage C/N-verhouding groeien de bacteriën te langzaam; bij een te hoge C/N-verhouding kan niet alle koolstof worden omgezet. Een optimale C/N-verhouding is 30 (op basis van gewichtsaandeel).

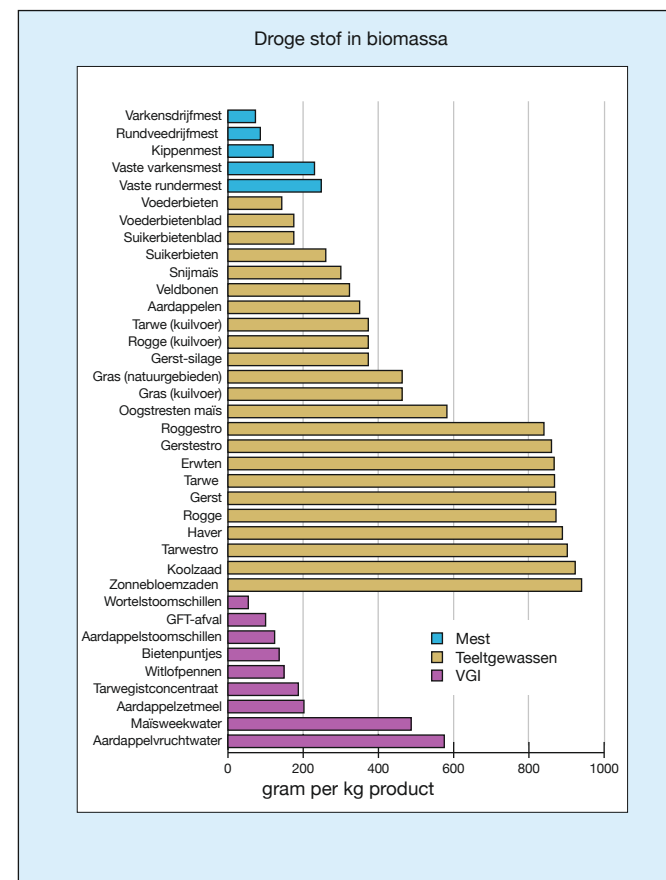
### ODS-belasting

De organische drogestofbelasting, ook wel ODS-belasting of vergisterbelasting genoemd, geeft aan hoeveel kilogram ODS per kubieke meter vergistervolume per dag mag worden ingevoerd. Typische waarden voor covergisting zijn 2 à 3 kg ODS/m<sup>3</sup>/dag. Wanneer meer dan 4 kg ODS/m<sup>3</sup>/dag wordt ingevoerd, neemt de activiteit van de bacteriën af en loopt de biogasopbrengst terug. Bij een hoog ODS-gehalte gaat het verpompen van het substraat lastig en komen de bacteriën slechter bij de voedingsstoffen. Volledig geroerde vergisters verdragen een substraat met een ODS-gehalte van maximaal 8 tot 10%.



Figuur 10 De factoren die van invloed zijn op de biogasproductie. Bron: Energy Matters

Bij propstroomvergisters of 'doorstroomvergisters' (figuur 8) is dit maximaal 15%. Algemeen geldt dat bij een hoog ODS-gehalte meer biogas wordt geproduceerd. Er wordt dus steeds gezocht naar een balans tussen biogasopbrengst (zie figuur 11 en ook figuur 3 op pagina 67) en het op gang houden van het proces. Naast deze maximale waarde voor het ODS-gehalte dient het vochtpercentage van het substraat minstens 50% te zijn en moet toetreding van licht van buitenaf zo veel mogelijk worden beperkt.



Figuur 11 Overzicht van de hoeveelheid droge stof in verschillende soorten biomassa. Bron: [Kool et al., 2005]

### Verontreiniging

Zware metalen, schimmels op het substraat, zuurstof maar ook antibioticaresten in bijvoorbeeld dierlijke mest en in slib uit de rioolwaterzuivering hebben een negatieve invloed op de groei van micro-organismen. Deze stoffen remmen het vergistingsproces, waardoor minder biogas geproduceerd wordt. Daarnaast blijven deze stoffen achter in het digestaat en kunnen ze in het milieu terecht komen als het digestaat gebruikt wordt als grondverbeteraar of meststof.

### Micro-organismen

Voor een maximale biogasopbrengst is de inzet van de juiste bacteriekolonie van belang. Bij de start van een vergister wordt daarom in veel gevallen een efficiënte bacteriekolonie van een andere vergister geënt in de nieuwe vergister. Ook wordt vaak een klein deel van de uitgaande stroom, die verzadigd is met efficiënte micro-organismen, gemengd met vers ingaand substraat. Dit is met name effectief bij propstroomvergisters.

### Ammoniumconcentratie

De zuurvormende bacteriën verwijderen zuurstof ( $O_2$ ) uit de reactor en leveren ammoniumzouten ( $NH_4^+$ ) waardoor de methaanvormende bacteriën kunnen groeien. Anderzijds zorgen de methaanvormende bacteriën voor de vergassing en het oplossen van de afvalstoffen van de zuurvormende bacteriën, zodat deze bacteriën niet verstikken in hun eigen afvalstoffen. Bij optimale vergisting – een symbiose tussen de verschillende bacteriën – loopt de methaanvormende fase gelijk op met de hydrolyse en de verzuringsfase. Bij een te hoge of te lage ammoniumconcentratie raakt deze balans verstoord of worden bacteriën vergiftigd en stopt uiteindelijk de methaanproductie.

### Verblijftijd

De zogeheten 'hydraulische verblijftijd' is de tijdsduur dat het substraat in de vergister verblijft. Algemeen geldt dat hoe langer een substraat in een vergister verblijft, hoe meer biogas er wordt gevormd. Omgekeerd geldt ook dat de hydraulische verblijftijd afneemt naarmate het substraat beter afbreekbaar is. De verblijftijd van het substraat in de reactor kent een minimum en een maximum. Een minimale verblijftijd is nodig om de methaanvormende bacteriën tot volwassenheid en reproductie te laten komen. Wanneer de maximale verblijftijd wordt overschreden, neemt de biogasproductie af, terwijl de warmtebehoefte van de

reactor toeneemt. Er is dus een optimale verblijftijd van het substraat in de reactor, waarbij de biogasopbrengst zo hoog mogelijk is en de energievraag van de vergister zo laag mogelijk.

### Zuurgraad

Hydrolyse kan plaatsvinden bij een grote bandbreedte van de zuurgraad (de pH-waarde). De optimale pH-waarde van verzuring (acidogenese) van koolhydraten ligt echter tussen de 5,5 en 6 en die van eiwitten tussen de 7 en 7,5. Voor methaanvorming ligt de optimale zuurgraad tussen de 7,5 en 8,5. Het is daarom van belang de zuurgraad zodanig te sturen dat de totale opbrengst maximaal is. Mest heeft van nature een pH-waarde tussen de 7,5 en 8. Bij toevoeging van te veel koolhydraten, bijvoorbeeld in de vorm van coproducten, kan verzuring optreden ( $pH < 5$ ) en komt de biogasproductie tot stilstand.

### Temperatuur

Verschillende soorten bacteriën gedijen optimaal bij specifieke temperaturen. De temperatuur is ook van invloed op de snelheid waarmee biogas wordt geproduceerd. Vergisting bij een hoge temperatuur levert meer biogas per tijdseenheid. Echter, de totale hoeveelheid biogas die uit een bepaalde hoeveelheid biomassa wordt geproduceerd, neemt niet of nauwelijks toe. Een optimale vergistingstemperatuur zorgt voor een maximale biogasopbrengst bij een minimale verblijftijd.

In het vergistingsproces kunnen drie temperatuurgebieden worden onderscheiden:

- 0-20 °C (psychrofile vergisting, ook wel 'koude' of 'spontane' vergisting genoemd). De optimale temperatuur is 17 °C; dit is een zeer stabiel vergistingsproces met een verblijftijd tot wel 100 dagen. De biogasopbrengst per tijdseenheid is laag, waardoor dit vergistingsproces nauwelijks wordt toegepast.
- 20-45 °C (mesofiele vergisting). Mesofiele vergisting kent een optimum bij 33 °C; dit is een vrij stabiel vergistingsproces met een verblijftijd (afhankelijk van de biomassa en type reactor) van 15 tot 40 dagen en een hoge biogasopbrengst per tijdseenheid. Dit proces vraagt wel energie om de reactor op temperatuur te houden, maar de bacteriën zijn minder temperatuur- en pH-gevoelig.
- 45-75 °C (thermofiele vergisting). Dit vergistingsproces heeft een optimum bij 55 °C en een korte verblijftijd van 10 tot 20 dagen. De biogasopbrengst per tijdseenheid is het hoogste.

Het vergistingsproces vergt echter extra energie voor het op temperatuur houden van de reactor en is zeer gevoelig voor temperatuur- en pH-schommelingen. Een temperatuurverschil van 2 tot 3 °C zorgt al voor een afname van de biogasproductie. Schommeling van de zuurgraad kan voor de bacteriën funest zijn.

Omdat mesofiele vergisters eenvoudig te bouwen en te bedrijven zijn, zijn deze vooral terug te vinden in de landbouwsector. Thermofiele vergisters worden gebruikt voor biogasproductie op industriële schaal en op plaatsen waar de voedingsstromen constant zijn. De procescondities moeten bij thermofiele vergisting immers zeer goed bewaakt worden. In het algemeen geldt dat continue thermofiele anaerobe vergisting per ton vergist groenafval meer biogas per tijdseenheid oplevert dan batchgewijze psychrofiele of mesofiele anaerobe vergisting. Ook kunnen bij het continue proces de emissies minder snel ontsnappen naar de atmosfeer.

### Menging

Voor een optimale vergisting is het roeren of mengen van het substraat tot een homogene fractie essentieel. De afbraaksnelheid wordt door het roeren groter, omdat de bacteriën meer in contact komen met voedingsstoffen. Het mengen (homogeniseren) zorgt ervoor dat de procesomstandigheden door de gehele reactor gelijk zijn. Een goede menging en een optimale geometrie van de vergister voorkomen dat voeding, afbraakproducten en verontreinigingen zich plaatselijk ophopen, dat grote temperatuurverschillen ontstaan, dat sediment neerslaat of dat zich schuim vormt boven in de reactor.

## 4.3 De vergistingsketen

Een biogasinstallatie bestaat uit meer dan alleen de vergister. Voordat de biomassa in de vergister kan worden ingevoerd, is een voorbehandeling nodig. Na de vergisting volgen nog verschillende nabehandelingstappen. Figuur 12 geeft een overzicht van de vergistingsketen.

### 4.3.1 Ontvangst en vooropslag

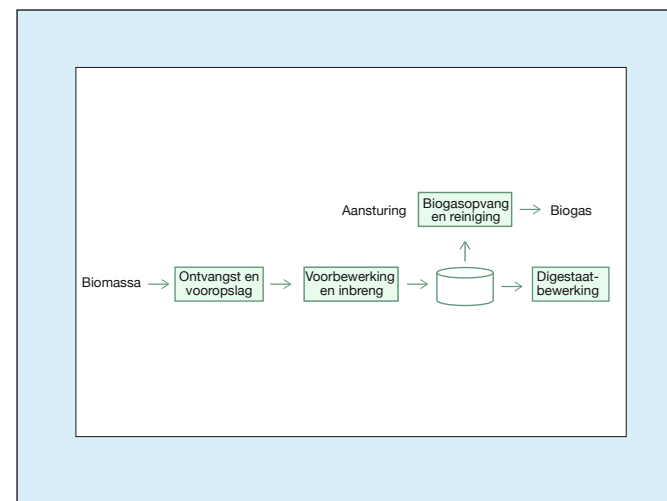
Voorafgaand aan de vergisting wordt de biomassa gestort en opgeslagen. Langdurige vooropslag is niet gewenst, omdat natuurlijke afbraak van biomassa tot een lagere biogasproductie leidt (inkuilen vormt hierop een uitzondering). De aanvoer en

opslag van de biomassa verschilt per type vergisting. Bij covergisting wordt de drijfmest uit de mestkelder of mestzak naar de vergister gepompt. De coproducten worden meestal door vrachtwagens aangevoerd en in sleufsilos gelost. Bij GFT-vergisting wordt het GFT-afval uit de groene containers aangeleverd door vrachtwagens en gelost in sleufsilos. In het geval van slibvergisting wordt het organische materiaal uit het rioolstelsel opgevangen in grote bassins.

### 4.3.2 Voorbewerking en inbreng

Na transport, ontvangst en opslag van de biomassa volgt in veel gevallen het voorbereken of conditioneren van de biomassa. Voorbereken is nodig wanneer de biomassa onvoldoende toegankelijk is voor micro-organismen, als gevolg waarvan de efficiency van de vergister zou dalen en er biomassa verloren zou gaan voor de productie van biogas. Er zijn verschillende technieken om ingesloten koolhydraten vrij te maken. Moeilijk verteerbare biomassa kan zo worden omgezet naar beter verteerbare componenten.

Een andere reden om het substraat te conditioneren is kostenbesparing; door conditionering worden de grondstoffen (de substraten) beter benut. Laagwaardige biomassa als gras – betaalbaar maar lastig te vergisten – kan zodoende voor vergisting geschikt



Figuur 12 De vergistingsketen. Bron: Energy Matters

### *Vorbewerken van biomassa*

Voor het conditioneren van de biomassa bestaan diverse mechanische, thermische, biologische of chemische processen. Ook combinaties komen voor.

#### *Scheiden*

Veel afval wordt gescheiden ingezameld in anorganische fracties (metaal, plastic, glas etc.) en organische fracties zoals GFT-afval. Voor vergisten is de organische fractie van belang. Ook drijfmest kan voorafgaand aan de (co)vergisting gescheiden worden in een dikke fosfaatrijke fractie en een dunne waterige stikstofrijke fractie. De dikke organische fractie heeft een hoger ODS-gehalte dan de dunne fractie en geeft daarom meer biogas. Naast covergisters zijn er monomestvergisters, die geen gebruik maken van coproducten, maar uitsluitend gevoed worden met mest. Bij rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) worden de organische stof (slib) en water gescheiden, waarbij het slib wordt vergist tot biogas.

#### *Mechanisch verbewerken*

Het mechanisch verkleinen van biomassa levert makkelijker afbreekbare biomassa op. Kleinere delen zijn voor de bacteriën makkelijker te 'verorberen' dan grote. Daarnaast speelt de hardheid en taatheid van de biomassa een rol. De mechanische verbewerking zorgt er in veel gevallen voor dat de celwandstructuur beschadigd raakt, waardoor voedingsstoffen voor de bacteriën gemakkelijker vrijkomen. Zo wordt energiemais met een maïskneuzer verkleind. Het verkleinen gebeurt met een hamer- of kettingmolen of met roterende, over elkaar draaiende schijven.

#### *Thermisch verbewerken*

Door verwarming van biomassa verandert de chemische structuur, waarbij eiwitten gedenatureerd worden en het zetmeel ontsloten wordt. Vriezen (temperatuurverlaging) is een deels thermisch en deels fysisch proces. Het bevroren zorgt voor fysische wijzigingen in de biomassa, maar zorgt ook voor micromechanische wijzigingen die het zetmeel in de biomassa meer ontsluiten.

#### *Drukverhoging of -verlaging*

Door drukverhoging of -verlaging kunnen in de biomassa lokale spanningen ontstaan en neemt de afbreekbaarheid vaak toe. Drukwijzigingen worden vaak gecombineerd met thermische verbewerking. Thermo-drukhydrolyse is hiervan een voorbeeld; deze verbewerking wordt bij een aantal rioolwaterzuiveringen in Nederland toegepast.

#### *Chemische verbewerking*

Bij wijze van verbewerking kan biomassa worden behandeld met zuren, basen en oxiderende stoffen. Hydrolyse is een bekend effect als zuren worden toegevoegd. Vaak gaat het om effecten die ook plaatsvinden tijdens het vergistingsproces zelf. De reacties worden door de verbewerking dan vooral versneld.

#### *Biologische en chemische verbewerking*

Micro-organismen (bacteriën en schimmels) breken gemakkelijk afbreekbare biomassa af tot goed vergistbare componenten. Daarnaast produceren bacteriën en schimmels enzymen die moeilijk afbreekbare biomassa zoals (hemi)cellulose afbreken, waardoor alsnog glucose (suikers) vrijkomt. De suikers zijn de voeding voor micro-organismen die biogas produceren. Enzymen dienen eigenlijk als biologische katalysatoren. Ze kunnen aan de vergistingsreactor worden toegevoegd, of aan de coproducten (bijvoorbeeld tijdens het inkulpen van energiemais).

#### *Tijd*

De factor tijd speelt bij vrijwel alle genoemde processen een belangrijke rol. De tijd dat een stof wordt blootgesteld aan de inwerking van een voorbehandeling, kan doorslaggevend zijn voor het uiteindelijke effect.

#### *Gecombineerde verbewerking*

Combinaties van verschillende verbewerkingen hebben vaak een positief effect op de afbreekbaarheid van biomassa en dus op de uiteindelijke biogasopbrengst per tijdseenheid. Thermo-drukhydrolyse is zo'n gecombineerde verbewerking waardoor in dezelfde tijd meer biogas geproduceerd kan worden. Vaak heeft ook de volgorde waarin de diverse voorbehandelingen plaatsvinden, invloed op het resultaat.

worden gemaakt. Zonder voorbereiding geeft deze laagwaardige biomassa in dezelfde verblijftijd te weinig biogas. Voorbewerking zorgt ervoor dat meer biomassa wordt omgezet in biogas, zodat er minder digestaat of slib overblijft. In gevallen waar de afzet van digestaat of slib een kostenpost is, zorgt het vooraf conditioneren van de biomassa dus voor lagere afzetkosten.

Na het conditioneren volgt het transport van de biomassa naar de vergister. Drijfmest wordt meestal met pompen aan de onderkant van een volledig geroerde vergister ingebracht; de coproducten worden doorgaans aan de bovenzijde toegevoegd. Bij een GFT-propstroomvergister wordt het GFT-afval met een grijper op een transportband gedeponeerd en vervolgens met een vijzel aan de kopse kant van de vergister ingevoerd. Bij slibvergisters wordt het slib meestal met pompen aan de zijkant van de reactor ingevoerd. Dit zorgt dan meteen voor een goede menging. Het uitgegiste slib wordt aan de onderkant afgevoerd.

### 4.3.3 Opvang en behandeling van biogas

Het biogas dat uit het substraat opstijgt, wordt boven in de vergister afgevangen door een gasdicht vast dak of een rubberen dubbel uitgevoerde membraan. In het geval van een externe gasopslag wordt vaak gebruikgemaakt van een gaskussen, gasballon of gashouder. De opslagcapaciteit moet voldoende zijn om enkele uren biogasproductie door de vergister te kunnen bufferen. Biogas is verzadigd met waterdamp. Het water condenseert bij afkoeling van het gas en wordt in vloeibare vorm afgevoerd. Biogas bevat daarnaast ook waterstofsulfide en ammoniak en is dus corrosief voor metalen. Ongezuiverd biogas kan dan ook schade aanrichten in leidingen en nageschakelde installaties zoals gasmotoren, compressoren en opwerkingsinstallaties. Waterstofsulfide, ammoniak en andere corrosieve bestanddelen moeten daarom verwijderd worden. Dit gebeurt doorgaans in een biologisch proces, met een chemische installatie als back-up. Door beluchting van het biogas in de vergister met 2 tot 6% lucht ontstaat een reactie met waterstofsulfidebacteriën in de mest. De bacteriën zetten het sulfiet om in elementaire zwavel, die in vaste vorm neerslaat in het digestaat. Het beluchten luistert nauw, omdat een teveel aan lucht de elementaire zwavel weer laat reageren tot zwavelzuur en sulfiet. Wanneer de temperatuur, de reactietijd en de hoeveelheid lucht optimaal zijn, kan een reductie van 95% waterstofsulfide plaatsvinden tot minder dan 50 ppm (*parts per million*). Ook kan ijzer-

chloride ( $\text{FeCl}_3$ ) worden toegevoegd aan het substraat in de vergister, waardoor een verdere reductie haalbaar is. Daarnaast kan het biogas gezuiverd worden met behulp van een waterscrubber in combinatie met een biologisch filterbed waar sulfidebacteriën met behulp van water en 4 tot 6% lucht het waterstofsulfide omzetten in zwavelzuur, dat vervolgens in het digestaat terecht komt.

### 4.3.4 Digestaatverwerking

Het digestaat, het restproduct van biomassavergisting, wordt uiteindelijk afgezet als grondverbeteraar en meststof. Bij covergisting op basis van dierlijke mest heeft het digestaat het predicaat dierlijke meststof. Het moet daarom volgens de strikte regels van de Meststoffenwet worden behandeld. Vaak wordt het digestaat direct gebruikt in de akkerbouw. Om overbemesting te voorkomen stelt de Meststoffenwet een maximum aan mestplaatsingsruimte vast. De afzet van digestaat van dierlijke afkomst is daarom voor niet-akkerbouwbedrijven meestal een kostenpost. Om deze kostenpost te verminderen wordt het digestaat vaak door middel van mestschuiven, (zeef)banden, vijzelpersen en decanters (een soort centrifuges) gescheiden in een dikke en dunne fractie. De dikke fractie, met een relatief hoog ODS-gehalte, kan eventueel nogmaals vergist worden in de (co-)vergister. De dunne stikstofrijke fractie wordt gebruikt voor de bemesting van grasland en aardappelen. Als hier afzetkosten voor gelden, kan deze dunne fractie met behulp van indampen of omgekeerde osmose verder geconcentreerd worden tot vermarktbaar stikstofconcentraat. Voor het indampen van de dunne fractie wordt vaak de restwarmte van een biogasmotor gebruikt. De geconcentreerde fractie is na reiniging interessant voor druivenboeren en boomkwekers.

Het vochtige digestaat uit GFT-vergisters wordt in veel gevallen gemengd met een vers deel GFT-afval en wordt dan gecomposteerd. Op deze manier raakt men makkelijk het lekwater kwijt, dat anders gereinigd zou moeten worden in een kostbare waterzuiveringsinstallatie. Bij het composteren, een oxidatieproces waarbij warmte vrijkomt, verdampt een groot deel van het vocht en blijven de voedingsstoffen in de compost achter.

Het uitgegiste slib van een RWZI wordt na vergisting afgevangen en met behulp van een centrifuge of kamerfilterpers ingedikt, gedroogd en opgeslagen in containers. Het slib kent momenteel weinig nuttige toepassingen en wordt meestal verbrand in een

## VOORBEELDPROJECT

## GFT-vergisting bij afvalverwerker De Meerlanden



Figuur 13 GFT-vergister met nacomposteerinstallatie. Bron: De Meerlanden

Veel composteerbedrijven in Nederland investeren in een vergister-nacomposteerinstallatie. Zo ook afvalverwerker De Meerlanden in Rijsenhout. De Meerlanden haalt vijf nuttige producten uit GFT-afval: groen gas, warmte, compost, CO<sub>2</sub> en water. Alle stromen worden nuttig gebruikt. Zo komt groenafval volledig terug in de kringloop.

De Meerlanden zamelt afval in bij 4.000 bedrijven en 120.000 huishoudens in negen gemeenten in de regio Haarlemmermeer-Bollenstreek-Aalsmeer. De inzamelploeg leegt elke werkdag 30.000 rommelers met GFT- of restafval. Per jaar haalt het bedrijf ongeveer 50.000 ton GFT-afval op. Tot nu toe werd dat traditioneel verwerkt tot compost. Sinds 2010 levert het proces ook warmte. Vanaf 2011 worden er ook biogas en CO<sub>2</sub> uitgehaald.

Vergisten is niet nieuw, de combinatie van technieken zoals De Meerlanden ze toepast wel. Ongeveer vier vijfde van het inkomende

GFT-afval wordt eerst vergist in een horizontale gesloten reactor. De natte fractie uit de vergister, het digestaat, wordt vermengd met het resterende (één vijfde) verse GFT-afval, en gaat naar de gesloten composteringstunnels waarin het wordt gecomposteerd. De 50.000 ton GFT-afval levert zo per jaar ongeveer 20.000 ton compost op.

Een tweede product is biogas. Elke ton GFT-afval levert door vergisting 100 m<sup>3</sup> biogas. Zo wordt jaarlijks met de vergister circa 4 miljoen m<sup>3</sup> biogas geproduceerd. Een gasopwerkingsinstallatie maakt hiervan zo'n 3,5 miljoen m<sup>3</sup> groen gas per jaar. Dit gas wordt aan het net geleverd en aan het eigen aardgasvulstation van De Meerlanden. Vele voertuigen van het bedrijf rijden nu al op gas (aardgas en groen gas). Doel is om in 2016 alle diensten klimaatneutraal te laten rijden met voertuigen die uitsluitend groen gas tanken. De totale productie aan groen gas is overigens veel groter dan het eigen verbruik, dus ook andere geïnteresseerden kunnen klimaatneutraal rijden op groen gas.

Het derde product van De Meerlanden is de restwarmte uit de composteringstunnels. Broeiwarmte verwarmt water, dat via een één kilometer lange leiding naar showkas en kwekerij de Arendshoeve wordt getransporteerd. Deze duurzame warmte wordt door lagetemperatuursystemen afgegeven aan de kassen met kamerplanten (1,8 hectare). Dankzij warmteopslag in de bodem (40-60 °C) zal het areaal in de toekomst uitgebreid worden naar 6 hectare. Door deze hogetemperatuuropslag wordt een elektrische warmtepomp overbodig. Ongeveer één derde van de beschikbare warmte wordt nu benut door de Arendshoeve. Dit zorgt voor een besparing van 600.000 m<sup>3</sup> aardgas per jaar. Aansluiting van andere tuinders is in onderzoek. Een aandachtspunt hierbij is dat er een back-up nodig is voor het geval De Meerlanden geen warmte kan leveren.

Bij de productie van het groen gas wordt ook nog CO<sub>2</sub> gewonnen, dat wordt ingezet in de glastuinbouw. De geschatte opbrengst is 2 miljoen kg CO<sub>2</sub> per jaar. Uit het composteringsproces kan ook nog CO<sub>2</sub> worden gewonnen. Ten slotte komt bij de terugwinning van broeiwarmte uit het composteringsproces nog condenswater vrij, dat wordt gebruikt in de veegwagens bij het schoonspuiten van de straten.



Figuur 14 AgriMoDEM bij maatschap Hilhorst, Noord-Sleen.  
Foto: TerBrAACK, Agricultural Advising Centre

afvalverbrandingsinstallatie. Omdat het slib in veel gevallen nog vrij vochtig is, levert het bij verbranden geen netto energie op. Het verwerken van slib is een kostenpost die beperkt kan worden door het slib nog vóór de vergisting te conditioneren, waardoor meer biogas geproduceerd wordt en minder digestaat overblijft.

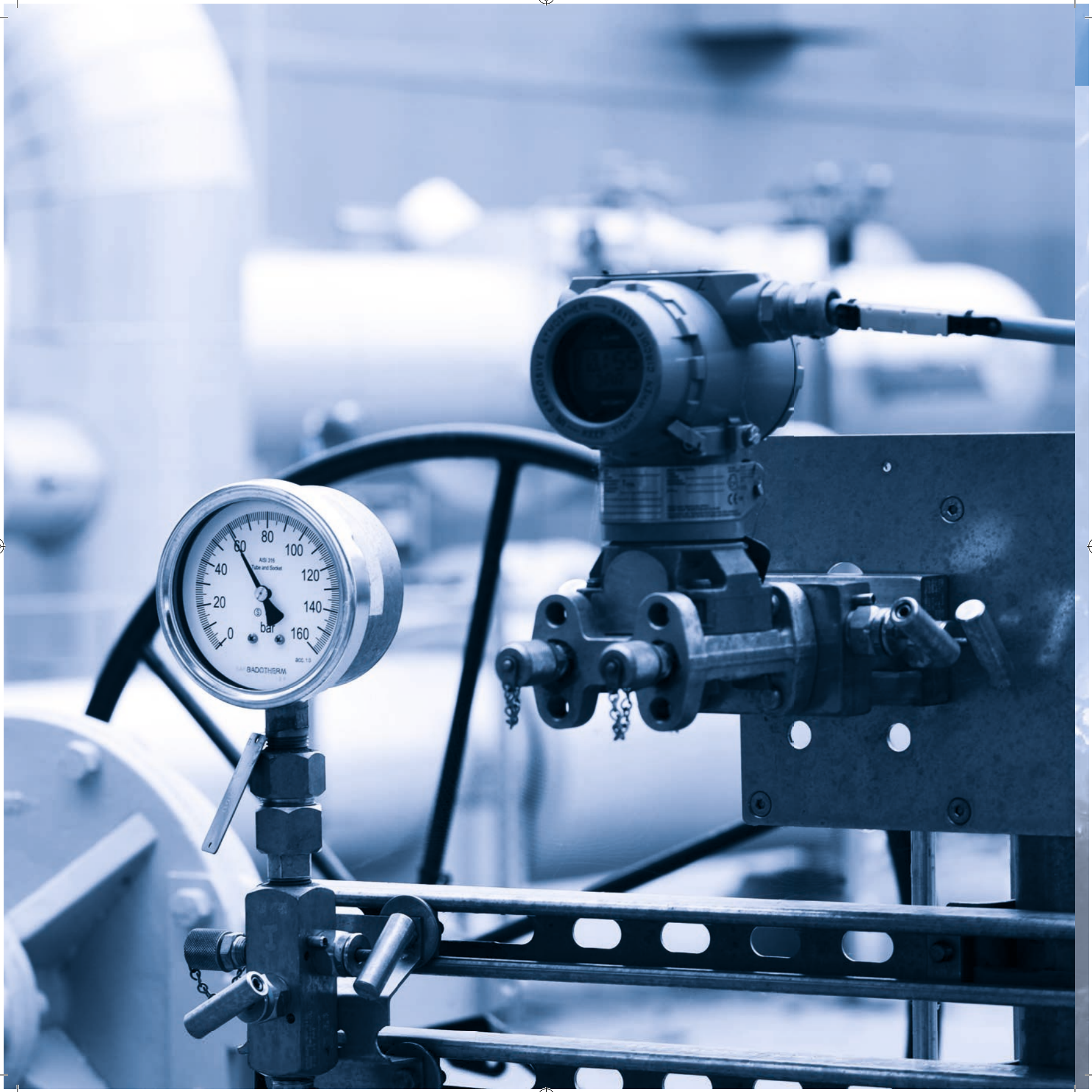
#### 4.4 Moderne ontwikkelingen: mestraffinage

Een nieuwe ontwikkeling op het gebied van vergisting is mestraffinage. De AgriMoDEM, een installatie bij maatschap Hilhorst in het Drentse Noord-Sleen, is een voorbeeld van deze ontwikkeling. Deze techniek wordt momenteel bij verschillende veehouders geïmplementeerd. Door middel van vier compacte fysisch-chemische en (bio)chemische reactoren scheidt het proces rundveedrijfmest in biogas, diverse fosfaatrijke en stikstofrijke meststoffen, vezelrijke organische fractie, zand, geconcentreerde zwavel, water en CO<sub>2</sub>. Door het nauwgezet scheiden van de mest in aparte producten kunnen deze producten gemakkelijker benut en vermarkt worden. Ook kunnen fosfaat en stikstof beter worden gedoseerd op de akker, waardoor de mestplaatingsruimte optimaal wordt benut en geen overbemesting hoeft plaats te vinden. Daarnaast loont het om geconcentreerd fosfaat en stikstof te exporteren.

Bij het vergisten komt CO<sub>2</sub> vrij, dat in principe geleverd kan worden aan een lokale glastuinder. De fosfaatarme compost (van dierlijke afkomst) is in de akkerbouw een welkome grondverbeteraar. Door de productie van meerdere waardevolle en verhandelbare producten sluit mestraffinage aan op het gedachtegoed van de *biobased economy*. De uitstoot van methaan en ammoniak blijft beperkt doordat de AgriMoDEM gebruikmaakt van gesloten stalvloeren en dagverse mest. Om dezelfde reden wordt de biogasopbrengst juist gemaximeerd. Daarnaast is de efficiëntie niet afhankelijk van (kostbare) coproducten. De verblijftijd is met 1 à 2 dagen aanmerkelijk korter dan de gebruikelijke 40 dagen. De vergister zelf is compact en legt minder beslag op de beschikbare ruimte dan een gewone covergister. De investering ligt ten opzichte van een gangbare covergister dan ook een stuk lager en een omgevingsvergunning zou vanwege de geringe omvang eenvoudiger te verkrijgen moeten zijn. Een nadeel is dat in veel gevallen de bestaande mestkelders aangepast moeten worden. Bestaande roostervloeren moeten worden vervangen en er moet een mestschuif worden aangebracht.

Omdat drijfmest ingezet wordt, is de biogasopbrengst met 20 à 25 kuub biogas per ton rund- of varkensdrijfmest laag in vergelijking met covergisten of monovergisten van dikke fractie. De lagere biogasopbrengst wordt enigszins gecompenseerd door het hogere methaangehalte (circa 93% tegenover zo'n 58% bij mono- of covergisten). Productie van groen gas en invoeding daarvan in het aardgasnet vergen relatief gezien een wat hogere investering dan bij een covergister en ongeveer dezelfde investering als bij monovergisting. De economische haalbaarheid van de AgriMoDEM moet nog aangetoond worden, maar het technische concept is veelbelovend. ■





# Hoofdstuk 5

## Vergassing

In het vorige hoofdstuk kwam al naar voren dat er twee belangrijke methoden zijn om biogas te produceren uit biomassa: vergisting en vergassing. Beide methoden hebben hun eigen specifieke toepassingsgebied. Voor biomassa met een hoog vochtgehalte is vergisting geschikt, maar voor droge en houtachtige biomassa biedt vergassing de optimale methode om biogas te produceren. Dit hoofdstuk gaat verder in op de vergassingstechnologie en laat zien welke stappen van belang zijn bij het ontwerpen en bedienen van een vergassingsinstallatie.

Figuur 1 (identiek aan figuur 1 in hoofdstuk 4) laat de verschillende werkvelden van vergisting en vergassing nog eens zien. De biomassa die geschikt is voor vergassing, heeft een hoog drogestofgehalte (ODS-gehalte) en kan daarom relatief gemakkelijk en goedkoop getransporteerd worden. Vergassing op kleine schaal wordt gebruikt voor de voeding van ketels of wkk's. Biomassavergassing op grote schaal en op commerciële basis is nog in ontwikkeling. Voor de productie van groen gas uit houtachtige biomassa is vergassing echter een vereiste. De ontwikkeling en verbetering van opwaarderingstechnieken moet de mogelijkheden vergroten voor grootschalige biomassavergassing en -opwaardering in Nederland.

### 5.1 Vergassing: een oude bekende

De vergassingstechnologie is ontwikkeld en werd aanvankelijk gebruikt voor de productie van stadsgas uit steenkool. Tijdens de Tweede Wereldoorlog zijn talloze houtvergassers gebouwd om een oplossing te bieden voor de schaarste aan benzine (figuur 2). Na de oorlog verdween vergassing uit de belangstelling omdat er op grote schaal goedkope aardolie en aardgas beschikbaar kwamen. Sinds de oliecrisis van 1973 en de olieboycot van Zuid-Afrika vanwege het apartheidsregime (in 1980) is de belangstelling voor energie uit biomassa weer langzaam gegroeid. Diverse technische ontwikkelingen hebben vergassing rendabeler gemaakt. De laatste jaren is er vooral veel aandacht voor biomassavergassing. Die aandacht is een gevolg van de toenemende vraag naar duurzame energie en de belangstelling voor technieken om 'lastige' reststromen (vooral houtachtige en celluloserijke materialen) te verwerken.

De petrochemie gebruikt vergassing al decennia om uit laagwaardige restproducten van de olieraffinage 'syngas' en uiteindelijk waterstof te maken. Shell is internationaal toonaangevend op dit gebied. Ook wordt het vergassingsproces wereldwijd gebruikt om grondstoffen te leveren voor de productie van synthetische brandstoffen, chemicaliën en synthetisch aardgas (SNG). In Nederland zijn diverse grootschalige voorbeelden van vergassingstechnologie te vinden. Zo wordt in de Willem-Alexander Centrale te Buggenum (Limburg) steenkool vergast. Eigenaar Nuon heeft de installatie zodanig aangepast dat 30% sloophout toegevoegd kan worden. Een ander voorbeeld staat in Geertruidenberg. Bij de Amercentrale van Essent wordt sloophout vergast en wordt het gas vervolgens mee-

gestookt in de (overigens kolengestookte) centrale. Het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) richt zich in zijn onderzoek onder meer op de verdere verbetering en commercialisering van biomassavergassing.







In ontwikkelingslanden worden kleine vergassers ingezet voor het verwerken van reststromen uit de lokale landbouw, zoals kokosnootschillen, kaf van de rijstkorrel (*rice husk*) en hout. Het gasmengsel dat hierbij ontstaat, wordt dan benut in een generator.

## 5.2 Het principe van vergassing

Biomassavergassing is een thermochemisch proces. Het proces lijkt erg op gewone verbranding, maar er wordt minder zuurstof toegevoerd, waardoor gedeeltelijke oxidatie of onvolledige verbranding optreedt. Dit betekent dat de vluchtige gassen die uit de biomassa ontsnappen, op een later tijdstip verder kunnen branden. Het product van vergassing is dus een gasvormige brandstof, die getransporteerd, opgeslagen en verbrand kan worden. Doordat er toch gedeeltelijke verbranding plaatsvindt, blijft de vergasser op een temperatuur van zo'n 800 tot 1000 °C. Bij de hoge temperatuur in de vergasser ontstaat het zogenaamde productgas, dat voornamelijk bestaat uit koolmonoxide (CO), waterstof (H<sub>2</sub>), methaan (CH<sub>4</sub>) en de niet-brandbare gassen

### Productgas en syngas

De termen 'productgas' en 'syngas' worden vaak door elkaar gebruikt. Over het algemeen ontstaat productgas bij biomassavergassing en syngas bij kolenvergassing. Kolenvergassing vindt plaats bij een hogere temperatuur (>1200 °C) dan biomassavergassing, waardoor het gasmengsel vooral bestaat uit CO en H<sub>2</sub>. In dit boek gebruiken we, waar het gaat om biomassavergassing, de algemeen aanvaarde term 'productgas'.

Afstand tot biomassa		Conversie	Proces	Schaalgrootte	Energiedrager	Restproduct
Intercontinentaal	Lokaal					
Mest  Slib, GFT en andere natte reststromen 		 Vergisting	Biologisch-chemisch (microben)	Kleinschalig en lokaal	Biogas (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> )	Digestaat
Houtsnippers  Houtpellets  						

Figuur 1 Vergisting versus vergassing. Voor natte biomassa is vergisting een goede optie. Droge biomassa kan worden vergast. Bron: Energy Matters



**Figuur 2** De techniek van vergassing is niet nieuw. Gebrek aan brandstof zorgde in de Tweede Wereldoorlog voor interessante ontwikkelingen op het gebied van houtvergassing. Achter op deze auto is een vergasser te herkennen die de auto van brandstof voorziet.

Bron: Bundesarchiv Bild 183-V00670A

waterdamp ( $H_2O$ ) en kooldioxide ( $CO_2$ ). As, teer en onverbrande biomassa moeten uit het productgas worden gefilterd.

De meest voorkomende toepassing van productgas uit biomassa is op dit moment directe benutting in een wkk. De wkk produceert lokaal elektriciteit en warmte. In diverse Europese landen worden echter technieken ontwikkeld om het productgas op te waarden naar aardgaskwaliteit. Binnen enkele jaren moeten deze opwaarderingstechnieken op grote schaal gedemonstreerd worden. Als dat zover is, kent productgas dezelfde conversieroutes

als biogas uit een vergister. De verbrandingswaarde van het productgas is meestal vrij laag, ongeveer  $4 \text{ MJ/Nm}^3$  bij vergassing met lucht. Daarmee is de verbrandingswaarde van productgas acht keer lager dan die van aardgas ( $31,65 \text{ MJ/Nm}^3$ ).

Voor vergassing komt droge biomassa in aanmerking. Dit kan hout in allerlei vorm zijn: houtsnippers, sloophout of houtpellets. In figuur 3 wordt de verbrandingswaarde van deze houtachtige biomassa weergegeven. De verbrandingswaarde is een stuk lager dan die van steenkool. Door voorbewerking van de biomassa kan

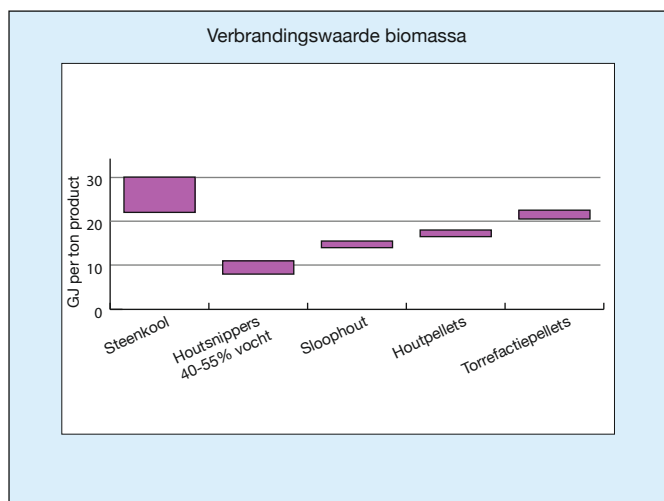
de verbrandingswaarde in de buurt komen van steenkool. Zo worden natte houtsnippers vaak eerst gedroogd voordat ze de vergasser in gaan. Torrefactiepellets ('geroosterde' houtpellets) zijn zeer geschikt voor vergassing en ook voor bijstook in kolencentrales.

### 5.3 Het vergassingsproces in detail

Het vergassen van biomassa naar productgas is een thermochemisch conversieproces. Biomassa wordt met een ondermaat aan zuurstof gedeeltelijk verbrand tot productgas. De gedeeltelijke verbranding verloopt gecontroleerd. Het vergassingsproces bestaat uit vier fasen: drogen, pyrolyse, verbranding en reductie.

Tijdens het drogen verdampt het aanwezige vocht uit de biomassa. Daarna wordt onder invloed van warmte de biomassa 'gekraakt' tot kleinere moleculen. Dit heet pyrolyse. De derde fase is gedeeltelijke verbranding van deze moleculen, om hiermee de warmte te genereren die het proces aan de gang houdt. In de vierde fase, de reductiefase, vinden de laatste evenwichtsreacties plaats, waarmee het productgasmengsel ontstaat.

Het vrijkomende productgas bestaat voornamelijk uit koolmonoxide (CO), waterstof (H<sub>2</sub>), koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) en methaan (CH<sub>4</sub>). Wanneer lucht gebruikt wordt als oxidator, komt er ook veel stikstof (N<sub>2</sub>) mee.



Figuur 3 De verbrandingswaarde van houtachtige biomassa in vergelijking met die van steenkool. Bron Energy Matters

#### 5.3.1 Reactortypen

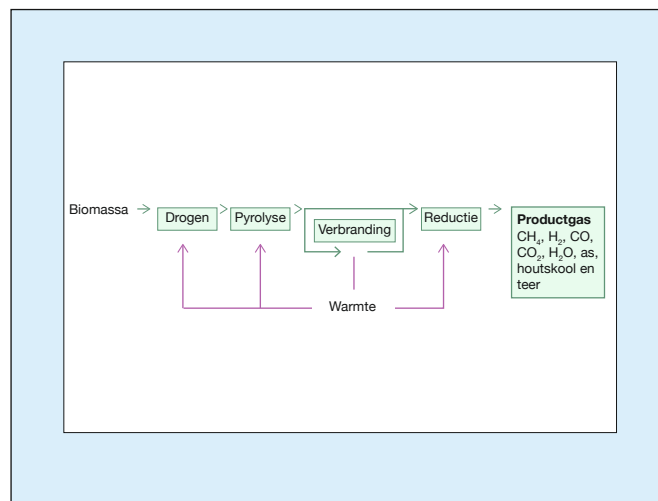
Voor het vergassen worden verschillende reactortypen ingezet. De toepasbaarheid is afhankelijk van de gebruikte brandstof, het benodigde (thermisch) vermogen en de beoogde toepassing van het productgas. Voor biomassavergassing worden de reactoren getypeerd aan de hand van hun belangrijkste eigenschappen:

- het type brandstofbed (vastbed versus wervelbed)
- de manier van warmtetoevoer (direct of indirect)
- het drukniveau (atmosferisch versus hoge druk)

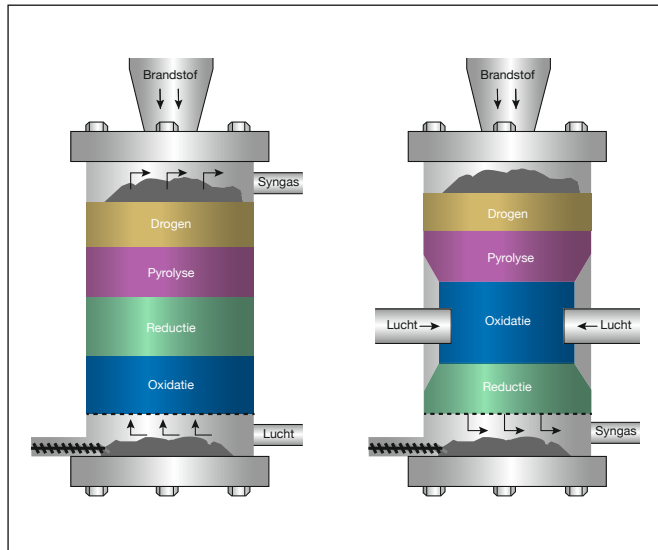
Bij kolenvergassing komt het principe van 'stofwolkvergassing' (*entrained flow*) het meeste voor. Deze techniek wordt hier niet verder beschreven.

In principe is elke combinatie van de hierboven genoemde opties mogelijk. In de praktijk komen maar een paar basistechnologieën voor het vergassen van biomassa in aanmerking:

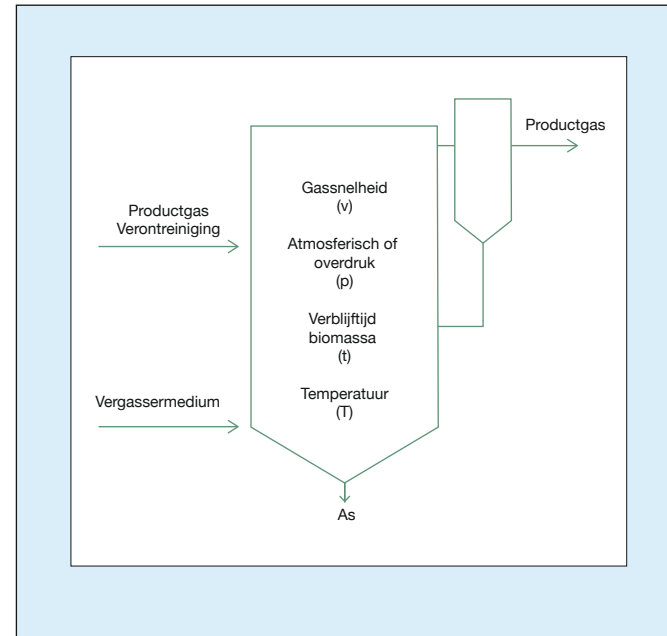
- Vastbedvergassers (*fixed bed*) voor kleinere vermogens (tot 20 MW thermisch).
- Wervelbedvergassers (*fluidized bed*) voor grotere vermogens (vanaf 10 MW thermisch). Deze technologie is echter ook verkrijgbaar voor kleinere vermogens.



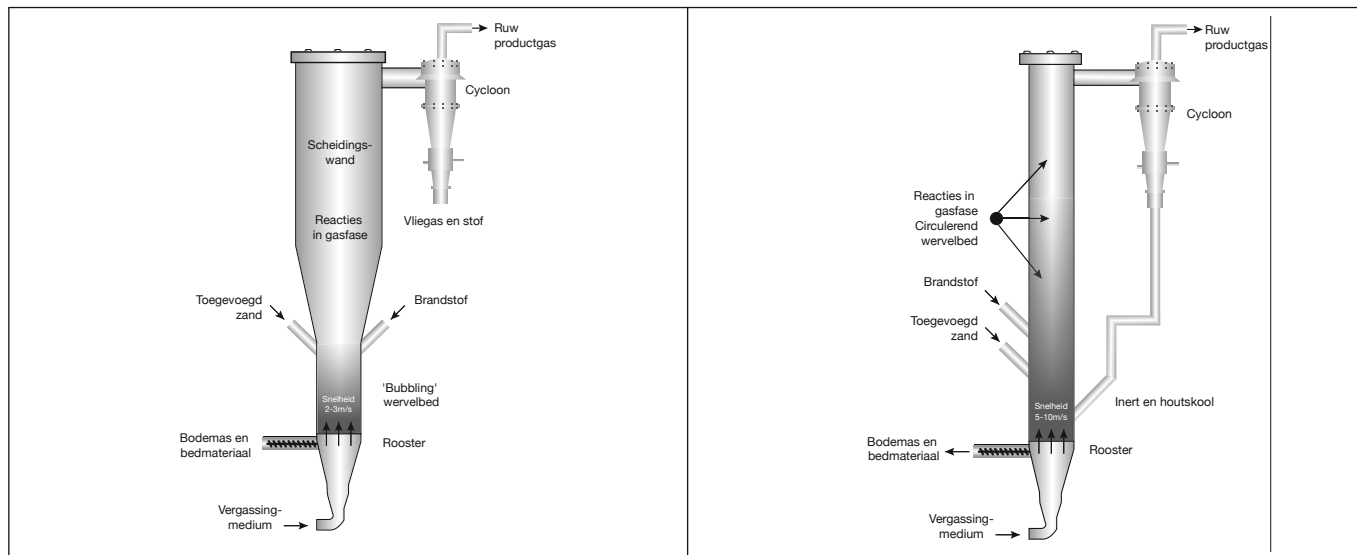
Figuur 4 Schematisch overzicht van het vergassingsproces.



Figuur 5 Twee typen vastbedvergassers. Links een tegenstroomreactor en rechts een meestroomreactor. Bron: [Olofsson et al., 2005]



Figuur 7 Schematisch overzicht van de procesfactoren die een rol spelen bij vergassing. Bron: Energy Matters



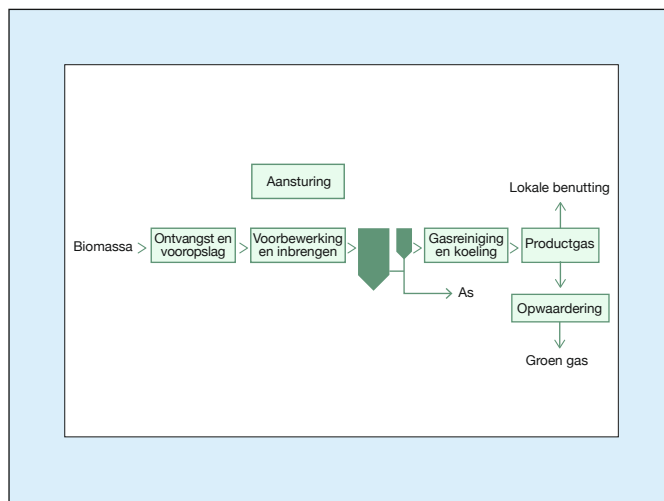
Figuur 6 'Bubbling' (links) en 'circulating' (rechts) wervelbedreactor. Bron: [Olofsson et al., 2005]

### Vastbedvergassers

In de vastbedvergassers in figuur 5 zijn de zones te onderscheiden waarin de fasen van het vergassingsproces plaatsvinden: drogen, pyrolyse, oxidatie en reductie. De verschillende concepten hebben hun voor- en nadelen. Zo produceert de meestroomvergasser minder teer, terwijl de tegenstroomvergasser minder gevoelig is voor het type brandstof. Een meestroomvergasser kenmerkt zich door de vernauwing onderin, waardoor een hetere zone ontstaat waar de teerdampen worden gekraakt. Een vastbedvergasser is vooral geschikt voor de kleinere vermogens. Vanaf zo'n 10 MW brandstof wordt vrijwel altijd gebruikgemaakt van een wervelbedvergasser.

### Wervelbedvergassers

Een wervelbedvergasser bestaat uit een bed van inert materiaal (meestal zand), waar de biomassa ingevoerd wordt. Het bed wordt in beweging gehouden door er lucht of zuurstof in te blazen, zodat het zand en de biomassa goed mengen en de warmte goed verdeeld wordt. In tegenstelling tot vastbedreactoren kent een wervelbedreactor geen zones. De biomassa wordt hier met behulp van het bedmateriaal volledig gemengd. Dit bedmateriaal gedraagt zich als een vloeistof, vandaar de naam *fluidized bed gasifier*.



Figuur 8 De vergassingsketen.

De wervelbedvergassingstechnologie is, in tegenstelling tot de vastbedtechnologie, geschikt voor snellere doorvoer van biomassa en daarmee voor grotere vermogens. Veel wervelbedvergassers hebben een thermisch vermogen tussen 10 en 100 MWth.

Voor biomassavergassing heeft de wervelbedvergasser een aantal voordelen boven de vastbedtechnologie:

- een grotere brandstofflexibiliteit
- een hogere koolstofconversie (t.o.v. meestroom-vastbedvergassing)
- lagere teergehaltes (t.o.v. tegenstroom-vastbedvergassing)
- betere opschalingsmogelijkheden

De wervelbedvergassers zijn onder te verdelen in stationaire (*bubbling bed*) en circulerende (*circulating bed*) typen. In een circulerende wervelbedvergasser (CFB) beweegt het gas zich met een dusdanige snelheid (5 tot 10 m/s) dat de brandstofdeeltjes en het bedmateriaal circuleren in een systeem dat bestaat uit het reactorvat, de cycloon en de terugvoerpijp (figuur 6 op pagina 87). De cycloon heeft als doel niet-omgezette deeltjes en bedmateriaal terug te brengen in de reactor. De overblijvende as wordt met de gasstroom afgevoerd.

Voor zowel stationaire als circulerende wervelbedvergassers geldt dat de brandstof in kleine deeltjes aangevoerd moet worden (verkleind tot een doorsnede van enkele centimeters). Er bestaat vrijwel geen technische beperking ten aanzien van de schaalgrootte. De vermogensrange wordt door economische of logistieke overwegingen bepaald. De ondergrens wordt bepaald door economische overwegingen, de bovengrens door de beschikbaarheid van biomassa. Wervelbedvergassers worden meestal atmosferisch bedreven met lucht als vergassingsmiddel. Het type biomassa luistert nauw. De koolstofconversie bedraagt circa 90 tot 95%.

Naast de vastbed- en wervelbedtechnologieën zijn er nog andere reactortypen bekend, zoals de pulserendbed- en de duowervelbedreactor. Als gevolg van de complexiteit van deze technologie en de ingewikkelde gasreiniging is de focus van ontwikkelaars en bedrijven momenteel gericht op de reeds bewezen vergassingstechnieken. De keuze tussen de verschillende vergassingstechnieken wordt gemaakt op basis van de soort en de hoeveelheid biomassa die beschikbaar is, de kwaliteitseisen die gesteld worden aan het productgas, de gewenste robuustheid van de vergasserinstallatie, de kosten en de opbrengsten.

## VOORBEELDPROJECT

### Milena-vergasser voor afvalhout

Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) doet onder meer onderzoek naar de productie van groen gas uit biomassavergassing. ECN heeft hiervoor een eigen reactor ontwikkeld die nu op pilotschaal draait: de Milena-vergasser. De vergassingstechniek is erop gericht het productgas na opwaarderling te injecteren in het Nederlandse aardgasnet. Na een kleine labinstallatie heeft ECN de techniek doorontwikkeld tot een pilotplant. In 2013 moet de eerste demonstratie-eenheid gebouwd worden op het terrein van energie- en afvalnutsbedrijf HVC in Alkmaar. Deze vergasser heeft een capaciteit van 12 MW en werkt op afvalhout. Uiteindelijk moet de techniek nog verder worden opgeschaald voor commerciële toepassing. Ook andere biomassastromen (stro, knip- en snoeihout en gras) kunnen in de toekomst worden vergast.

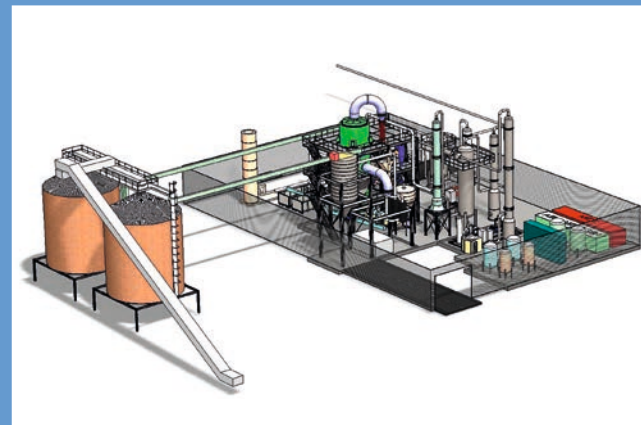
De Milena-vergassingsreactor is speciaal ontwikkeld voor de productie van groen gas. Dit gebeurt in drie stappen: vergassing, gasreiniging en opwaarderling. In de totale productieketen van ECN wordt 70% van de biomassa omgezet in groen gas. De Milena-vergasser gebruikt stoom in plaats van lucht als vergassermedium. Daardoor ontstaat een waterstofrijk gasmengsel en komt er weinig stikstof mee. Het productgas dat hierbij ontstaat, bevat voornamelijk

koolmonoxide (CO), waterstof (H<sub>2</sub>) en methaan (CH<sub>4</sub>). In de tweede stap wordt het productgas door een gasreinigingsinstallatie gevoerd. Vooral teer, dat leidingen, apparatuur en condenswater verontreinigt, moet uit het gas verwijderd worden. Maar ook andere verontreinigingen, zoals zwavel en chloor, moeten worden verwijderd. De gasreinigingsinstallatie is ontwikkeld door het bedrijf Dahlman. In deze zogeheten OLGA (figuur 10) wordt teer verwijderd in twee kolommen. In de eerste kolom zorgt olie voor koeling tot vlak boven het dauwpunt van water, waarbij de zware teren condenseren en in de oliestroom terecht komen. De oliestroom wordt weer gekoeld, waarbij de warmte elders in het proces wordt benut. In de tweede kolom lossen de lichtere teren op in een absorptieproces, waarbij de temperatuur wel gelijk blijft. Aan gezien de verwijdering boven het dauwpunt van water plaatsvindt, raakt het condenswater niet vervuild.

In de opwaardeerling wordt het productgas omgezet naar methaan. Als laatste moet het gasmengsel dan nog geschikt worden gemaakt voor invoeding in het aardgasnet: druk, geur en verbrandingswaarde moeten voldoen aan de eisen van de netbeheerder. Zo kan het groen gas in het net worden gevoed zonder dat de eindgebruiker merkt dat het gas een andere oorsprong heeft.



Figuur 9 Deze gasreinigungsstraat in het Franse Moissannes reinigt productgas van teer en stof. De hier afgebeelde OLGA-technologie is ontwikkeld bij ECN en is eigendom van Royal Dahlman. Bron: Dahlman Filter Technology



Figuur 10 Planfasetekening van een groengasfabriek met Milena-vergassingstechnologie en OLGA-gasreiniging. Bron: Dahlman Filter Technology

### 5.3.2 Procescondities

De procescondities van de vergasser zijn van belang voor de kwaliteit van het procesgas. Het streven is een gassenstelling waarmee de opwaardering naar groen gas zonder veel verliezen mogelijk is. Verontreinigingen (zoals teer) moeten zo veel mogelijk voorkomen worden.

De gebruikte biomassa bepaalt als eerste de samenstelling van het productgas. Een homogene samenstelling, een laag vochtgehalte en zo min mogelijk verontreinigingen zijn de basis voor een efficiënte vergassing. In de praktijk betekent dit een vochtgehalte van 15 tot 20% of minder. Zo nodig wordt de biomassa eerst voorgedroogd.

Het vergassermedium (lucht, zuurstof of stoom) zorgt voor de oxidatie van de biomassa. Eenvoudige vastbedvergassers worden vaak gevoed met lucht. Hierdoor ontstaat een mengsel met een lage verbrandingswaarde (circa 5 MJ/Nm<sup>3</sup>) en met veel stikstof. Dit mengsel is vooral geschikt voor directe benutting in een ketel of wkk. Bij vergassing met zuurstof en stoom is het mogelijk productgas te produceren met een hogere verbrandingswaarde. Stoom is vooral aantrekkelijk omdat hiermee wordt voorgesorteerd op methaanproductie. Het productgas wordt rijk aan waterstof en bevat weinig stikstof, zodat de opwaardering naar methaan eenvoudiger wordt.

In de reactor zelf zijn de procescondities belangrijk voor een efficiënte omzetting van biomassa naar gas. Het rendement van de vergasser ligt in de praktijk tussen 70 en 80%. Dit betekent dat 20 tot 30% van de biomassa-input wordt omgezet in warmte of overblijft als onverbrande biomassa. Om het proces op gang te houden moet een deel van de biomassa verbrand worden. Het productgas uit de reactor komt vrij bij een temperatuur van 700 tot 800 °C. Het streven is de benodigde warmte te minimaliseren, en tegelijk de omzetting van biomassa naar productgas zo volledig mogelijk te laten verlopen. Naast de temperatuur is de verblijftijd daarom een belangrijke factor. Lange koolstofketens moeten de kans krijgen om afgebroken te worden, anders komt er te veel teer en onverbrande biomassa mee met het productgas.

Een laatste variabele is de druk in de reactor. Biomassavergassing vindt doorgaans bij atmosferische condities plaats. Vergassing onder druk stelt namelijk hoge eisen aan de reactor en aan de

#### VOORBEELDPROJECT

##### *Houtsnippervergasser in Güssing*

In Güssing (Oostenrijk) worden houtsnippers bij 850 °C vergast in een wervelbedvergasser met stoom als vergassermedium, waardoor een stikstofvrij productgas ontstaat. De vergasser heeft een capaciteit (brandstofinput) van 8 MW thermisch. Minder stikstof in het productgas betekent dat het gas een hogere stookwaarde heeft van 12 MJ/kg. De houtskool die bij het vergassen ontstaat, wordt in de verbrandingsreactor verbrand met lucht. De vrijkomende warmte wordt overgedragen aan het bedmateriaal van de wervelbedvergasser. Dit bedmateriaal, het mineraal olivijn, gedraagt zich als katalysator en reduceert het teer in het productgas. De exotherme reacties in de verbrandingsreactor drijven de endotherme biomassavergassing aan, waardoor toevoer van zuivere zuurstof overbodig is. Dit laatste reduceert ook de exploitatiekosten. De vergasser-wkk levert met een rendement van 56,3% een vermogen van 4,5 MW thermisch aan het lokale stadsverwarmingsnet. Daarnaast levert de installatie met een rendement van 25% een elektrisch vermogen van 2 MW aan het elektriciteitsnet. Het totale rendement is daarbij 81,3%. Daarnaast wordt geëxperimenteerd met methanisering van productgas, waarbij een deel van het productgas door middel van katalyse wordt opgewerkt tot aardgaskwaliteit.



Figuur 11 Güssing-vergasser. Bron: *Europäisches Zentrum für erneuerbare Energie Güssing GmbH*

voeding. Het voordeel van vergassing onder druk is echter dat er meer  $\text{CH}_4$  ontstaat en dat het productgas niet meer gecomprimeerd hoeft te worden.

#### 5.4 De vergassingsketen

Een complete vergassingsinstallatie bestaat uit meer dan alleen de reactor. Figuur 8 op pagina 88 toont de verschillende onderdelen van de vergassingsketen. De reactor en het vergassingsproces zelf zijn in de voorgaande paragrafen al behandeld. In deze paragraaf komen de voor- en nabewerking nog kort aan bod.

##### *Ontvangst en vooropslag*

De ontvangen biomassa wordt in de regel eerst geconditioneerd opgeslagen. Geconditioneerd houdt in: schoon en droog. Wanneer de biomassa te nat is, kan broei ontstaan en kan het materiaal spontaan ontbranden. Door de temperatuurverhoging van het broeiproces raakt de biomassa weliswaar vocht kwijt, maar ook een deel van de energiewaarde.

##### *Vorbewerking en inbreng*

**Drogen:** bij vergassing (behalve bij superkritische vergassing) mag de biomassa circa 15% vocht bevatten. Voordrogen is vaak nodig. Dit kan met behulp van een externe warmtebron of met restwarmte van een gasmotor.

**Verkleinen:** biomassa wordt verkleind om de warmteoverdracht te maximaliseren. Ook kan de biomassa na het verkleinen gemakkelijker in de vergasser worden ingevoerd. Verkleinen gebeurt meestal mechanisch door middel van vermalen of versnipperen (chipsen of shredderen).

**Pelletiseren:** soms wordt de biomassa door middel van extrusie gepelletiseerd. Het voordeel hiervan is dat het transporteren van de biomassa gemakkelijker wordt, evenals het invoeren in de vergasser. Bovendien verdampt een deel van het aanwezige vocht als gevolg van de mechanische wrijving in het extrusieproces.

**Verpoederen:** in het geval van stofwolkvergassen wordt de biomassa door middel van torrefactie en vermaling verpoederd en geschikt gemaakt voor vergassing.

##### *Gasreiniging en koeling*

Wanneer het productgas aan de vergasser wordt onttrokken voor gebruik in een gasmotor, moet het eerst gekoeld en gereinigd worden. Het vrijkomende productgas heeft een lage calorische waarde. Het gezuiverde productgas wordt met een blower naar de gasmotor geleid. Omdat gasmotoren gevoelig zijn voor kleine vervuilingen in het productgas, worden vergasser-wkk's uitgerust met een robuuste rookgasreinigungsstraat (figuur 9 op pagina 89 toont een voorbeeld). Cyclonen, doekenfilters, elektrostatische filters of houtfilters vangen het fijnstof af en natwassers of actief-koolfilters de zwavel. De stikstofemissie (vooral  $\text{NO}_x$ ) is sowieso laag ten opzichte van aardgasgestookte wkk's. Hoewel de stikstofemissie enigszins afhankelijk is van de te vergassen biomassa, leiden de relatief lage energiedichtheid van het productgas en de lage verbrandingstemperatuur tot een geringere vorming van stikstofoxiden in de rookgassen.

##### *Asbehandeling*

Bij vergassing blijft een relatief groot deel onvolledig verbrande biomassa achter in de bodemas. De as is meestal reactief. Dit wil zeggen dat het nog niet volledig geoxideerd (verbrand) is. Het warme, onverbrande deel van de biomassa kan eenvoudig ontbranden. Uit veiligheidsoverwegingen wordt de bodemas daarom geconditioneerd opgeslagen, gereduceerd en afgevoerd.

#### 5.5 Innovatie: superkritische vergassing

Er wordt momenteel onderzoek gedaan naar een nieuwe innovatieve technologie voor het vergassen van waterige biomassastromen als drijfmest en slib van waterzuiveringsinstallaties. Deze technologie heet superkritischwatervergassing en vindt plaats in een reactor waarin bij hoge druk (250 tot 300 bar) en hoge temperatuur (450 tot 700 °C) drijfmest of slib wordt vergast tot productgas. Dit gebeurt in enkele seconden tot hooguit een paar minuten. Bij dit proces slaan de mineralen, zouten (met daarin onder meer zware metalen) en fosfaat neer in een geconcentreerde *slurry* en wordt het productgas afgevangen. Zonder dat de mest wordt ontwaterd, worden de in de natte drijfmest (85% vocht) aanwezige koolwaterstoffen met een hoog conversierendement omgezet in productgas. In vergelijking met vergisting is deze techniek in potentie energie-efficiënter en veel compacter. De eerste tests zijn gerealiseerd en hebben de *proof-of-principle* opgeleverd. De volgende stap is het bouwen van een grootschalige opstelling, waarmee de economische en technische haalbaarheid aangetoond kan worden. ■

## Interview

### Albert van der Molen

expert assetmanagement bij Stedin,  
voorzitter projectgroep Groen Gas van  
Netbeheer Nederland



# ‘Smart grids voor gas zijn binnenkort al realiteit’

Voor netbeheerder Stedin is duurzaam geproduceerd gas in korte tijd een serieuze aangelegenheid geworden. Hoewel Stedin hoofdzakelijk opereert in niet-agrarische gebieden, verwacht Albert van der Molen, expert assetmanagement, dat duurzaam gas in 2020 een wezenlijk deel uitmaakt van de energievoorziening in de Stedin-gebieden. Stedin werkt samen met andere partijen aan het concept van het *Smart Green Gas Grid*, naar analogie van de *smart grids* in de elektriciteitsvoorziening. Met als verschil, aldus Van der Molen, dat de vraag naar slimme gasnetwerken feitelijk al urgenter is dan die naar elektrische smart grids.

‘Netbeheerders spelen een belangrijke rol in de energietransitie. Dat is ook logisch. Voor alle projecten op het gebied van duurzame gasvoorziening geldt dat het ophoudt als de netbeheerder niet meedoet. En je wilt niet de beperkende factor zijn. We hebben een bepaalde verantwoordelijkheid.’

‘Wij kijken bij Stedin breder dan alleen naar groen gas. We hebben bijvoorbeeld deelgenomen aan een praktijkproef met het bijmengen van duurzaam geproduceerd waterstof in aardgas, een proef op Ameland die in 2012 is afgerond. Daarnaast zijn we bezig met een proef op het gebied van methanisering. Dat zie ik

eigenlijk als een vervolg op de waterstofproef op Ameland. Daar hebben we een deel van het aardgas vervangen door waterstof. Het percentage waterstof hebben we langzaam opgevoerd. Daar is natuurlijk wel een grens aan; je kunt maar tot een bepaald percentage gaan. De volgende stap is zoals gezegd methanisering:



### *Methanisering*

Methanisering is de omzetting van waterstof en kooldioxide in methaan (het hoofdbestanddeel van aardgas) en een aantal bijproducten. Waterstof is daarbij dan bij voorkeur geproduceerd uit duurzame elektriciteit en CO<sub>2</sub> kan voor een duurzaam doel worden ingezet. Feitelijk is methanisering dus het omgekeerde van 'reforming' van aardgas (waarbij methaan ontleed wordt in onder meer waterstof en kooldioxide). Methanisering verloopt niet spontaan, maar heeft energie-input nodig. Methanisering is momenteel sterk in opkomst als innovatieve optie om duurzame energie in te voeden in het gasnet.

het omzetten van waterstof en CO<sub>2</sub> in methaan. Dan is er geen beperking aan de hoeveelheid waterstof die je in het gasnet kwijt kunt. Via methanisering ontstaat synergie tussen de netten voor elektriciteit en gas. Energie uit duurzame elektriciteit die tot een knelpunt in het elektriciteitsnet leidt, kan via methanisering in het gasnet worden opgeslagen.'

***Voordat we het over groen gas hebben: is innovatie van het gasnet nog wel van belang? Er gaan stemmen op om bij nieuwbouwprojecten geen gasnet meer aan te leggen.***

'Een bekend probleem is dat mensen het gasnet niet altijd op de juiste waarde schatten. Dat zie ik zelfs binnen de energiesector. Dat komt denk ik doordat we gasverbruik in kubieke meters meten en elektriciteit in kilowatturen. Als je het allebei in kilowatturen uitdrukt en kijkt hoeveel kilowattuur er door de gasleiding een willekeurige woning ingaat, dan schrik je. Een gemiddeld huishouden verbruikt per jaar 3.500 kWh elektriciteit en 1.600 m<sup>3</sup> gas. Als je bedenkt dat 1 m<sup>3</sup> gas bijna 10 kWh energie bevat, gaat 80% van de energie door de gasbuis en 20% via de elektriciteitskabel. Niemand pleit voor een substantieel zwaarder elektriciteitsnet. Daarom werken we ook bij elektriciteit aan slimme oplossingen. Daar komt dan nog bij: we hebben voor miljarden euro's een gasnet in de grond gelegd. Dat kan nog vele decennia mee. Als we dat net niet doelmatig gebruiken, zijn we een slechte beheerder. Dat gasnet hebben we met z'n allen betaald; dat moet je gewoon nuttig gebruiken.'

***Desondanks wordt gas niet direct geassocieerd met innovatie.***

'Ik denk dat op het speelveld van de netbeheerders de verduurzaming van de gasvoorziening verder is dan de verduurzaming van de elektriciteitsvoorziening. Op het moment dat hier in de wijk om de vijf huizen iemand een windmolentje, een zonnepaneel of een micro-wkk neerzet, is er niets aan de hand. En af en toe een elektrische auto, dat gaat ook goed. Maar op het moment dat achter hetzelfde gasontvangststation twee invoeders van groen gas zitten, is er al een flinke uitdaging. Voor gas treedt veel eerder een knelpunt op wanneer de gasvraag laag is. Bij elektriciteit zijn de verschillende netvlakken gekoppeld via een transformator en die is bidirectioneel. Als er te veel elektriciteit in het gebied is, gaat dat naar een hoger netvlak. Bij gas is dat niet zo. Gas gaat nou eenmaal niet spontaan van 8 bar naar 40 bar. Bij het gasontvangststation, waar het regionale net gevoed wordt door het landelijke hogedruknet, houdt het op. Het gasnet reageert dus heel anders dan het elektriciteitsnet.'

***Zou het dan niet verstandig zijn om alle producenten op 40 bar te laten invoeden? Dan zijn er veel minder beperkingen.***

'Een invoeder zal altijd kiezen voor het laagste drukvlak als dat mogelijk is. Energetisch is dat ook het beste, want het kost veel meer energie om je gas op 40 bar te brengen dan om het op 8 bar te brengen. Met die extra compressie gooi je als producent toch een deel van

je opbrengst weg. Dus de praktijk is dat je invoeders van groen gas hebt op het regionale gasnet.'

***En daar is de gasvraag niet altijd voldoende groot en constant.***

'Klopt. Daarom zijn we bezig met wat we *Smart Green Gas Grid* zijn gaan noemen. De gedachte is dat we in ons gasnet ruimte creëren voor de invoeding van groen gas. Op momenten dat er weinig vraag is, een warme zomernacht bijvoorbeeld, wil de producent van groen gas toch graag met een constante *flow* zijn gas op het net kwijt. Er komt meer gas in dan eruit gaat en daarom loopt de druk op. Dan is al heel snel de grens van 8 bar of iets daarboven bereikt. Maar als

ken over een generieke oplossing, maar wij waren best verbaasd dat die buffercapaciteit van het net zo groot is.'

***Een mooi voorbeeld van een eenvoudige maar doeltreffende oplossing.***

'Er is ontzettend veel interesse voor, want het is zo simpel. Je brengt de druk omlaag, dat is alles. En het kost verder niks. Er zijn overigens nog meer argumenten om de druk te verlagen. Als het gasontvangstation op een lagere druk gas aflevert, scheelt dat energie bij de invoeder. Die kan nu met een lagere druk invoeden. Ook de netverliezen nemen af. En in het algemeen ben ik van mening dat lokaal geproduceerde duurzame energie bij voorkeur lokaal moet worden verbruikt. Aan de

## *Als je gas- en elektriciteitsverbruik allebei in kilowatturen uitdrukt, zie je pas hoeveel energie er door de gasleiding gaat*

je nou zou beginnen op een lagere druk, dan kun je meer gas in het net kwijt voordat die bovengrens bereikt is. Dat zijn we eens gaan uitzoeken. Hoever kunnen we de druk terugregelen? Om er een beetje gevoel voor te krijgen hebben we berekeningen gedaan voor een druk van 3,5 bar op drie locaties. Dan blijkt dat de hoeveelheid gas die je kunt invoeden twee tot drie keer zo groot wordt. De winst is wel sterk afhankelijk van de gekozen locatie. Het is daarom te vroeg om te spre-

andere kant: je moet natuurlijk wel goed kijken wat drukverlaging voor grote verbruikers betekent. Als er afnemers zijn die bij minder dan 7 bar in de problemen komen, dan kun je dat niet naast je neerleggen. Ook al ben je als netbeheerder niet contractueel verplicht om meer dan 3 bar te leveren, als de druk al twintig of dertig jaar niet onder de 7 bar is geweest, is er wel een verwachting gewekt. Daarom is het een belangrijk punt van aandacht. Het kan nog heel interessant worden.'

### *Smart Green Gas Grid*

In principe kan er niet meer gas in het gasnet worden ingevoerd dan op datzelfde moment in datzelfde gebied wordt afgenomen. Gebeurt dat wel, dan neemt de druk in het net toe. Hier geldt echter een harde bovengrens: bij de regionale gastransportnetten is de maximale druk in de regel 8 bar.

De afname van gas uit het regionale net fluctueert sterk gedurende de dag en gedurende het seizoen. Een invoeder van groen gas streeft echter naar een constant productieniveau. Wanneer er weinig afname van gas is, ontstaat een knelpunt. Er is bufferruimte nodig.

Het concept van Smart Green Gas Grid (SG3) creëert extra invoedingsruimte voor (groen) gas in het reguliere gasnet. Daartoe wordt tijdelijk de druk verlaagd van 8 bar naar bijvoorbeeld 4,5 bar. Het gasnet dient zo als buffer op het moment dat meer groen gas wordt ingevoerd dan op datzelfde moment wordt afgenomen. Stedin doet sinds 2012 proeven met SG3 om het buffereffect te onderzoeken. Voor de eerste proef in de regio Amersfoort is het afzetgebied van de invoeder kunstmatig verkleind met een keerklep. Gas Transport Services zorgt bij deze proef voor de drukverlaging in enkele gasontvangstations van Stedin. De proef moet ook uitsluitsel geven over de vraag of theoretische aannames over bufferruimte voor groen gas overeenkomen met de praktijk. Veiligheid en leveringszekerheid staan bovenaan: de drukverlaging mag voor de afnemers niet merkbaar zijn.

[www.sg3.nl](http://www.sg3.nl)



gas is vaak in agrarische gebieden, waar weinig vraag is. Daar waar veel afnemers zitten, in de stedelijke gebieden, is weinig productie. Wij verwachten bij Stedin dat wij in ons gebied hooguit vijf procent van de totale groengasproductie zullen krijgen.'

***Kunt u zich voorstellen dat de netbeheerders de producenten tegemoet komen door de opwaardering van biogas naar groen gas voor hun rekening te nemen, zodat alle producenten op biogasniveau kunnen invoeden?***

'Dat is wel eens overwogen maar dat mogen wij niet. Kwaliteitsconversie van gas is in dit land exclusief belegd bij de landelijke netbeheerder. Regionale netbeheerders mogen niet aan kwaliteits-

## *Met Smart Green Gas Grid creëren we in ons gasnet ruimte voor de invoeding van groen gas*

***Er is geen aansluitplicht voor gas. Dus dat betekent dat je elke aanvraag van een invoeder moet toetsen. Welke aspecten spelen daarbij voor Stedin een rol?***

'Veiligheid staat bovenaan. Als het niet veilig is, wordt er niet ingevoerd. Daar zijn strenge eisen aan gesteld en op dat vlak doen we geen concessies. En verder is ons officiële standpunt dat we in principe groen gas willen transporteren in onze netten. Op het moment dat zich een knelpunt voordoet, gaan wij op zoek naar een

slimme oplossing. Zodra wij bij de Energiekamer (onderdeel van de Nederlandse Mededingingsautoriteit, red.) dekking hiervoor kunnen krijgen, dan zullen we die oplossing uitvoeren. Maar het is echt niet zo dat we nu te maken hebben met honderden invoeders en honderden aanvragen. We hebben op dit moment drie invoeders in ons net die actief zijn. En nog een paar aanvragen, maar dat is het. Op dit moment komen veel projecten niet van de grond. Bovendien is er bijna overal een vorm van mismatch: de productie van het

conversie doen. De landelijke netbeheerder kent *exit specs* en *entry specs*. Maar bij ons is *entry* gelijk aan *exit*; wij doen geen kwaliteitsconversie. Er is natuurlijk wel wat vermenging op het net, maar ik weet nooit precies hoeveel. Stel dat hier een invoeder zit en vijf meter verderop een gebruiker, dan krijgt die gebruiker 100% groen gas, zonder dat er iets gemengd is. Dat kan ik niet voorkomen. Daarom stellen wij die strenge eis dat groen gas van dezelfde kwaliteit moet zijn als grijs gas.'

*Zijn de netbeheerders wellicht ook bezorgd over eventuele aantasting van leidingmaterialen door groen gas? Bij het waterstofproject op Ameland heeft Stedin een apart leidingnet aangelegd en later weer opgegraven om te onderzoeken hoe de leidingmaterialen zich hielden.*

‘Binnen Energy Delta Gas Research wordt mede in opdracht van Stedin de invloed van nieuwe gassen op leidingmaterialen onderzocht. Dat is langetermijnonderzoek. Daarnaast kijken we ook naar een aantal specifieke componenten die problemen kunnen veroorzaken bij de verbranding. Een mooi voorbeeld zijn de siloxanen, die kunnen voorkomen bij de vergisting van rioolslib met resten van wasverzachters. Bij verbranding ontstaat dan siliciumoxide, dat we kennen als zand. Dat wil niemand in zijn cv-ketel en al helemaal niet in zijn groengasmotor. Dus

## *In de visie van de netbeheerders maakt duurzaam gas in 2020 een wezenlijk deel uit van de energievoorziening in Nederland*

daarvoor zijn duidelijke eisen essentieel. En zo kijken we ook naar de invloed van micro-organismen die in het gas kunnen achterblijven en die van invloed kunnen zijn op mens, milieu en infrastructuur.’

*Hoever kunnen we in de visie van Stedin gaan met de vergroening van de gasvoorziening?*

‘De meningen daarover zijn nogal verdeeld. Een paar jaar geleden zijn wel eens suggesties gedaan van tientallen procenten vervanging van grijs door groen

gas. Maar als ik zie hoe snel het nu gaat, dan denk ik dat een paar procent al heel mooi is. Dat klinkt dan niet zo spectaculair, maar reken eens uit om hoeveel kubieke meters het dan gaat. En hoeveel kilowatturen dat zijn! Een paar procent is al een hele uitdaging!’



### *Stedin en groen gas*

Albert van der Molen is vanaf het begin van zijn loopbaan bij Stedin betrokken geweest bij de verduurzaming van de gasvoorziening. Momenteel is hij expert assetmanagement op de afdeling innovatie. Zijn portefeuille behelst vooral de vergroening van de gasvoorziening. Daarnaast is Van der Molen voorzitter van de projectgroep Groen Gas van Netbeheer Nederland. Deze projectgroep is voortgekomen uit een informeel overleg tussen drie grote regionale netbeheerders. ‘De netbeheerders

hebben een stip op de horizon geprojecteerd die aangeeft waar we willen staan in 2020. Duurzaam gas zal dan in onze visie een wezenlijk deel uitmaken van de energievoorziening in Nederland. We willen dat onze infrastructuur er dan klaar voor is. Wat we zelf kunnen doen, dat doen we. Daarnaast zijn er ontwikkelingen die we samen met de andere netbeheerders oppakken. We zitten op één lijn; de uitgangspunten van de netbeheerders zijn hetzelfde.’



## Hoofdstuk 6

# Distributie van groen gas en biogas

Hoe kan Nederland, aardgasland bij uitstek, de gasvoorziening deels verduurzamen? Biogas is hiervoor in potentie een goede mogelijkheid. In ons land bestaat veel kennis en expertise op het gebied van aardgas en er is een uitstekende gasinfrastructuur, waarmee meer energie kan worden vervoerd dan via het elektriciteitsnet [Platform Nieuw Gas, 2008]. Deze infrastructuur leent zich ook voor het transporteren van gas uit biomassa. Aan het invoeden van biogas worden echter wel strikte voorwaarden gesteld. Dat roept de vraag op wat efficiënter is: het biogas ter plekke direct benutten of het opwaarderen tot groen gas om het via het aardgasnet te verplaatsen.

Al meer dan veertig jaar is aardgas in ons land de belangrijkste energiebron voor de industrie, de dienstensector en huishoudens. De binnenlandse elektriciteitsproductie is voor 60% gebaseerd op aardgas. Bovendien is aardgas een belangrijk exportproduct; Nederland wil zich graag op dit vlak blijven profileren. Dit hoofdstuk begint met een beschrijving van de gasvoorziening in Nederland. Vervolgens wordt beschreven wat dit betekent voor de eisen die aan groen gas worden gesteld. Als laatste behandelt dit hoofdstuk de mogelijkheden en beperkingen van invoeding van groen gas en lokaal gebruik van biogas (figuur 1).

### 6.1 Gaskwaliteit als basis voor de Nederlandse infrastructuur

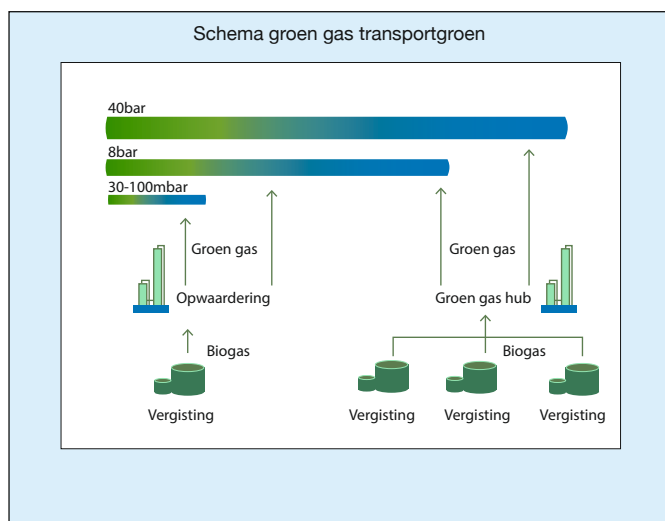
De samenstelling van gassen die in een land gedistribueerd worden, wordt in hoge mate bepaald door de geschiedenis van de energievoorziening in de betreffende regio. Landen met veel gas in eigen bodem, zoals Nederland (zie figuur 2), hebben hun markt primair ontwikkeld op basis van de range van gassen die ze tot hun beschikking hebben. Meestal is de gasapparatuur in deze landen specifiek afgesteld op deze beperkte range van gassen. Landen die al vroeg in de geschiedenis van hun energievoorziening een breder gasaanbod hadden, werken vaak met apparatuur die geschikt is voor een veel bredere gassamenstelling.

Voor Nederland betekent dit dat, sinds de vondst van het Slochterengas (of 'Groningengas') in 1959, apparatuur en distributienetwerken specifiek voor dit gas zijn aangepast en ontwikkeld. Door de lage calorische waarde van dit gas had Nederland een uitzonderingspositie ten opzichte van andere Europese landen. Het Slochterengas bezit namelijk een significant gehalte niet-brandbare stikstof (circa 14%). De rest van Europa heeft doorgaans minder inerte stoffen in het gas.

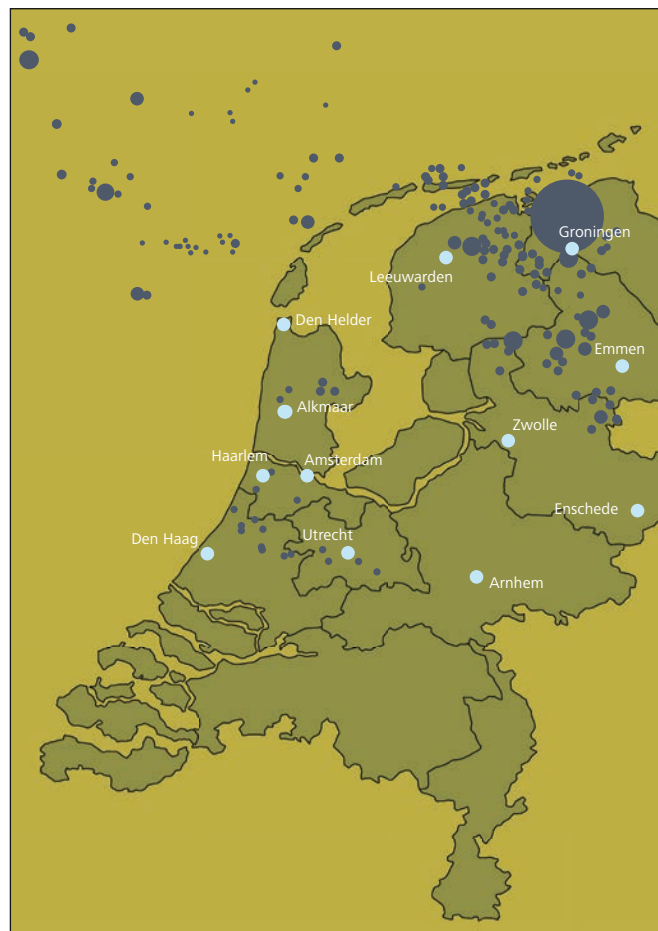
In 1970 besloot de Nederlandse regering om het zogeheten 'kleineveldenbeleid' in te voeren, met als doel het Slochterenveld zo veel mogelijk te sparen. Het gasveld in Slochteren is namelijk in tijden van grote piekvraag, zoals op een koude winterdag, in staat sneller te reageren op de vraag dan de kleinere velden. Vervolgens heeft Gasunie een stelsel van mengstations gebouwd om verschillende gaskwaliteiten te mengen tot gas van zogeheten 'Groningenkwaliteit'. Veel kleine gasvelden leveren namelijk hoogcalorisch gas ('H-gas'). Enkele grote industriële afnemers zagen echter de voordelen van het hoogcalorische gas en lieten hun installaties aanpassen voor deze kwaliteit gas. Zij krijgen rechtstreeks H-gas geleverd via een separaat transportnet. Via dit separate netwerk kon het Nederlandse aardgasnet ook

aangesloten worden op het internationale gasnet. Door middel van conversie-installaties kan het hoogcalorisch gas (H-gas) op Groningenkwaliteit (G-gas) worden gebracht door het te verdunnen met stikstof. Hierdoor is een koppeling ontstaan tussen het G-netwerk en het H-netwerk.

Het uiteindelijke resultaat is dat Nederland op het drukniveau van 40 tot 80 bar twee gastransportnetten heeft: één voor hoogcalorisch gas (geel in figuur 3) en één voor laagcalorisch gas ('Groningengas', grijs in figuur 3). Het transportnet voor H-gas



Figuur 1 Invoeding van groen gas in het aardgasnetwerk.  
Bron: Energy Matters



Figuur 2 Grote en kleine gasvelden in Nederland. Bron: Gasunie

wordt voornamelijk gebruikt voor import en export (onder meer naar Engeland en Italië) en voor het aansluiten van zo'n tachtig grote industriële installaties en elektriciteitscentrales (bron: Agentenschap NL). Het transportnet voor G-gas voorziet via de regionale distributienetten (8 bar en lager) alle huishoudens en duizenden commerciële en industriële klanten van aardgas. Daarnaast verzorgt het G-netwerk ook het transport van G-gas naar Noord-Duitsland, België en Noord-Frankrijk, regio's die door omstandigheden ook beschikken over een gasnetwerk voor laagcalorisch gas.



Figuur 3 Gasnetwerk in Nederland. Bron: Gas Transport Services

Beide hogedruktransportnetten zijn in handen van Gasunie. Gas Transport Services (GTS), een 100% dochter van Gasunie, is verantwoordelijk voor het beheer, de werking en de ontwikkeling van het landelijke gastransportnet. GTS zorgt onder meer voor voldoende transportcapaciteit, aansluiting op andere netten en de balancering van vraag en aanbod op het hogedruknet.

Naast de gastransportleidingen op het vasteland zijn er nog drie gasproductieleidingen in zee, de WestGasTransportleiding (WGT), de NoordGasTransportleiding (NGT) en Noordelijke Offshore Gastransportleiding (NOGAT). Deze productieleidingen brengen de productie van de verschillende offshoregasvelden aan land (figuur 4 op pagina 102).

Op regionaal niveau kent Nederland anno 2012 negen netwerkbeheerders met een eigen distributienetwerk voor aardgas. Deze distributienetten zorgen ervoor dat het aardgas via een aantal drukstappen bij de eindgebruiker terecht komt. De negen netwerkbeheerders hebben hun eigen verzorgingsgebieden (figuur 5).

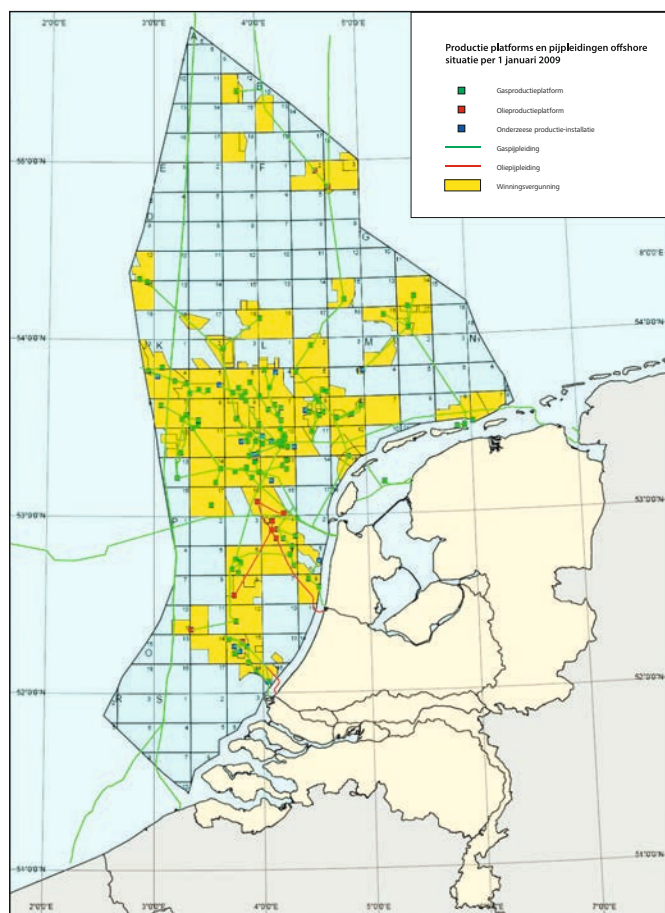
## 6.2 Kwaliteit van gas

Door de komst van andere gassen dan het Groningse aardgas, zoals geïmporteerd gas en LNG, wordt de kwaliteit van aardgas een steeds belangrijker thema. Het meeste gas dat in Nederland wordt gebruikt, komt uit het gasveld bij Slochteren. De samenstelling van dit gas wordt al sinds 1959 gebruikt als standaard voor nationaal gebruik. Het grootste deel van de verbruiksketen van aardgas, met pijpleidingen, gashubs en gasapparatuur, is gebaseerd op deze gaskwaliteit. Worden er gassen van andere kwaliteit ingevoerd in het netwerk, dan kan de veiligheid van eindgebruikers niet gewaarborgd worden. Gassen met een andere samenstelling reageren mogelijk anders tijdens de verbranding. Alle gassen die van andere kwaliteit zijn, zoals biogas en geïmporteerde gassen, moeten daarom worden opgewaardeerd tot dezelfde kwaliteit als het Nederlandse aardgas, voor ze kunnen worden ingevoerd. Biogas dat is opgewaardeerd naar aardgaskwaliteit, wordt groen gas genoemd.

Het begrip 'kwaliteit' lijkt in het algemene taalgebruik vaak een uitdrukking te zijn van 'goed of slecht', maar die betekenis wordt hier niet bedoeld. De gasindustrie gebruikt het begrip kwaliteit om de eigenschappen en de chemische samenstelling van een

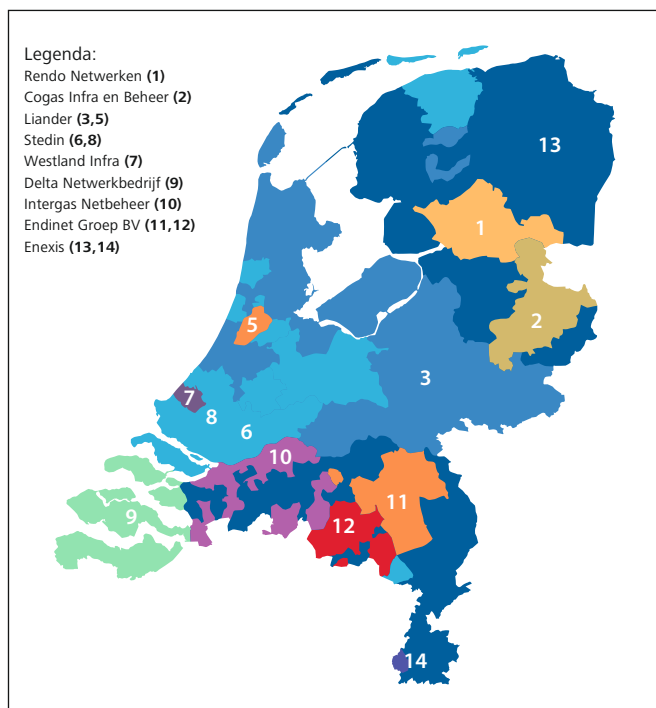
gas te karakteriseren. Verschillende aspecten kunnen worden onderscheiden:

- De **netkwaliteit** zegt iets over de distribueerbaarheid van een gas en de invloed van het gas op de 'integriteit' van het leidingnet. Met integriteit wordt hier een combinatie van betrouwbaarheid en veiligheid bedoeld. Omdat onder meer het condenseren van waterdamp ongewenst is (condenswater leidt in het gasnet tot versnelde corrosie), is het waterdauwpunt een onderdeel van de specificaties van de netkwaliteit.



Figuur 4 Gasproductieleidingen in zee. Bron: Agentschap NL

- De **toepassingskwaliteit** heeft betrekking op de geschiktheid van het gas voor de toepassingen bij de eindgebruiker, zoals de geschiktheid voor cv-ketels, kooktoestellen, gasmotoren en gasturbines. In principe kunnen gassen met verschillende samenstellingen leiden tot ander gedrag in gasapparaten. Dit verschil in gedrag wordt aangeduid door middel van de Wobbe-index, de verhouding tussen de calorische waarde (de energie-inhoud) en de dichtheid van het gas. De Wobbe-index is een maat voor de uitwisselbaarheid van verschillende gassen op een bepaalde brander. Gassen met eenzelfde Wobbe-index geven op dezelfde brander eenzelfde thermisch vermogen af. Om de veiligheid van de eindgebruiker te kunnen waarborgen, moeten de verbrandingseigenschappen van verschillende gassen gelijk zijn. Gassen zijn daarom alleen bruikbaar in bestaande toestellen als hun Wobbe-index valt binnen de bandbreedte van deze toestellen (de zogeheten 'Wobbeband').



Figuur 5 Verzorgingsgebieden van de verschillende regionale netwerkbeheerders in Nederland. Bron: Energieleveranciers.nl

- De **verrekenkwaliteit** gaat over de energie-inhoud van een gasvormige energiedrager. Met name de calorische waarde en de temperatuur en druk bij levering zijn voor de verrekenkwaliteit belangrijk. Bij de verrekenkwaliteit is de basis voor alle transacties met gasvormige energiedragers: voor het verrekenen of afrekenen moet een volumemeting op een juiste manier herleid kunnen worden tot een geleverde hoeveelheid energie.

### 6.3 Invoeden in het aardgasnetwerk

Daar waar biogas, stortgas of productgas voorhanden is, zijn er drie mogelijkheden om de energie van deze gassen te benutten. De eerste is het biogas opwaarderen tot groen gas en dat

invoeden in het aardgasnet voor distributie door het hele land. De tweede optie is het direct lokaal inzetten van biogas. Een derde mogelijkheid is het vloeibaar maken van biogas, waarna het over de weg getransporteerd kan worden als bio-LNG. Dit laatste gebeurt in Nederland nog niet, maar is in Zweden al wel populair. In dit boek zullen we op deze derde optie niet verder ingaan.

Op veel plekken in Nederland wordt biogas uit vergistingsinstallaties direct gebruikt in wkk-installaties, die het gas omzetten in elektriciteit en warmte. Opwaarderen tot groen gas is een goed alternatief. Het voordeel hiervan is dat het gas hierdoor snel over grotere afstanden getransporteerd kan worden en dus een veel



Figuur 6 Hogedrukgasleidingen. Bron: Gasunie

Kwaliteitseisen groen gas		
Fysische eigenschappen	Bandbreedte	Eenheid
Calorische bovenwaarde	34,5-36,0	MJ/m <sup>3</sup>
Wobbe-index	43,46-44,41	MJ/m <sup>3</sup>
Hoedanigheden	Grenswaarde	Eenheid
Waterdauwpunt (8 bar)	-10	Graden Celsius
Temperatuur (in te voeden gas)	0-20	Graden Celsius
Zwavel (totaal)	45	mg/m <sup>3</sup>
Methaangehalte	>80	Vol %
Odorantgehalte	>10, nom 18, <40	mg/m <sup>3</sup>

Tabel 1 Kwaliteitseisen voor groen gas. Bron: KEMA

groter afnamepotentieel krijgt. Nadeel is dat het invoeden moet voldoen aan nogal wat voorwaarden. Allereerst moet het gas van de juiste kwaliteit zijn. Ook moet het geschikt zijn voor de druk en de stroomsnelheid in het transportnet. Ten derde moeten de capaciteit en de minimale afname van het aardgasnet voldoende zijn; het gasnet moet de ingevoede hoeveelheid gas tijdig kunnen verwerken.

### 6.3.1 Gaskwaliteit

Zoals eerder besproken heeft de kwaliteit van gas alles te maken met de samenstelling. In biogas zitten sporen van componenten die niet in aardgas voorkomen. Daarom moet bij de opwerking van biogas tot aardgaskwaliteit CO<sub>2</sub> verwijderd worden, het gas wordt ontzwaveld, gedroogd en voorzien van een geurstof. Zie tabel 1 voor de kwaliteitseisen die gesteld worden aan (groen) gas. Voor het verder verbeteren van de gaskwaliteit moeten onzuiverheden als water, ammoniak, zwavelverbindingen, HFk's en eventuele bio-organismen uit het gas worden gehaald. De verbrandingseigenschappen van het gas, uitgedrukt in de Wobbe-index, moeten hetzelfde zijn als die van het Groningse aardgas. In de praktijk komt het erop neer dat het methaangehalte van het biogas verhoogd moet worden en het CO<sub>2</sub>-gehalte verlaagd. De kwaliteitseisen van de regionale netbeheerders zijn vastgelegd in de Aansluit- en Transportvoorwaarden Gas RNB. Ook de landelijke netbeheerder heeft zijn specificaties geformuleerd. Deze afspraken zijn gemaakt om de integriteit, de veiligheid en de werking van het aardgasnetwerk en de daarop aangesloten installaties te kunnen waarborgen. De afspraken zijn niet statisch;

nieuwe kennis op het gebied van kwaliteit kan in principe leiden tot een verandering in de kwaliteitseisen voor groen gas. In de specificaties van GTS is een eis vermeld dat 'het gas geen andere elementen, dan wel onzuiverheden mag bevatten in zo'n hoeveelheid dat het gas niet meer kan worden getransporteerd, opgeslagen of afgeleverd, zonder aanvullende kosten voor GTS in verband met de aanpassing van de kwaliteit. Indien de kwaliteit van groen gas niet voldoet aan de eisen die de regionale of landelijke netbeheerder stelt, dan kan de netbeheerder invoeding van groen gas weigeren' [KEMA, 2010].

### 6.3.2 Druk en stroomsnelheid

Indien de gaskwaliteit in orde is en er genoeg capaciteit beschikbaar is, moet de invoeder nog voldoen aan de eisen ten aanzien van druk en stroomsnelheid. Een deelnet wordt gekenmerkt door een drukbereik: het verschil tussen de maximale en minimale werkdruk dat in een deelnet mag heersen. Is de druk hoger, dan kunnen er problemen ontstaan met de leidingen en kan de veiligheid niet meer gegarandeerd worden. Als de druk lager wordt dan de minimale druk, kunnen niet alle afnemers op een veilige manier voorzien worden van gas.

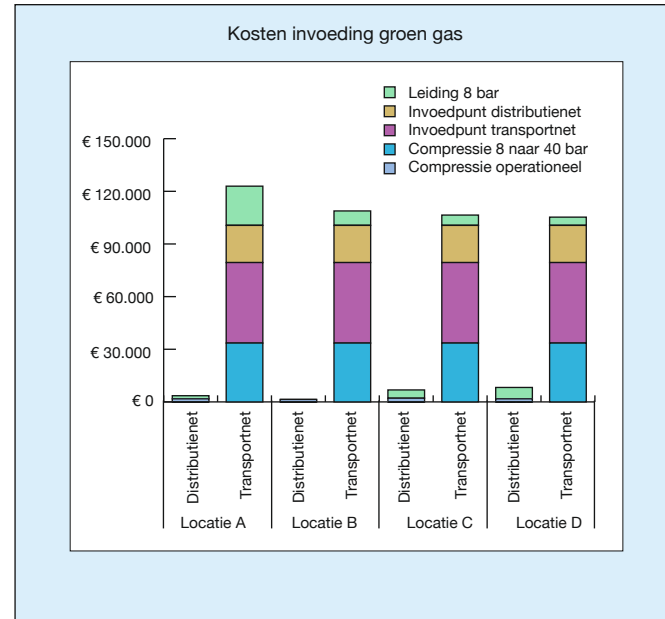
Daarnaast worden er ook eisen gesteld aan de stroomsnelheid. Algemeen geldt dat de stroomsnelheid in een gasnet niet hoger mag zijn dan 30 m/s, omdat anders geluidhinder kan ontstaan. Alle gasnetten zijn zo ontworpen dat de stroomsnelheid onder dit maximum blijft. Wanneer er een invoedpunt bij komt, kan de situatie ter plekke wijzigen. Daarom moet bij elke aanvraag opnieuw berekend worden of er nog steeds wordt voldaan aan de druk- en stroomsnelheidseisen.

### 6.3.3 Capaciteit van het netwerk

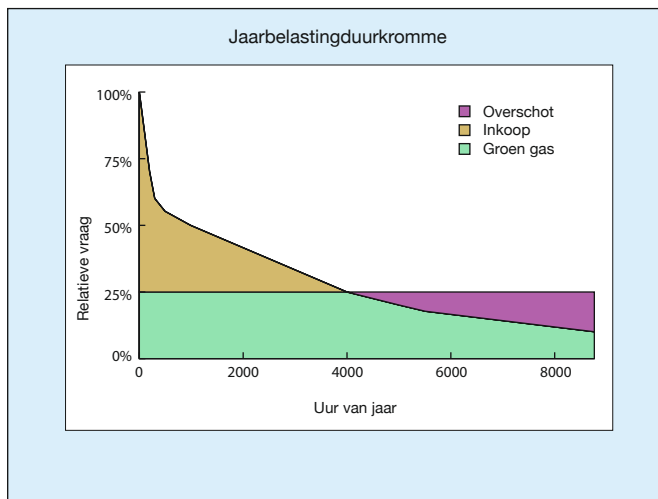
Invoeding van groen gas in het bestaande aardgasnet is niet altijd en op iedere locatie zonder meer mogelijk. Invoeden is altijd maatwerk. Het volume aan groen gas dat kan worden ingevoerd, is afhankelijk van de technische capaciteit van het distributienetwerk. De capaciteit in het transportnet wordt mede bepaald door de input en de afname door gebruikers. Algemeen geldt dat de input en de afname in evenwicht moeten zijn. Er kan in een netwerk namelijk niet langdurig meer gas worden ingevoerd dan er wordt afgenomen. De afname van gas fluctueert voortdurend, terwijl de productie van groen gas constant is. De zomer-



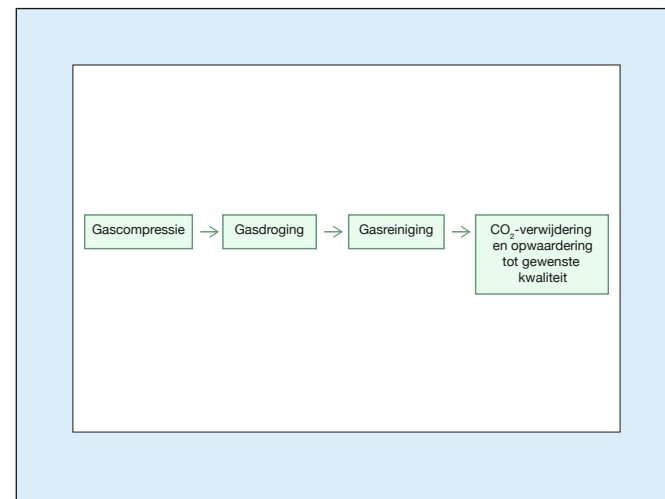
Figuur 7 Meetapparatuur op een gasstation. Bron: Gasunie



Figuur 9 Jaarlijkse kosten van invoeding van groen gas in het distributienet en het transportnet voor vier verschillende locaties (A t/m D). Bron: KEMA, Endinet



Figuur 8 Gasafname afgezet tegen de groengasproductie (indicatief).



Figuur 10 Opwaarderingproces van biogas naar groen gas.

periode, met name de zomernachten, zijn hierbij een belangrijk aandachtspunt omdat dan de gasafname het laagst is. Op dat moment is de invoedingscapaciteit dus beperkt. Als vraag en aanbod niet op elkaar aansluiten, ontstaat een capaciteitsprobleem omdat er maar beperkte mogelijkheden zijn om variabel in te voeden (zie figuur 8, pagina 105) [Agentschap NL, 2012].

Een mogelijke oplossing voor dit probleem is het gas te transporteren naar andere plekken waar wel vraag is. Vaak zijn er landelijk genoeg afzetmogelijkheden. Dit betekent dat het groen gas moet worden ingevoerd in het hogedruktransportnet (40 bar), wat weer een ander probleem oplevert: het gas moet tot de juiste werkdruk gecomprimeerd worden. Naast het feit dat het opwaarderingsproces energie kost, kost ook het comprimeren energie (en dus geld). Invoeding in het distributienet (maximaal 8 bar) is daarom veel goedkoper dan invoeding in het transportnet (zie figuur 9 op pagina 105).

Figuur 9 laat een duidelijk verschil in kosten (en energieverbruik!) zien tussen invoeding in het distributienet en het transportnet. Om het energieverbruik en de kosten zo laag mogelijk te houden, verdient invoeding van groen gas op lagere drukniveaus de voorkeur.

## 6.4 Opwaarderingsstechnieken

De opwaarderingsstechnieken voor biogas en productgas verschillen enigszins door het verschil in samenstelling tussen beide gasen. Beide processen, waarin de gasen worden opgewaardeerd tot de gewenste gaskwaliteit, worden in deze paragraaf daarom apart besproken.

### 6.4.1 Opwaarderingsproces van biogas

Voor het opwaarderingsproces van biogas (uit vergisting, zie hoofdstuk 4) naar groen gas kunnen een viertal stappen worden onderscheiden (zie figuur 10).

Het biogas wordt eerst tot een druk van 10 bar gecomprimeerd. In de tweede stap wordt het gas gedroogd en tot  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  gekoeld. Vocht, waterstofsulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ), zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ), halogenen, siloxanen (onder meer afkomstig uit wasverzachters, die via vergisting van slib uit rioolwaterzuiveringsinstallaties in biogas terecht kunnen komen) en andere verontreinigingen worden

in deze stap uit het biogas verwijderd. Vervolgens wordt het gezuiverde gas door een katalytisch filter gevoerd voor verdere gasreiniging. Ten slotte wordt  $\text{CO}_2$  aan het gas onttrokken, waardoor de calorische waarde van het biogas toeneemt tot die van aardgas. Daarnaast moet het gas de juiste relatieve dichtheid krijgen (uitgedrukt in de Wobbe-index) en moet er een odorant (sterk geurend gas) worden toegevoegd om detectie van een gaslek op basis van reuk mogelijk te maken. Zonder deze toevoeging zou het biogas, maar ook aardgas, nagenoeg reukloos zijn. Deze odorant (tetrahydrothiofeen) is al ruikbaar bij 0,5% gas in de lucht, één tiende van de onderste explosiegrens. Tetrahydrothiofeen wordt toegevoegd in een hoeveelheid van  $18\text{ mg/m}^3$ ; dit komt overeen met ongeveer één druppel per twee kubieke meter gas. Ten slotte is het voor de invoeding in het gasnet noodzakelijk dat het gas op de juiste werkdruk wordt gebracht.

Een belangrijk onderdeel van het opwaarderingsproces is het verlagen van het kooldioxidegehalte. Dit kan op verschillende manieren plaatsvinden. Wat de meest rendabele opwaarderingsstechniek is in een bepaalde situatie, is van veel factoren afhankelijk. De volgende technieken zijn op dit moment voorhanden voor het opwaardeken van biogas:

- gaswassing
- cryogene destillatie
- *vacuum pressure swing adsorption*
- membraanfiltratie



Figuur 11 VPSA-technologie. Bron:  $\text{CO}_2\text{CRC}$

### Gaswassing

Bij gaswassing of absorptie wordt het CO<sub>2</sub> in het biogas opgelost in een vloeistof, meestal een amineverbinding zoals monoethanolamine. Omdat CO<sub>2</sub> beter oplost dan methaan, kan CO<sub>2</sub> op deze manier van methaan worden gescheiden. Het scheidingsproces vindt plaats in een kolom bij een temperatuur van 30 tot 40 °C. De vloeistof waarin het CO<sub>2</sub> is opgelost, wordt vervolgens vervoerd naar een tweede kolom, waar ze wordt verhit naar 70 tot 110 °C, waardoor het CO<sub>2</sub> wordt vrijgegeven. Zo kan het CO<sub>2</sub> als bruikbaar gas worden teruggewonnen.

### Cryogene destillatie

Cryogene destillatie is een destillatie die plaatsvindt bij extreem lage temperaturen. Deze methode wordt gebruikt om mengsels te scheiden die bij normale druk en kamertemperatuur gasvormig zijn. Het wordt onder andere toegepast bij de scheiding van lucht, maar dus ook voor het verwijderen van CO<sub>2</sub> uit biogas. In feite is cryogene destillatie het omgekeerde van conventionele destillatie (het scheiden van stoffen door ze te verhitten, op grond van hun verschillen in kook- en smeltpunten). Bij cryogene destillatie worden gassen gescheiden doordat ze bij verschillende lage

temperaturen condenseren. Doordat methaan vloeibaar wordt bij -162 °C en CO<sub>2</sub> bij -57 °C, zal tijdens het diepkoelen van het biogas het CO<sub>2</sub> als eerste uitcondenseren.

### Vacuum pressure swing adsorption

Vacuum pressure swing adsorption (VPSA), kortweg adsorptie, maakt net als bij gaswassing gebruik van de bindingseigenschappen van CO<sub>2</sub>. Het verschil is dat CO<sub>2</sub> zich bij adsorptie niet bindt aan een vloeistof maar aan een vaste stof. Er zijn verschillende adsorptietechnieken (vacuum swing adsorption/pressure swing adsorption) voorhanden, maar bij het opwaarderen van biogas wordt meestal gebruikgemaakt van VPSA met actieve kool. De scheiding vindt plaats doordat CO<sub>2</sub> zich beter bindt aan kool dan methaan. Bij VPSA kan de druk over een kolom met actieve kool snel worden geschakeld van hoog naar laag en omgekeerd. Bij hoge druk zijn gassen geneigd zich te binden aan de actieve kool, waarbij CO<sub>2</sub> zich makkelijker bindt en dus verdwijnt uit het gas. Na een tijd is de actieve kool verzadigd en kan er geen CO<sub>2</sub> meer worden opgenomen. De CO<sub>2</sub> moet dan uit de kool worden verwijderd zodat deze opnieuw gebruikt kan worden. Dit proces heet regeneratie en levert de beste resultaten bij lage druk.

	VAN BIOGAS NAAR GROEN GAS: OPWAARDERINGSTECHNIIEKEN			
	GASWASSING	CRYOGENE TECHNIIEK	VPSA	MEMBRAANFILTRATIE
	Vloeistof neemt CO <sub>2</sub> op	Afscheiding vloeibaar CO <sub>2</sub>	Actieve kool adsorbeert CO <sub>2</sub>	Afscheiding CO <sub>2</sub> door membraan
Nederlandse leveranciers	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cirmac (LP Coaabtechniek)</li> <li>• DMT (TS-PWS-proces)</li> <li>• Zie ook project De Marke*</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GTS (GPP-techniek)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cirmac (VPSA = vacuum pressure swing adsorption)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cirmac</li> <li>• Van der Wiel Stortgas</li> </ul>
Methaanverlies (zonder gebruik restgas)	< 0,1% (Cirmac) < 1% (DMT)	< 0,5%	1-3%***	15-20%****
Methaangehalte productgas	max. 99,5% (Cirmac) max. 98% (DMT)	max. 99,5%	max. 98%	max. 90%
Werkdruk	atmosferisch (Cirmac) 8-10 bar (DMT)	10-18 bar	6-8 bar	6-8 bar
Elektriciteitsverbruik	0,05-0,12** kWe/Nm <sup>3</sup> ruw gas (Cirmac) 0,20-0,25 kWe/Nm <sup>3</sup> ruw gas (DMT)	0,20-0,28 kWe/Nm <sup>3</sup> ruw gas	0,25 kWe/Nm <sup>3</sup> ruw gas	0,20 kWe/Nm <sup>3</sup> ruw gas
Opmerkingen	CO <sub>2</sub> -afgas is nuttig te gebruiken.	Zuiver CO <sub>2</sub> (vloeibaar!) als nuttig bijproduct.		Installatie compact, eenvoudig en licht in gewicht.

**Tabel 2** Opwaarderingstechnieken met hun Nederlandse leveranciers. Bron: Creatieve Energie

De genoemde getallen zijn indicaties op basis van gegevens van de leveranciers. \* Bij dit demoproject wordt gebruikgemaakt van een derde gaswastechneik, ontwikkeld door TNO, Techno Invent en ITO Noord. \*\* 0,05 kWe/Nm<sup>3</sup> geldt indien compressie niet nodig is (zoals bij invoeding in het 100 mbar lagedruknet). Het energieverbruik neemt toe bij compressie voor invoeding op hogere drukkten. Verder is voor de regeneratie van het absorptiemiddel warmte nodig. Het voordeel van het beduidend lagere energieverbruik blijft dientengevolge alleen behouden als voordelige restwarmte voorhanden is. \*\*\* Tot 3% van het sterke broeikasgas methaan komt in het restgas terecht. Mogelijk wordt deze methaanemissie niet geaccepteerd door vergunningverleners, waardoor aanvullende maatregelen nodig zijn. \*\*\*\* Bij membraantechnologie moet uit oogpunt van efficiency het restgas benut worden voor energieopwekking.

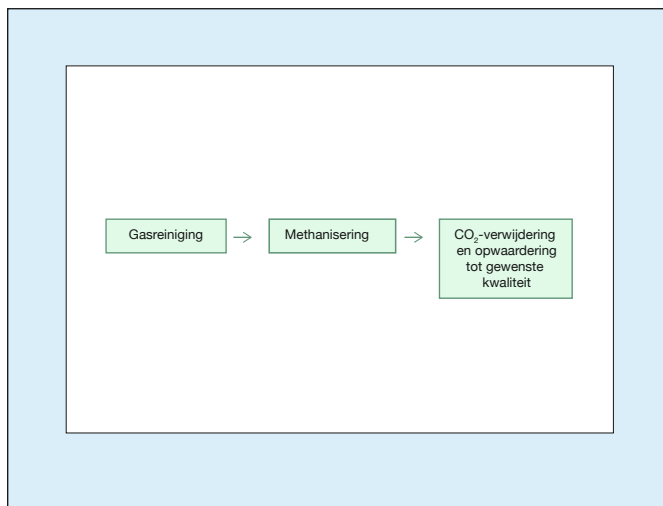
Meestal worden bij adsorptie meerdere kolommen gebruikt die afwisselend actief zijn, zodat het opwaarderingsproces kan blijven doorgaan.

### Membraanfiltratie

Bij membraanfiltratie worden stoffen gescheiden op grond van deeltjesgrootte. De membranen die bij de opwaarderding van biogas worden gebruikt, zijn in feite zeven die sommige moleculen wel doorlaten en andere niet. Het biogas wordt onder druk door een membraan geleid. Moleculen die worden tegengehouden door het membraan (het zogeheten 'retentaat') zijn methaan, stikstof, een gedeelte van het waterstofsulfide en zuurstof. CO<sub>2</sub>, ammoniak, restanten water en het grootste gedeelte van het waterstofsulfide gaan door het membraan heen (dit is het zogeheten 'permeaat'). Bij de meeste membranen zal ook een gedeelte van het methaan in het permeaat terechtkomen, omdat de deeltjesgrootte van methaan en CO<sub>2</sub> niet heel erg veel verschilt. Dit verlies is in de praktijk meestal acceptabel.

### 6.4.2 Opwaarderding van productgas

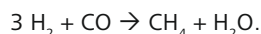
De samenstelling van productgas (dat ontstaat bij de vergassing van biomassa, zie hoofdstuk 5) is afhankelijk van de oorspronkelijke biomassa, de procestemperatuur en eventuele toevoegingen. Bij een lage procestemperatuur ontstaat meer methaan, maar



Figuur 12 Opwaarderingsproces van productgas naar groen gas.

ook meer teer. Het rendement van de vergassing en de energiedichtheid van het productgas zijn hoger bij een lagere vergasertemperatuur. Net als voor biogas geldt ook voor productgas dat de samenstelling te veel afwijkt van die van aardgas, zodat directe invoeding in het aardgasnet niet mogelijk is. Het productgas ondergaat dus een opwaarderding voordat het ingevoed kan worden. Deze opwaarderding vindt plaats in drie stappen, die zijn weergegeven in figuur 12.

De gasreiniging omvat in eerste instantie het verwijderen van stof, teer en verbindingen van zwavel en chloor. Ter bescherming van de katalysatoren voor de productie van methaan (in de tweede stap) moeten ook onverzadigde en aromatische koolwaterstoffen worden omgezet in lichte koolwaterstoffen of in waterstof (H<sub>2</sub>) en koolmonoxide (CO). Een van de zwaardere zwavelverbindingen die uit het gas gefilterd moeten worden, is thiofeen (C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>S). Met behulp van een katalysator is thiofeen af te breken. De onverzadigde koolwaterstoffen C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> en C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, mogelijk ook aanwezig in productgas, worden grotendeels omgezet in C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> door dezelfde katalysator als gebruikt wordt voor thiofeen. Tijdens de methanisering, de tweede stap in het opwaarderingsproces, worden koolstofmonoxide en waterstof omgezet naar methaan en water (H<sub>2</sub>O). Dit gebeurt volgens de reactievergelijking:



Deze omzetting vindt plaats in een katalytische reactor. Na de methanisering vindt nog een opwaarderding plaats waarbij het CO<sub>2</sub> wordt verwijderd. Dit is een belangrijke stap in het opwaarderingsproces, die eventueel ook kan plaatsvinden vóór de methanisering. Dan kan de verwijdering van CO<sub>2</sub> eventueel ook worden gecombineerd met de verwijdering van zwavelverbindingen. Er is dan wel een extra reactor nodig om via een shiftreactie te zorgen voor voldoende waterstof in het productgas. Voor het verwijderen van CO<sub>2</sub> na de methaanproductie kunnen dezelfde technieken gebruikt worden als hierboven beschreven bij het opwaarderen van biogas.

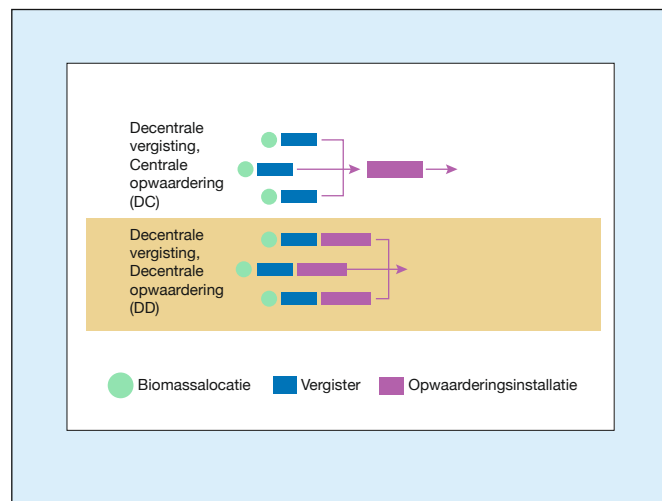
Het opwaarderen van productgas tot groen gas heeft twee belangrijke voordelen. In de eerste plaats kan groen gas worden getransporteerd via het aardgasnet, waardoor er geen lokale

afnemer hoeft te zijn. Hierdoor worden vraag en aanbod ontkoppeld en kan een gezonde markt voor gas uit biomassa ontstaan. Daar komt bij dat, wanneer het gas wordt ingezet voor elektriciteitsproductie, het aardgasnet het gas kan transporteren naar een locatie waar voldoende warmtevraag is, zodat de restwarmte van de elektriciteitsproductie nuttig gebruikt kan worden. Bij lokale elektriciteitsproductie is dat vaak niet mogelijk.

Tabel 2 (pagina 107) laat ook een aantal nadelen van opwaarderen zien. Het opwaarderen van biogas kost energie in de vorm van warmte of elektriciteit. Daarnaast vindt tijdens het opwaarderingsproces ook verlies van methaan plaats. De omvang van dit verlies is afhankelijk van de gebruikte techniek. Hoofdstuk 7 gaat hier verder op in.

### 6.5 Afzetroutes voor groen gas

Aan de beslissing om groen gas te produceren uit biogas of productgas is altijd een beslissing gekoppeld ten aanzien van de logistiek. De vraag is of het gas ter plekke wordt opgewarderd (decentraal) of in een centrale opwaarderding, waar meerdere biogasinstallaties zijn gekoppeld aan een zogeheten 'gashub' met een centrale opwerkinstallatie. In figuur 13 worden deze twee keuzes schematisch weergegeven.



Figuur 13 Mogelijke ontwerpen voor de productieketen van groen gas.  
Bron: Price Waterhouse Coopers (2012)

### Groengashub Wijster

Groengashub Wijster is een project van afvalverwerker Attero, in samenwerking met netbeheerder Enexis. Het project omvat onder meer de aanleg en exploitatie van een biogasverzamelleiding van Nieuweroord langs Nieuw-Balinge naar de locatie van Attero in Wijster. Hier vindt opwaarderding van het biogas plaats. De verzamelleiding, met een lengte van 11,5 kilometer, is eind 2012 operationeel geworden, als de eerste fase van de Groengashub Wijster.

Het aangevoerde biogas wordt in de gasopwerkingsinstallatie van Attero opgewerkt tot aardgaskwaliteit en ingevoerd in het regionale gasnetwerk van Enexis en Rendo. In een latere fase kan de installatie ook invoeden in het landelijke netwerk van Gas Transport Services, afhankelijk van de beschikbare capaciteit. Biogasproducenten kunnen invoeden op de verzamelleiding die – voor zover technisch en economisch mogelijk – in de toekomst uitgebreid kan worden naar andere producenten. Het plan is dat Attero de hub operationeel zal beheren en exploiteren. Enexis voert de aanleg van de biogasleidingen uit en beheert en onderhoudt deze.

Bron: Enexis



Figuur 14 Groengashub. Bron: Attero

**VOORBEELDPROJECT***Groen gas uit Tilburg*

Een voorbeeld van een project waar vergisting en opwaarderding op locatie plaatsvinden, ligt even ten noorden van Tilburg. Deze locatie bestaat uit een stortplaats, een overslagstation en een grondbank. Attero produceert hier groen gas uit het afval van de stortplaats en uit een daarnaast gelegen rioolwaterzuiveringsinstallatie. Per jaar gaat er ongeveer 2 tot 2,5 miljoen kubieke meter groen gas het aardgasnet in. Dit is voldoende voor het verbruik van enkele duizenden huishoudens.

De stortplaats in Tilburg is de centrale stortplaats voor afval uit de provincie Brabant. Hij is voorzien van een leidingnetwerk voor de onttrekking van stortgas, dat ontstaat bij het vergaan van organisch materiaal in het afval. Dit stortgas wordt opgewerkt tot groen gas in de eigen opwaarderingsinstallatie en vervolgens ingevoerd in het gasnet. Daarnaast wordt het huishoudelijke restafval afgevoerd naar een energiecentrale in Moerdijk, die er ook energie mee opwekt. Het GFT-afval wordt gebruikt voor het maken van compost. Op de locatie zijn veel maatregelen getroffen om aantasting van het milieu te voorkomen.



1. Stortplaats
2. Stortvak gevaarlijk afval
3. Afvaloverslagstation
4. Grondbank
5. Percolaatwaterzuivering
6. Stortgasfabriek

Figuur 15 De stortplaats, met daarnaast de RWZI in Tilburg.  
Bron: Attero

Bij opwaarderding op locatie vindt de vergisting plaats op de plek waar de natte biomassa geproduceerd wordt. Daar wordt het biogas direct opgewaardeerd en vervolgens ingevoerd (zie kader hiernaast). Bij centrale opwaarderding wordt het biogas via leidingen centraal ingezameld bij een groengashub (figuur 14), om daar te worden opgewaardeerd tot groen gas (zie kader op pagina 109). Er is sprake van een groengashub als meerdere producenten van biogas zijn aangesloten op één centrale installatie waar het biogas wordt opgewaardeerd tot aardgaskwaliteit en kan worden ingevoerd in het aardgasnet.

Het biogas wordt dus decentraal geproduceerd maar centraal opgewerkt tot groen gas. Het voordeel van centrale opwaarderding is dat de terugverdientijd van de installatie en overige investeringen tot een minimum worden teruggebracht. Daar staat tegenover dat investeringen nodig zijn in biogasleidingen van de vergistingslocaties naar de plaats van opwaarderding. De keus tussen centrale of decentrale opwaarderding hangt sterk af van de dichtheid van vergistingslocaties in een bepaald gebied. Wanneer meerdere vergistingslocaties zich dicht bij elkaar bevinden, zullen de investeringskosten voor de aanleg van biogasleidingen en een groengashub relatief laag zijn en kan de gunstige schaalgrootte de doorslag geven. De investeringskosten wegen dan op tegen de lagere productiekosten. Is dat niet het geval, dan verdient decentrale opwaarderding de voorkeur.

## 6.6 Lokaal transport van biogas

Behalve dat biogas kan worden opgewaardeerd tot groen gas, kan het gas ook zonder opwerking direct worden gebruikt. Biogas is bruikbaar in vrijwel alle toepassingen die ontwikkeld zijn voor aardgas. Niet alle toepassingen vragen om dezelfde gaskwaliteit. Er bestaat bijvoorbeeld een aanzienlijk verschil in kwaliteitseisen tussen stilstaande biogastoepassingen en toepassing als auto-brandstof. Voor verwarmingsketels, een technologie die weinig strikte kwaliteitseisen stelt, is biogas vaak zonder meer geschikt. Wel is vaak een aangepaste brander nodig, omdat ketelbranders in de regel afgesteld zijn op een bepaalde Wobbe-index. De Wobbe-index voor biogas is anders dan die voor aardgas. Ook is het raadzaam om het gehalte waterstofsulfide ( $H_2S$ ) in het biogas omlaag te brengen, om schade aan warmtewisselaars door corrosie als gevolg van zurig condensaat te voorkomen.

Omdat de opwaardering van biogas altijd gepaard gaat met energieverliezen, kan het energetisch gezien interessant zijn om biogas direct in te zetten. Voorwaarde is wel dat de vrijkomende restwarmte nuttig ingezet kan worden. Traditioneel wordt bij vergistingsinstallaties het biogas verbrand in een wkk. Hierbij ontstaan elektriciteit (ongeveer 1/3 van de geproduceerde energie) en warmte (ongeveer 2/3 van de geproduceerde energie). De vrijkomende warmte wordt meestal maar gedeeltelijk (10 tot 30%) benut, bijvoorbeeld om de vergistingstanks te verwarmen. De overige warmte gaat in de praktijk vaak verloren. Dit zou voorkomen moeten worden. Hoewel het mogelijk is warmte te transporteren, gaat dit vaak gepaard met grote energieverliezen.



Figuur 16 Biogasleiding van Dokkum naar Leeuwarden, waarop meerdere vergistingsinstallaties zijn aangesloten (witte stippen). De leiding transporteert het biogas naar een groengashub, waar het wordt opgewerkt en ingevoerd in het aardgasnetwerk.

### VOORBEELDPROJECT

#### Project Zeewolde

Omdat de warmtevraag op de vergistingslocatie vaak gering is, wordt biogas vaak over korte afstand getransporteerd naar een locatie waar de warmtevraag groter is, zoals een woonwijk. Vanaf de vergistingslocatie wordt een pijpleiding naar een wkk-installatie aangelegd. De warmte van deze wkk wordt gedistribueerd in de woonwijk. Dit gebeurt ook in Zeewolde, de eerste Nederlandse gemeente die een Zone Groene Warmte heeft ingesteld (2009). Het gaat hierbij om de Polderwijk, een nieuwbouwwijk met ongeveer drieduizend woningen, een kerk en een aantal scholen. Alle woningen en gebouwen zijn aangesloten op een warmtenet. Bij het maken van de plannen voor de Polderwijk is een milieueffectrapportage uitgevoerd. Hieruit bleek dat de wijk 25% energiezuiniger wordt dan op basis van de toen geldende energieprestatiecoëfficiënt (EPC) voor woningen. Warmte uit biogas bleek de meest aantrekkelijke oplossing om de Polderwijk energiezuinig te maken.

De warmte voor de woningen wordt geproduceerd door een lokale agrariër. Die heeft op het eigen bedrijf een mestvergistingsinstallatie gebouwd en aan de rand van de woonwijk een wkk die wordt gestookt op het geproduceerde biogas. De wkk heeft een elektrisch en een thermisch vermogen van ongeveer 2 MW. De duurzaam opgewekte elektriciteit verkoopt de agrariër op de stroommarkt. De gasleiding tussen de vergister en de wkk is aangelegd door Essent Warmte, het bedrijf dat ook het warmtenetwerk in de wijk heeft aangelegd.



Figuur 17 Polderwijk Zeewolde.

Biogas is zelf echter veel eenvoudiger te transporteren. De mogelijkheid bestaat dus om met biogasleidingen het biogas te transporteren van de vergistingsinstallatie naar de wkk en de wkk te plaatsen op een locatie met een voldoende grote warmtevraag. Dit geeft bovendien de mogelijkheid om meerdere vergistingsinstallaties op één wkk aan te sluiten, waardoor de relatieve kosten dalen. De opgewekte energie kan gebruikt worden om bijvoorbeeld een nabijgelegen woonwijk te voorzien van warmte en elektriciteit, wat al gebeurt in een wijk in Zeewolde (zie het tekstkader op de vorige pagina). Door het nuttig gebruiken van de opgewekte warmte en het achterwege laten van de opwaarderingsstap (die ongeveer 10% van de energie van het biogas kost) zal het totaalrendement stijgen. De manier waarop biogas optimaal kan worden ingezet, is sterk afhankelijk van de situatie. Voor een optimaal gebruik van biogas is het noodzakelijk een goede lokale afnemer te vinden voor de warmte. Als die niet voorhanden is, kan opwaarderend en invoeding in het aardgasnet een betere optie zijn. ■



## Interview

### Erik van Engelen

managing director bij Groen Gas  
Nederland



# ‘Houd je opties open’

Groen Gas Nederland werd in september 2011 opgericht om, met steun van de overheid, de ontwikkeling van de groengasmarkt te versnellen. Een jaar na dato merkt directeur Erik van Engelen op dat zijn organisatie inmiddels twee keer het beleid heeft bijgesteld. Zo snel kunnen de panelen verschuiven in de energiewereld. ‘We moeten een beetje oppassen dat de aandacht voor groen gas niet gaat verslappen.’

‘Eén van de speerpunten bij aanvang van Groen Gas Nederland was het interesseren van initiatiefnemers. Vooral agrariërs wilden we ervoor interesseren. Inmiddels is dat al niet meer nodig; er zijn meer dan genoeg ondernemingen die iets willen met groen gas. Daarvoor hoeven we het land niet meer in te trekken. Op dit moment richten we ons veel meer op de financiering van de bestaande initiatieven. Daar zit nu de *bottleneck*. Als gevolg van de crisis zijn de banken terughoudend; ze kijken kritisch naar de *business cases* die worden ingediend. Wij proberen te

helpen met het zo sterk mogelijk maken van die *business cases*.’

### ***Kan de overheid hier stimulerend optreden?***

‘Jazeker. Het feit dat wij er zijn is een voorbeeld van die stimulering. Het ministerie van Economische Zaken ondersteunt ons. Bovendien: de SDE-regeling (Stimulering Duurzame Energieproductie, red.) is succesvol geweest voor groengasprojecten. In 2011 is een miljard euro subsidie beschikbaar gesteld aan 30 groengasinitiatieven. Als die gerealiseerd

zijn, zullen we alles bij elkaar méér kubieke meters groen gas produceren dan wij in de doelstelling voor Nederland hadden opgenomen. Voor de meeste vergistingsprojecten is de SDE doorslaggevend. Alleen RZWI's en stortgasinstallaties kunnen soms zonder SDE.’

### ***Is er wel genoeg biomassa voor de projecten die in bedrijf zijn?***

‘In tegenstelling tot de prognoses van een aantal jaren geleden is er nu sprake van handelskrapte. De feitelijke aanwezigheid van biomassa is niet het probleem,

Groen Gas Nederland is ontstaan uit het Platform Nieuw Gas (PNG), dat in 2006 werd opgericht als uitvloeisel van de *task force* Energietransitie. Het platform richtte zich op de verduurzaming van de gasketen via vier transitiepaden. Een van die paden is groen gas. Dit pad richt zich op de inzet van gasvormige energiedragers uit biomassa. Omdat het onderwerp groen gas binnen de portefeuille van het PNG snel meer aandacht kreeg, is Groen Gas Nederland opgericht. Doel van deze projectorganisatie is ervoor te zorgen dat de hindernissen

bij de ontwikkeling van groengastechnologie zo veel mogelijk en zo snel mogelijk worden weggenomen, zodat allerlei partijen in de markt tot ontwikkeling kunnen komen. Op 6 september 2011 gaf toenmalig minister Verhagen van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) het startsein. Groen Gas Nederland is in eerste instantie opgericht voor een periode van twee jaar, met de mogelijkheid van verlenging.

## Zonder conflicten met de voedselvoorziening moeten we met biomassa kunnen voorzien in de wereldwijde energievraag

maar wel de prijsvorming. Die krapte kan in de toekomst verminderen. Door technologische ontwikkelingen kan laagwaardige biomassa ingezet worden voor vergisting en door voorbewerking kan er steeds meer gas uit bestaande biomassa gehaald worden. Op dit moment richten we ons vooral op markttransparantie. Bij covergisting heeft een boer zelf een aantal stoffen die hij kan vergisten, meestal mest en nog een paar reststromen. Maar daarnaast heeft hij voor zijn type vergister ook cosubstraten van buiten het erf nodig. Die koopt hij het liefste bij een boer in de buurt. En die wil daar dan wel graag wat aan verdienen. De prijsvorming is daardoor vrij willekeurig. Als Groen Gas Nederland stimuleren we een open markt waar iedereen de prijzen kan zien. Vooralsnog is de animo nog gering. Begrijpelijk, want de prijzen zouden dan nog wel

eens kunnen dalen. Maar op termijn leidt een transparante markt tot meer omzet, hogere kwaliteit van de biomassa en meer duurzaamheid.'

### **Waar blijft het groene gas dat wordt geproduceerd? Is invoeding in het gasnet overal probleemloos?**

'Nee, invoeding van groen gas is voor ons een belangrijk aandachtspunt. Dat is het afgelopen jaar niet wezenlijk veranderd. Aan de ene kant heb je de producent van groen gas die graag zijn gas in het gasnet kwijt wil. Zijn belang is dat de netbeheerder niet te ingewikkeld doet. Aan de andere kant wijst de netbeheerder op strikte invoedvoorwaarden waar iedere invoeder aan moet voldoen. Want, zeggen de netbeheerders, wij moeten te allen tijde de veiligheid kunnen waarborgen. Een terecht punt. Een klein ver-

gistingproject moet verschillende nabewerkingsstappen uitvoeren om het gas op de vereiste kwaliteit te krijgen. Dan gaat zo'n business case snel onderuit. Terwijl je bij invoeding ook zou kunnen redeneren dat zo'n klein beetje gas in dat grote systeem op sommige punten best aan een iets andere specificatie mag voldoen. Wij onderzoeken momenteel met de netwerkbedrijven en leveranciers een aantal op de praktijk toegespitste methoden om de invoedkosten te beperken zonder te tornen aan de veiligheid.'

### **Maar daarmee schuiven hooguit de grenzen iets op. Netbeheerders zullen uit oogpunt van veiligheid altijd eisen blijven stellen.**

'Het ligt iets anders. De samenstelling van ruw biogas wijkt af van het gas in het netwerk. Het biogas moet opgewerkt worden naar netkwaliteit om het naar de gebruikers te kunnen transporteren. Deze gebruikers hebben ook apparatuur geschikt voor de standaard gaskwaliteit in Nederland. In Duitsland en andere landen ligt de taak van het opwaarderen en op kwaliteit brengen bij de netbeheerders

en deze mogen de kosten socialiseren. Dat zou in Nederland ook kunnen. Dan gaan wel de SDE-bedragen naar beneden, omdat deze kosten nu in de SDE-tarieven verdisconteerd zijn. De tarieven van de netwerkbeheerders gaan omhoog omdat ze de extra kosten moeten kunnen terugverdienen. Momenteel is het in Nederland zo dat de invoeder de kosten voor het opwerken moet dragen. De verdeling van kosten is niet altijd goed geregeld. Een voorbeeld. Als iemand als eerste een invoedingspunt op een net nodig heeft, draagt hij daarvoor alle kosten. Maar als er daarna op deze aansluiting nog capaciteit over is – bijvoorbeeld omdat de netbeheerder door standaardisatie een bepaalde aansluitcapaciteit heeft aangelegd – kan die capaciteit beschikbaar worden gesteld aan derden. In dat geval wordt er geen restitutie gegeven aan de eerste partij. Zo'n ondoorzichtige regeling maakt projectinvesteerders terughoudend.'

***Wat kunt u als Groen Gas Nederland daaraan doen?***

'Wij kunnen proberen een brug te slaan tussen de netbeheerders, die uitstekend georganiseerd zijn, en de kleine producenten. Op basis van redelijke argumenten kunnen we kijken waar een opening zit. In de praktijk zijn de kwaliteitsverschillen tussen de aangeboden gassen en regulier aardgas niet eens zo groot. Iedereen die gas produceert om in te voeden, weet dat hij in de buurt van aardgaskwaliteit moet komen. Dat gas is gedroogd, heeft een bepaalde calorische waarde en de Wobbe-

***Transparantie leidt tot lagere prijzen, maar ook tot meer omzet en meer duurzaamheid***

index mag niet te veel afwijken van die van aardgas. Dus het gaat om kleine verschillen. Dat zien de netbeheerders ook wel. Zij staan ook wel open voor redelijke argumenten. Onlangs zei de voorzitter van Netbeheer Nederland op een congres dat hij het op termijn best voorstelbaar vindt dat kosten voor opwerken en invoeden anders worden verdeeld. De overheid wil het ook graag, want groen gas is belangrijk voor het halen van de klimaatdoelstellingen. Dus daar wordt wel aan gewerkt. Maar er is even tijd voor nodig.'

***Wat is het potentieel van groen gas voor de Nederlandse energievoorziening? Welke doelstelling voor de lange termijn hanteert u?***

'In 2011 produceerden we in Nederland ruim 30 miljoen m<sup>3</sup> groen gas per jaar. Binnen drie jaar zien we mogelijkheden dat te vertienvoudigen tot 300 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Daarna moet dan nogmaals een vertienvoudiging volgen, naar 3 miljard m<sup>3</sup> per jaar in de periode tot 2030. Als we die 3 miljard m<sup>3</sup> bereikt hebben, dan hebben we niet alleen de vergistings-technologie onder de knie, maar ook de vergassingstechnologie. Vergassing is nu nog innovatief, die technologie is nog volop in ontwikkeling. Maar die 3 miljard m<sup>3</sup> kunnen we alleen halen als vergassing meedoet. Als het ons lukt tot die 3 miljard m<sup>3</sup> te komen, dan ligt in feite de weg

naar een nog veel grotere productie in de verdere toekomst helemaal open.'

***Voor die 3 miljard m<sup>3</sup> in 2030 moeten we waarschijnlijk wel flinke hoeveelheden biomassa uit het buitenland halen.***

'Als we in Nederland echt ons best doen, moeten we ergens rond de 1 miljard m<sup>3</sup> kunnen produceren op basis van onze eigen biomassa. Dat getal is niet onderbouwd met grote studies, maar ik houd





*Als alle huidige projecten gerealiseerd zijn,  
zitten we met de productie van groen gas  
al boven de doelstelling*

het erop dat daar ongeveer de grens ligt. Dus voor die 3 miljard m<sup>3</sup> moeten we grootschalig biomassa importeren uit het buitenland. Ik denk dat er een hele interessante internationale markt kan ontstaan. Feitelijk is die markt er al. Energiebedrijven halen voor hun hybride kolencentrales steeds meer biomassa uit het buitenland, omdat de biomassa die daarvoor gebruikt wordt in Nederland maar beperkt beschikbaar is. Voor alle duidelijkheid: importeren van biomassa

is op zich geen probleem en biedt zelfs kansen, als je er maar voor zorgt dat de biomassa duurzaam wordt geproduceerd en de biomassaketens voor voeding en voor energie elkaar niet verstoren. Inmiddels hebben we dat redelijk onder de knie, tenminste in de westerse wereld. Ik heb studies gezien, onder meer van ECN, waaruit blijkt dat we met volledig correcte biomassastromen moeten kunnen voorzien in de huidige wereldwijde energievraag. Dus zonder conflicten met

de voedselvoorziening. Dat is nog theorie, maar het zit er wel in. Er kunnen dus economieën ontstaan die de ruimte en het klimaat hebben om in snel tempo biomassa te kweken voor energietoepassingen. Daar is niets op tegen. Er zijn al goede certificeringsschema's beschikbaar zoals FSC, PEFC en de NTA 8080 om de duurzaamheid van de herkomst van biomassa aan te tonen.'

***Welke bedreigingen ziet u voor de ontwikkeling van groen gas?***

'Dan denk ik vooral aan de toegenomen belangstelling voor schaliegas en aan de suggestie dat we met schaliegas weer een paar decennia vooruit kunnen. Daar kunnen verschillende vormen van duurzame energie nog wel eens last van krijgen. Er is veel weerstand tegen die ontwikkeling, maar ze is moeilijk tegen te houden. Ik denk dat Nederland voorzichtig zou moeten zijn met schaliegas en alle duurzame opties moet openhouden.'

***Hoe belangrijk is rijden op groen gas voor de marktontwikkeling van groen gas?***

'Er wordt momenteel nogal gelobbyd voor een betere positionering van het elektrische rijden. Elektrisch rijden bevindt zich nog sterk in de ontwikkelingsfase; groengasauto's kun je bij verschillende fabrikanten al gewoon kopen. De Nederlandse overheid gaat de fiscale voordelen voor rijden op groen gas afbouwen. Je zou zeggen: wees nou wijs en laat dat voordeel voor groen gas nog even bestaan. Rijden op groen gas is direct uitrolbaar, draagt bij

aan een betere luchtkwaliteit en heeft een goede CO<sub>2</sub>-prestatie. Het is een kosten-effectieve methode om groen gas in te zetten en verdient net zo'n voordelig fiscaal regime als elektrisch rijden. Maar daar wordt kennelijk anders over gedacht.'

***Er is een CO<sub>2</sub>-voordeel, maar aan de andere kant: je haalt met een verbrandingsmotor maar dertig procent rendement. Dus je gebruikt groen gas eigenlijk niet efficiënt.***

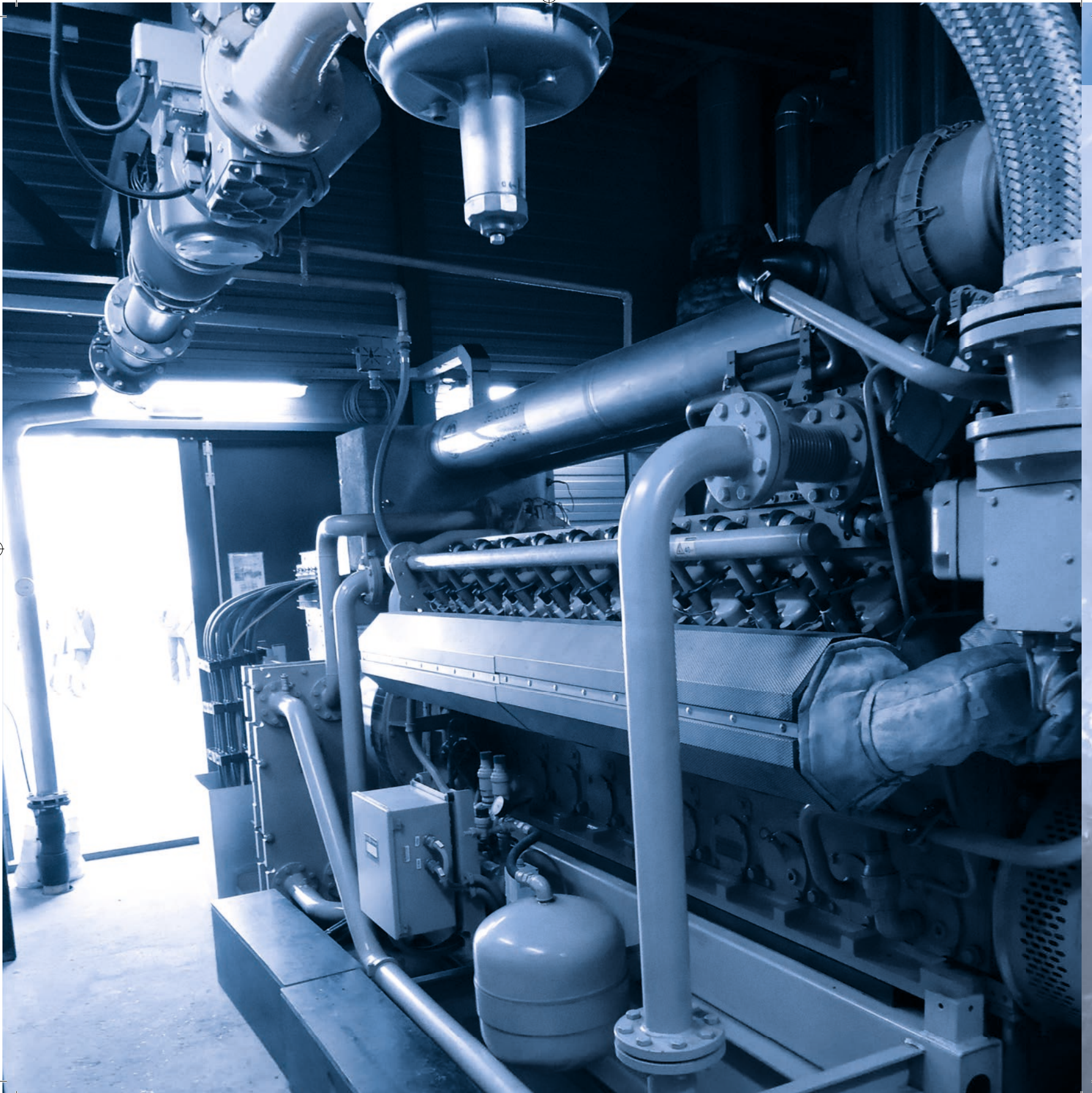
'Streven naar het hoogste rendement is prachtig, maar dat betekent niet dat al het andere geen waarde meer heeft. Het is zo'n veelgemaakte fout in de politiek en in het bedrijfsleven: te vroeg stoppen met een ontwikkeling omdat het misschien niet het meest optimale oplevert. Ik vind dat we alle opties open moeten houden. Niet ten koste van alles, maar te vroeg stoppen is zonde. Bij de inzet van groen gas in de mobiliteit is het rendement van de inzet lager, maar je vervangt wél honderd procent fossiele brandstoffen. Dat is toch wel echt de moeite waard!'



*Erik van Engelen  
over biobased economy*

'De *biobased economy* komt nog maar moeizaam tot stand. Dat komt doordat vraag en aanbod met elkaar verbonden moeten worden. Aan de ene kant heb je de bulkvraag. De energiebedrijven bijvoorbeeld hebben bulkhoeveelheden biomateriaal nodig. Aan de andere kant vraagt de farmaceutische industrie om kleine hoeveelheden grondstoffen van een hoge specifieke kwaliteit. Groen Gas kan hier een rol van betekenis vervullen. Als afvalstromen met gebruik van technologie uit elkaar worden gehaald, kunnen hoogwaardige componenten naar biobased producten en de laagwaardige componenten worden omgezet in biogas. Dit draagt ook bij aan het sluiten van kringlopen en nutriëntenrecycling. We zijn voor een korte periode opgericht om de groengasproductie te stimuleren. Maar groen gas staat natuurlijk niet op zichzelf en maakt zeker op de lange termijn onderdeel uit van die biobased economy.'

*Groen gas is belangrijk voor het halen van de Nederlandse klimaatdoelstellingen*



## Hoofdstuk 7

# Eindproducten van biogas en groen gas

Biogas kan via verschillende routes omgezet worden in warmte, elektriciteit, transportbrandstoffen of grondstoffen voor de industrie. De keuze voor rechtstreekse benutting of opwaardering tot aardgaskwaliteit is afhankelijk van verschillende (lokale) factoren. Dit hoofdstuk vergelijkt de verschillende routes voor het inzetten van biogas met elkaar. Met name de energiebesparing en de vermeden CO<sub>2</sub>-emissie staan in die vergelijking centraal.

Er zijn verschillende routes voor het inzetten van biogas, zie figuur 1 op de volgende pagina. Zo kan biogas in een bio-wkk (bio-warmtekrachtkoppeling) rechtstreeks worden omgezet in warmte en elektriciteit. Ook kan er lokaal *Compressed Natural Gas* (CNG) of *Liquidified Natural Gas* (LNG) van worden gemaakt. Als een lokale toepassing niet direct mogelijk is, kan het biogas worden opgewaardeerd naar aardgaskwaliteit en worden ingevoerd in het aardgasnet. Vervolgens wordt het mengsel van aardgas en groen gas weer omgezet naar dezelfde eindproducten.

In dit hoofdstuk zullen we in eerste instantie ingaan op de toepassing van groen gas. Na het opwerken van biogas tot groen gas is dit praktisch gezien gelijk aan aardgas. Paragraaf 7.1 behandelt dan ook voornamelijk aardgastoeepassingen.

Paragraaf 7.2 gaat in op het lokaal gebruik van biogas. In 7.3 worden transportbrandstoffen besproken en paragraaf 7.4 vergelijkt de energiebesparing en de vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot van de verschillende opties.

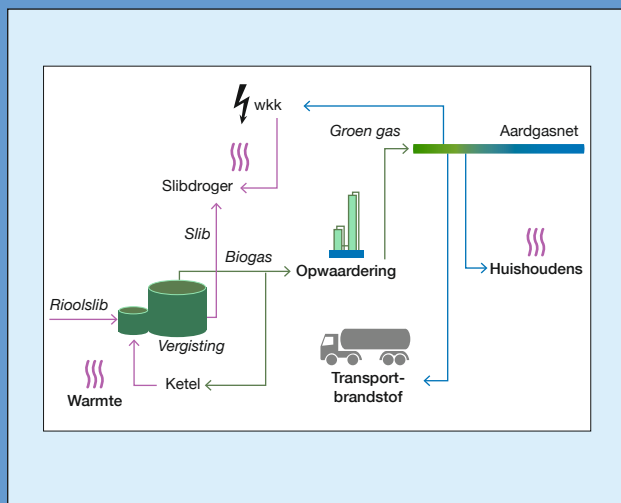
**VOORBEELDPROJECT**

*Groen gas op de RWZI Beverwijk*

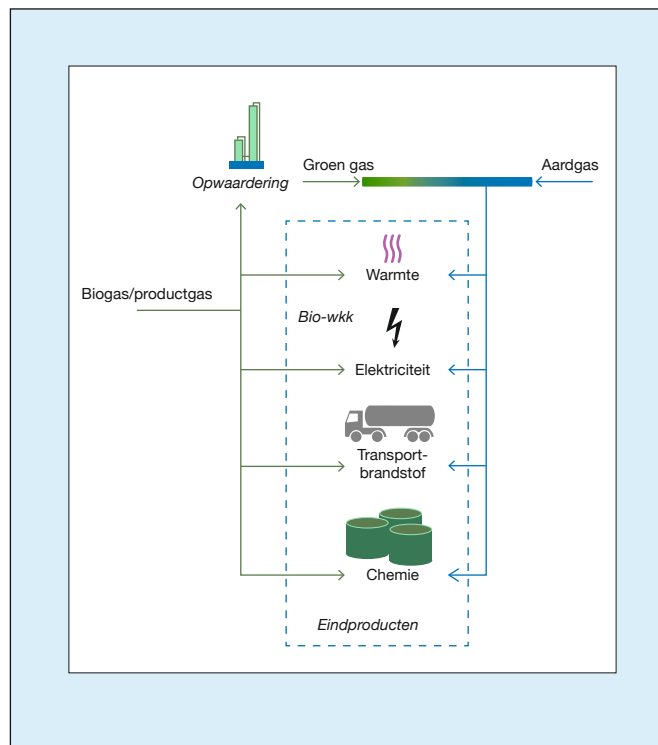
Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) was de eerste organisatie die een groengasinstallatie op een rioolwaterzuiveringsinstallatie realiseerde. Op de RWZI van Beverwijk staan twee BioGast-units die het biogas uit de slibvergister opwerken tot aardgaskwaliteit. De helft van het biogas wordt opgewaardeerd en ingevoerd op het distributienet van Eneco. Deze hoeveelheid is ongeveer het verbruik van zo'n 350 huishoudens. De andere helft van het biogas wordt niet opgewaardeerd en gaat direct naar een ketel die warmte levert om de vergistingstanks op temperatuur te houden.

Voorheen stonden er op de RWZI twee bio-wkk's die duurzame warmte en elektriciteit produceerden. De elektriciteit kon lokaal worden benut en ook de warmte werd voor een groot deel benut, onder meer voor het verwarmen van de vergistingstanks. Het hoogheemraadschap heeft er in 2011 voor gekozen om deze verouderde wkk's te vervangen door de genoemde groengasinstallatie. Op de RWZI stond al een aardgasgestookte wkk die elektriciteit voor eigen gebruik opwekt. De restwarmte van deze gasturbine wordt benut in de slibdrooginstallatie.

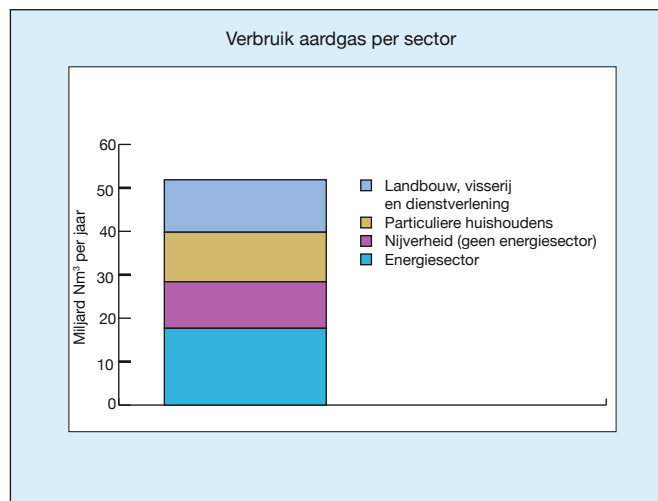
Op de locatie van HHNK is ook een vulstation geplaatst voor aardgasauto's. Enkele auto's van het hoogheemraadschap rijden inmiddels op aardgas. De vulstations zijn aangesloten op het aardgasnet.



Figuur 2 Gebruik van biogas en groen gas bij de RWZI Beverwijk.



Figuur 1 Toepassingen van groen gas en biogas.



Figuur 3 Aardgasverbruik per sector in 2010. Bron: CBS Statline

## 7.1 Vergroening van aardgas

Groen gas wordt op precies dezelfde manier ingezet als aardgas. Zodra groen gas is gemengd met 'gewoon' aardgas, zijn de gasen niet meer van elkaar te onderscheiden. Deze paragraaf gaat dan ook over de toepassingen van zowel groen gas als aardgas. Via het wijdvertakte aardgasnet wordt het gas getransporteerd en gedistribueerd naar de gebruiker. Dit netwerk is de ruggengraat van de Nederlandse energievoorziening: bijna 50% van het totale energiegebruik in Nederland wordt gedekt door aardgas. In huishoudens, de industrie en de glastuinbouw is aardgas een basisbrandstof voor de productie van warmte en elektriciteit. Daarnaast wordt aardgas in de industrie gebruikt als grondstof voor allerlei chemische verbindingen. Ook rijden op aardgas is een optie. Aardgas wordt op dit moment met name gebruikt in de energiesector (34%), de industrie (21%), huishoudens (22%) en de land- en tuinbouw (23%) (figuur 3). Het aandeel van transport (0,03%) is op dit moment nog te verwaarlozen, maar met het aantal nieuwe tankstations voor CNG groeit dit aandeel snel. Binnen de genoemde sectoren wordt aardgas omgezet in elektriciteit, warmte, transportbrandstof en industriële producten. Hieronder worden deze eindproducten kort beschreven, met uitzondering van de transportbrandstoffen; die komen in paragraaf 7.3 aan de orde.

### 7.1.1 Elektriciteit

De elektriciteitsproductie in Nederland leunt sterk op aardgas: in 2010 bestond de brandstofmix voor elektriciteit voor meer dan 60% uit aardgas. Vergeleken met kolen is aardgas een relatief schone brandstof, die met een hoog omzettingsrendement benut kan worden. Aardgas wordt voor zowel decentrale als centrale elektriciteitsopwekking gebruikt. Decentraal vindt de elektriciteitsopwekking plaats in wkk-eenheden voor stadswarmte, industrie en tuinbouwkassen. Hierbij wordt de elektriciteit ter plaatse benut of aan het net geleverd; de warmte wordt altijd lokaal benut. Ook bij centrale elektriciteitsopwekking in grote centrales is aardgas een belangrijke energiebron. Moderne centrales zijn vaak voorzien van gekoppelde stoom- en gasturbines (STEG-eenheden); dit zijn flexibele eenheden die snel op en af te regelen zijn. STEG-eenheden draaien dan ook voornamelijk tijdens de daguren, wanneer de elektriciteitsvraag het grootst is. Ook bieden deze eenheden de flexibiliteit die nodig is in het Nederlandse elektriciteitsnet. Omdat het opgestelde vermogen aan windenergie en zon-PV sterk groeit,

is er behoefte aan flexibele eenheden die kunnen bijspringen als de wind niet waait of de zon minder schijnt.

### 7.1.2 Warmte

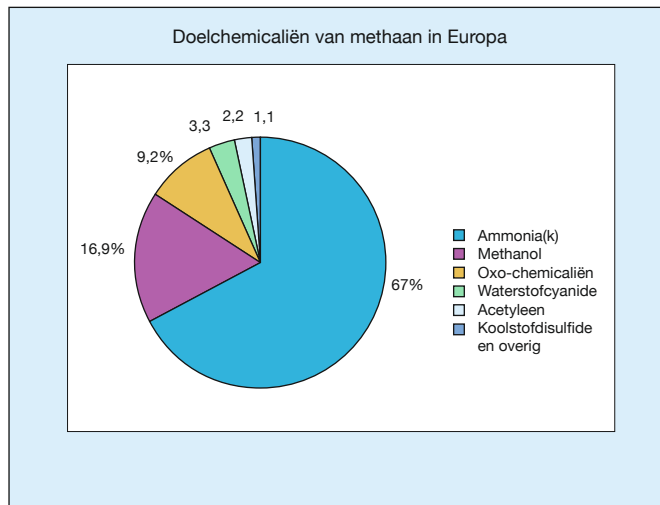
De warmtevoorziening is in Nederland hoofdzakelijk gebaseerd op aardgas. Sinds de ontdekking van het Nederlandse aardgas is de cv-ketel in Nederlandse huishoudens de standaard geworden. Door steeds betere isolatie van huizen en een flinke rendementsverbetering bij de cv-ketels daalt het aardgasverbruik voor woningverwarming vanaf de jaren zeventig gestaag. De verwachting is dat deze dalende trend voorlopig nog zal doorzetten.

Een andere trend is dat warmte voor de gebouwde omgeving steeds vaker uit alternatieve bronnen (zoals zonne-energie) komt, of wordt opgewekt met warmtepompen. Dit gebeurt vaak in combinatie met afgiftesystemen die voor lage watertemperaturen zijn ontworpen, zoals vloer- of wandverwarming. De HRe-ketel, die op microschaal zowel elektriciteit als warmte opwekt, zal naar verwachting in de toekomst ook steeds belangrijker worden.

In de Nederlandse industrie is aardgas nagenoeg de enige brandstof voor de opwekking van warmte. Voor warm water zijn er enkele alternatieven. Echter, een aanzienlijk deel van de industriële warmtebehoefte is bestemd voor hogetemperatuurprocessen die worden voorzien van stoom. Het produceren van stoom gebeurt voornamelijk in aardgasgestookte ketels en wkk-eenheden. De verwachting is dat dit ook in de toekomst zo zal blijven. De technologie van gasturbines en stoomturbines (en combinaties hiervan) zorgt voor een relatief efficiënte omzetting van aardgas in elektriciteit en stoom. Als back-up en voor de piekvraag wordt vaak een stoomketel ingezet.

### 7.1.3 Grondstof voor de industrie

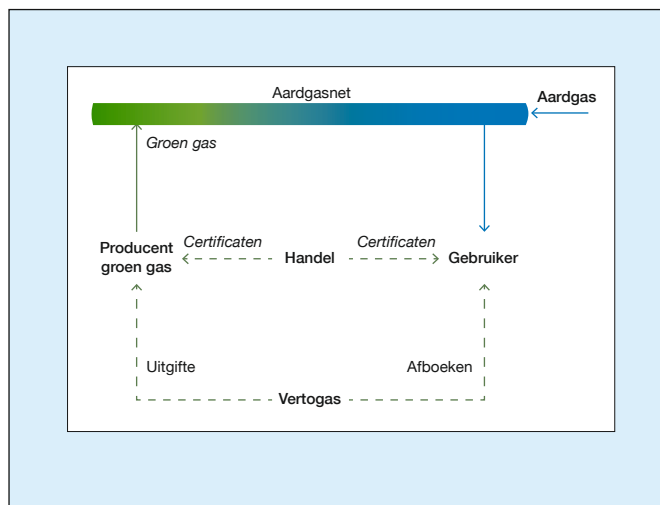
In de chemische industrie wordt aardgas vooral gebruikt als grondstof voor ammoniak en methanol (figuur 4). Ammoniak is de grondstof voor kunstmest. Methanol wordt gebruikt bij de productie van formaldehyde en oplosmiddelen. Aardgas wordt in de industrie meestal eerst omgezet in waterstof ( $H_2$ ) en koolmonoxide ( $CO$ ). Met name waterstofgas is een waardevol product. Zo bezien is het logischer om de opwaardering van productgas naar aardgas over te slaan: productgas is al een mengsel van onder meer  $H_2$  en  $CO$ .



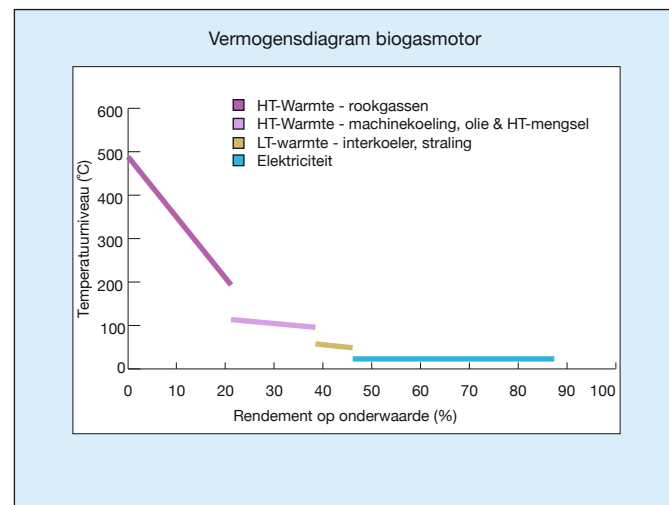
Figuur 4 Chemische productie op basis van methaan.  
Bron: Stichting Groen Gas Nederland



Figuur 6 Biogasmotor bij VAR in Wilp.



Figuur 5 Werking van groengashandel.



Figuur 7 Voorbeeld van de vermogensverdeling bij een biogasmotor.  
Bron: Energy Matters

### 7.1.4 Labeling van groen gas

Om producenten en afnemers van groen gas te koppelen is een systeem ontwikkeld van groengascertificaten. Groen gas kan via deze certificaten worden gelabeld en verhandeld. Dit is vergelijkbaar met groene stroom: de gebruiker ontvangt gewoon aardgas via de netaansluiting, maar via certificaten is het aardgas gekoppeld aan daadwerkelijk geproduceerd groen gas (zie figuur 5).

De handel in groengascertificaten wordt geregeld door Vertogas, een dochteronderneming van Gasunie. Het groen gas dat wordt ingevoerd op het aardgasnet moet worden bemeterd en gecertificeerd. Eén groengascertificaat staat gelijk aan één MWh groen gas. Het certificaat kan vervolgens worden verhandeld en komt uiteindelijk bij een eindgebruiker terecht. Vertogas houdt precies bij hoeveel groen gas er wordt geproduceerd en hoeveel er wordt afgeboekt en gebruikt.

Sinds 2011 heeft Vertogas de certificering gekoppeld aan de duurzaamheidscriteria in de Nederlandse Technische Afspraak NTA 8080 (hoofdstuk 3). Op het certificaat wordt vermeld of het groen gas voldoet aan deze duurzaamheidscriteria.

## 7.2 Bio-wkk: lokale opwekking van elektriciteit en warmte

Op plaatsen waar biogas voorhanden is en restwarmte nuttig gebruikt kan worden, is bio-wkk een interessante optie. Warmtekrachtkoppeling (wkk) is een efficiënte technologie voor het benutten van biogas. Voordat de technieken voor opwaardering naar groen gas marktrijp waren, werden er al diverse bio-wkk-projecten gerealiseerd.

### 7.2.1 Techniek

De omzetting van biogas naar elektriciteit en warmte gebeurt meestal met een biogasmotor en een gekoppelde generator. Gasmotor-generatoren zijn betrouwbaar en halen bij kleine vermogens al hoge rendementen. De vermogensrange van biogasmotoren ligt globaal tussen 200 kWe en 4 MWe. Deze range is vooral praktisch van aard: grotere vergisters vergen een complexe logistiek voor de aanvoer van biomassa en de afvoer van digestaat. De ondergrens wordt vooral bepaald door het elektrisch rendement van kleine gasmotoren en de kostprijs van vergistingsinstallaties. Op sommige locaties worden verschillende wkk-eenheden gecombineerd om de wisselende biogasproductie te kunnen benutten.

De werking van een biogasmotor is hetzelfde als die van een conventionele gasmotor. Als gevolg van de lagere verbrandingswaarde van biogas (20-22 MJ/Nm<sup>3</sup> tegenover 31,65 MJ/Nm<sup>3</sup> voor aardgas) en de soms wisselende kwaliteit van het biogas is aanpassing van de motorregeling noodzakelijk. Tegenwoordig is het elektrisch rendement van een biogasmotor nagenoeg gelijk aan dat van een conventionele gasmotor. Het elektrisch rendement bedraagt netto z'n 35 tot 45% en het thermisch rendement ook 35 tot 45%. Zo kan het totaalrendement uitkomen rond de 80%.

### 7.2.2 Warmtebalans

De warmte uit de wkk komt op verschillende temperatuurniveaus vrij (figuur 7). Een groot deel van de bruikbare warmte komt vrij in de uitlaatgassen (circa 20%). Daarnaast komt warmte vrij via de koeling van het motorblok, van de smeerolie en van de gecombineerde verbrandingslucht achter de turbocharger (dit koelen vindt plaats in de zogeheten interkoeler). Door middel van een warmwatersysteem wordt de warmte beschikbaar gemaakt voor gebruik. Daarbij kan onderscheid gemaakt worden tussen hogetemperatuurwarmte (70 tot 90 °C) en lagetemperatuurwarmte (30 tot 50 °C) (zie figuur 7).

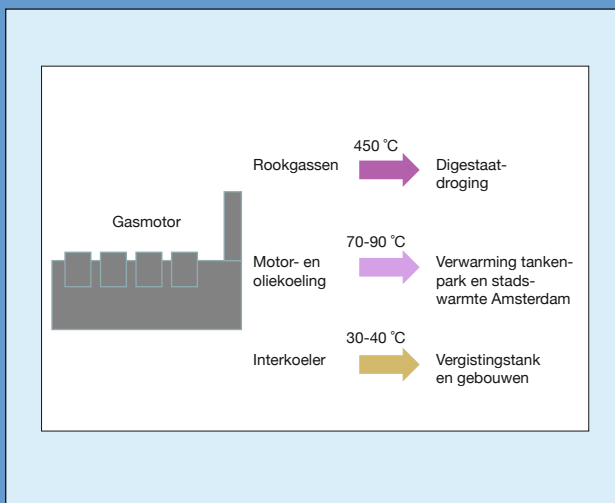
Biogas kan nog sporen van waterstofsulfide bevatten. Als dit condenseert, ontstaat het corrosieve zwavelzuur. Om condensatie en corrosie van de installatie te voorkomen, worden de rookgassen van de gasmotor niet te ver teruggekoeld (niet lager dan 170 °C). Verdere koeling is in de toekomst wel mogelijk als bijvoorbeeld kunststof warmtewisselaars worden gebruikt, die niet gevoelig zijn voor corrosieve bestanddelen van rookgassen.

De restwarmte die vrijkomt bij de wkk kan in de directe omgeving worden benut, bijvoorbeeld voor de verwarming van kassen of woonwijken, of voor het drogen van digestaat.

## VOORBEELDPROJECT

*Greenmills-concept in Amsterdam: cascadering van warmte*

In het Westelijk Havengebied van Amsterdam heeft Orgaworld een bio-wkk gerealiseerd waarbij de restwarmte optimaal benut wordt. Het bedrijf verwerkt in zijn vergistingsinstallatie met wkk onder meer organisch afval en reststromen van de horeca en de voedings- en genotmiddelenindustrie. Daarnaast wordt het afvalwater van enkele nabijgelegen bedrijven ingenomen en gezuiverd in een anaerobe reactor. Behalve de bijzondere samenwerking met de omliggende bedrijven, waaronder een fabriek voor biodiesel, een tankenpark en een vetmelterij, is ook de warmtebenutting van Greenmills opmerkelijk. De restwarmte uit de wkk wordt gecascadeerd ingezet. De warmte uit de rookgassen (400 tot 500 °C) wordt ingezet voor het drogen van het digestaat en van externe fosfaatslibstromen. De warmte van de motor- en oliekoeling (maximaal 95 °C) wordt geleverd aan een naburig tankenpark en aan het stadswarmtenet van Amsterdam. Ten slotte gebruikt Greenmills de laagtemperatuurwarmte voor het verwarmen van de vergistingsreactoren en voor gebouwverwarming.



Figuur 8 Geïntegreerde benutting van de warmte van een bio-wkk in het Greenmills-concept in Amsterdam.

## VOORBEELDPROJECT

*ORC bij de VAR in Wilp*

Bij de Veluwe Afval Recycling (VAR) in Wilp draaien sinds enkele jaren twee biogasmotoren op het gas dat wordt geproduceerd bij de vergisting van GFT. Omdat er op het terrein zelf nauwelijks warmtevraag is, werd de restwarmte van de motoren voorheen weggekoeld. Een ORC (*Organic Rankine Cycle*) van het Nederlandse bedrijf Triogen zorgt ervoor dat de restwarmte nu nuttig wordt gebruikt. De ORC zet de restwarmte van de twee motoren om in elektriciteit. Het elektrisch vermogen neemt daardoor met zo'n 160 kWe toe en het rendement van de installatie ligt dankzij de ORC zo'n zeven procentpunt hoger dan voorheen.



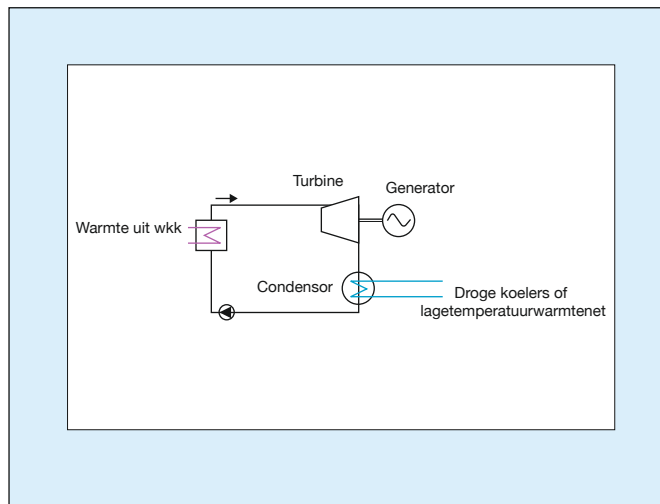
Figuur 10 ORC bij de biogasinstallatie van VAR in Wilp. Bron: VAR

### 7.2.3 De Organic Rankine Cycle

Op plaatsen waar de mogelijkheden om de warmte te benutten beperkt zijn, kan een biogasmotor worden gecombineerd met een Organic Rankine Cycle (ORC). De ORC maakt het mogelijk restwarmte om te zetten in elektriciteit.

In principe werkt een ORC als een traditionele stoomcyclus. Echter, bij een ORC wordt in plaats van stoom als werkmedium een organische vloeistof gebruikt met een lager kookpunt, waardoor bij lagere temperaturen al verdamping plaatsvindt. In figuur 9 is schematisch weergegeven hoe een ORC werkt.

Een ORC is in staat om met laagwaardige warmte elektriciteit op te wekken, ook in situaties waar dit met een stoomturbine niet goed meer zou werken. ORC-units worden in de praktijk vaak aangedreven door de hogetemperatuurwarmte uit de rookgassen van een biogasmotor (400 tot 500 °C), of door het koelwatersysteem van de motor (circa 90 °C). De restwarmte kan ook afkomstig zijn van bijvoorbeeld een industrieel proces, een gasmotor, geothermie of een houtketel. De regels van de thermodynamica gelden ook hier: hoe groter het verschil tussen de warmtebron en de koeling van de condensor, hoe hoger het elektrisch rendement. ORC's die worden aangedreven met de warmte uit de rookgassen halen een elektrisch rendement tot zo'n 18%. De ORC's op warm water halen maximaal 10%.



Figuur 9 Schema van een ORC die wordt aangedreven door warmte uit een wkk.

Een combinatie van een biogasmotor en een ORC kan een elektrisch rendement halen dat zo'n 4% hoger ligt dan dat van de biogasmotor alleen.

### 7.3 Rijden op groen gas

Biogas kan opgewaardeerd worden naar transportbrandstof, het zogenaamde Compressed Natural Gas (CNG) of Liquefied Natural Gas (LNG). Ook van gewoon aardgas kan CNG of LNG gemaakt worden. CNG kan momenteel op een aantal plaatsen in Nederland worden getankt. Gas als transportbrandstof is in trek omdat het aanzienlijk minder bijdraagt aan de luchtkwaliteitsproblematiek.

CNG en LNG zijn vormen van aardgas, in tegenstelling tot het veelgebruikte LPG (Liquified Petroleum Gas), een restproduct van de olieraffinage, dat voornamelijk bestaat uit propaan en butaan.

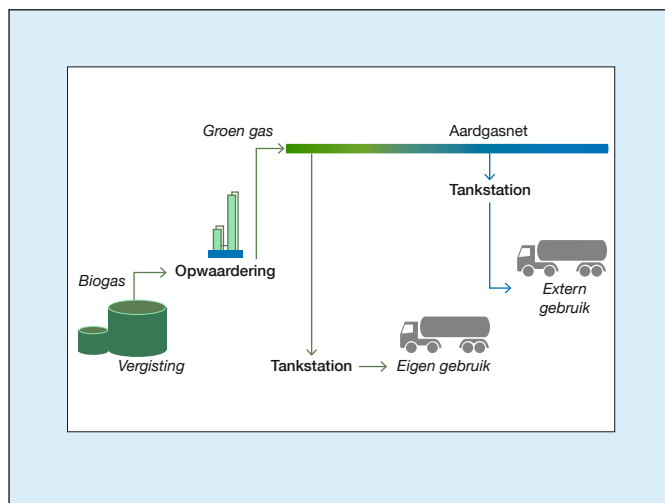
Op dit moment wordt in het wegtransport vooral CNG gebruikt als alternatieve transportbrandstof. Het gas wordt doorgaans gecompriemd tot 250 bar. Deze hoge druk compenseert enigszins de geringe energiedichtheid van CNG ten opzichte van diesel, de meest gangbare transportbrandstof. Toch blijft de actieradius van een middelgrote vrachtwagen op CNG beperkt: circa 200 tot 250 kilometer. Dit is een nadeel ten opzichte van dieseltrucks, die een actieradius hebben van circa 1200 kilometer. CNG kan echter ook verder worden opgewaardeerd naar LNG. Het gas wordt dan diep gekoeld, zodat het vloeibaar wordt.



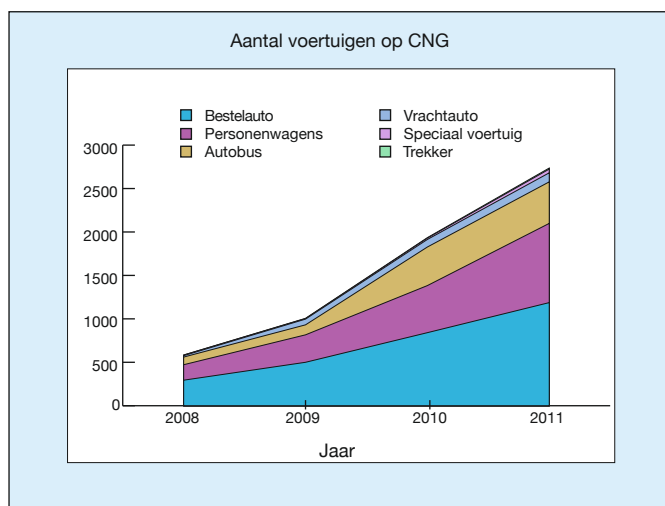
Figuur 11 Brandstoftransport.

Dit heeft als voordeel dat de energie-inhoud van de brandstof-tank sterk toeneemt. Een vrachtwagen op LNG heeft ongeveer dezelfde actieradius als een vrachtwagen op diesel. Een nadeel van LNG is dat het aantal tankpunten momenteel zeer beperkt is. Tabel 1 laat de verschillen zien tussen groen gas, CNG en LNG.

CNG en LNG worden in de praktijk meestal gemaakt uit hoogcalorisch gas en hebben daarom een relatief hoog methaangehalte (soms wel tot 98%). De tabel geeft de energiedichtheid per kubieke meter gasvormige brandstof; de grotere energie-inhoud van vloeibaar LNG is hier niet zichtbaar.



Figuur 12 Van groengasproductie naar transportbrandstof.



Figuur 13 Groei van het aantal voertuigen op CNG. Bron: CBS Statline

### Tankstations

Om CNG bij de gebruiker te brengen wordt een heel netwerk van CNG-tankstations uitgerold. Begin 2012 telde Nederland volgens de belangenvereniging GroengasMobiel meer dan tachtig vullocaties. Dit aantal is groeiende.

Behalve consumenten kiezen ook bedrijven en gemeenten steeds vaker voor rijden op aardgas. De lokale emissies zijn bij aardgas een stuk lager dan bij diesel. Dit maakt het voor onder meer gemeentelijke vervoersbedrijven aantrekkelijk om over te stappen op aardgas. Hiervoor moet het wagenpark worden aangepast en wordt vaak ook een eigen vulstation geopend. In 2011 waren er in Nederland meer dan 2500 aardgasvoertuigen geregistreerd en ook dit aantal groeit snel. De meeste aardgasvoertuigen zijn personenwagens, bussen en bestelauto's.

Het CNG dat op vulstations getankt kan worden, is afkomstig uit het aardgasnet. Daarmee is CNG niet per definitie 'groen'. Om de afkomst te garanderen is een systeem van biotickets opgezet voor transportbrandstoffen. Biotickets zijn ingevoerd om het bijmengen van duurzame brandstoffen als groen gas, biodiesel en bio-ethanol administratief af te handelen. De markt voor biotickets is in 2007 opgezet en is nog relatief jong. Sinds de invoering is de regelgeving al enkele malen veranderd. Zo werd de bijmengverplichting vanuit de EU aangepast en zijn nieuwe regels toegevoegd om overlap met andere subsidievormen te voorkomen.

Vergelijking		Biogas	Aardgas	Groen gas	(Bio-) CNG	(Bio-) LNG
			Eisen invoering			
Methaangehalte	%	55-65%	81%	88%	>97%	>98%
CO <sub>2</sub>	%	53-45%	<1%	12%	<2%	<1%
Energiedichtheid	MJ/Nm <sup>3</sup>	~22	31,7	31,7	36,5	36,5

Tabel 1 Samenstelling van verschillende gassoorten. Bron: Platform Duurzame Mobiliteit

Daardoor kon van een stabiele prijsvorming nog weinig sprake zijn. Het is de bedoeling dat de markt voor biotickets zich in de toekomst kan ontwikkelen tot een volwassen markt.

#### 7.4 Vergelijking van eindproducten

Biomassa is niet oneindig beschikbaar. Een efficiënte benutting van biogas is dus gewenst. Daarmee wordt de vraag relevant wat de meest optimale conversieroute voor biogas is: bio-wkk, groen gas als vervanging voor aardgas of rijden op groen gas?

De vergelijking tussen de verschillende routes is complex: biogas kan uiteindelijk aardgas vervangen, maar ook steenkool, elektriciteit, benzine of diesel. In deze paragraaf zullen we eerst ingaan op de energiebesparing (in termen van primaire brandstof) en op de vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot die met verschillende opties haalbaar is.

Een andere benadering om gebruiksmogelijkheden van biogas met elkaar te vergelijken, is te kijken naar het maximale rendement dat gehaald kan worden. De gedachte hierachter is dat de waarde van biogas maximaal benut moet worden.

Figuur 14 geeft alvast een beeld van de energiestromen bij de verschillende gebruiksopties voor biogas. De Sankeydiagrammen maken zichtbaar hoe de opties zich ten opzichte van elkaar verhouden op het gebied van energieprestatie en (vermeden) CO<sub>2</sub>-uitstoot.

##### 7.4.1 Besparingen in substitutie van primaire energie

We maken een vergelijking op basis van substitutie van primaire energie voor vier routes voor gebruik van biogas:

- Bio-wkk zonder warmtebenutting; output elektriciteit
- Bio-wkk met warmtebenutting; output elektriciteit en warmte
- Opwaarderen naar groen gas, benutting in een ketel
- Opwaarderen naar groen gas, benutting in een wkk

In deze vergelijking worden de transportbrandstoffen niet meegenomen. Het primaire energieverbruik is geen geschikte indicator voor een verbrandingsmotor, omdat er verschillende brandstoffen gebruikt worden: diesel, benzine en LPG. Wel komen de transportbrandstoffen aan bod bij de vergelijking op basis van vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot (zie pagina 131).

De uitgangspunten voor de vergelijking zijn als volgt. We nemen aan dat de warmtebenutting van een bio-wkk (optie 2) met 60%

iets lager ligt dan bij een 'gewone' wkk: de vergister moet het hele jaar door in bedrijf zijn en dus zal er warmte worden weggekoeld op momenten dat er geen warmtevraag is. Verder kost het opwaarderen van biogas naar groen gas energie: we gaan uit van een elektriciteitsverbruik van 0,25 kWh/Nm<sup>3</sup> biogas, een methaanverlies van 3,4% en een warmtevraag van de vergister van 0,14 kWh/Nm<sup>3</sup> biogas.

In tabel 2 zijn de uitgangspunten van de verschillende opties weergegeven. Om te bepalen hoe groot nu de besparing op brandstof is, moeten we de elektriciteitsproductie omrekenen naar brandstof. Voor de productie van elektriciteit in een energiecentrale zou immers ook brandstof gebruikt worden. Het gemiddelde rendement van een elektriciteitscentrale in Nederland ligt, de transportverliezen meegerekend, op circa 40%. Voor iedere kWh elektriciteit die een lokale wkk produceert, is er dus een brandstofbesparing van 1 kWh/40% = 2,5 kWh.

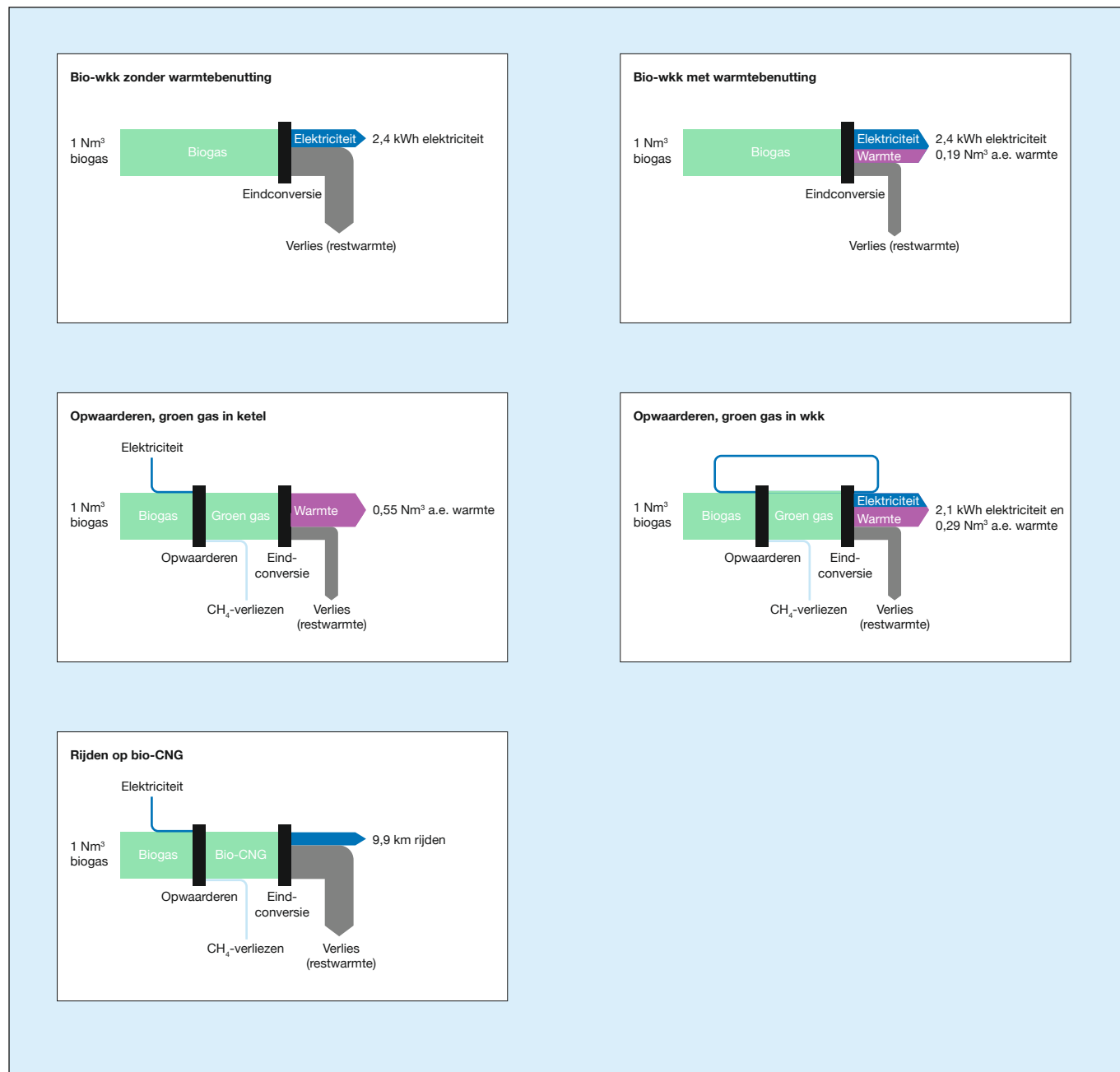
De omrekening naar vermeden brandstofgebruik, ofwel het vermeden primaire energiegebruik, is weergegeven in figuur 15. In de figuur is te zien dat de bio-wkk met warmtebenutting en de groengas-wkk het hoogst scoren. De netto elektriciteitsproductie van de bio-wkk is hoger dan de groengasvariant, maar daar staat een hogere warmtebenutting van de groengas-wkk tegenover. Als derde komt de bio-wkk zonder warmtebenutting. De laagste waarde geeft de cv-ketel gestookt op groen gas.

		Prime mover				
			E-rendement	W-rendement	W-benutting	
1	Bio-wkk zonder warmtebenutting	biogas	wkk	40%	45%	0%
2	Bio-wkk met warmtebenutting	biogas	wkk	40%	45%	60%
3	Opwaarderen, groen gas in ketel	groen gas	ketel	0%	95%	100%
4	Opwaarderen, groen gas in wkk	groen gas	wkk	40%	45%	100%

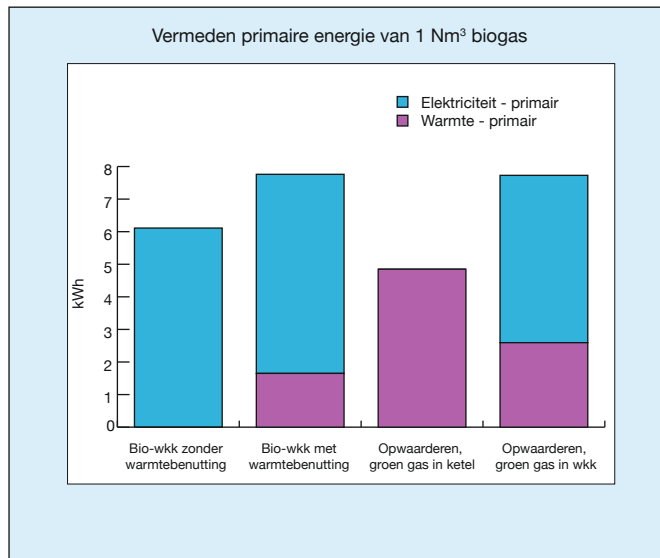
LHV biogas: 22 MJ/Nm<sup>3</sup>; gemiddeld opwekkingsrendement elektriciteitscentrales in Nederland: 40%; CO<sub>2</sub>-factor elektriciteit 0,566 g/kWh & gas 0,178 g/Nm<sup>3</sup>.

Opwaarderen: warmtevraag van de vergister: 0,14 kWh/Nm<sup>3</sup>; elektriciteitsverbruik 0,25 kWh/Nm<sup>3</sup>; methaanverlies 3,4%

Tabel 2 Uitgangspunten bij de berekening van de brandstofbesparing voor verschillende gebruiksopties van biogas en groen gas.



Figuur 14 Deze Sankeydiagrammen geven de energiestromen weer bij verschillende toepassingen van biogas. Al naar gelang de toepassing kunnen flinke verliezen optreden.



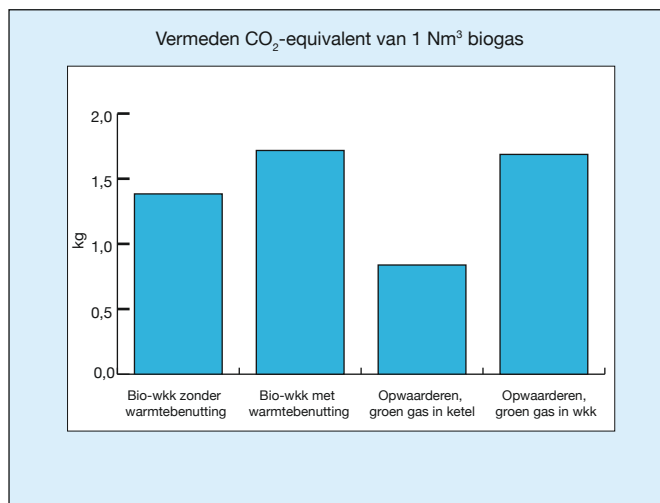
Figuur 15 Primaire energiebesparing bij gebruik van 1 Nm<sup>3</sup> biogas.

Naast de vergelijking op primaire energie is de vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot van belang. Dit levert een soortgelijk plaatje op als voor primaire energie (figuur 16).

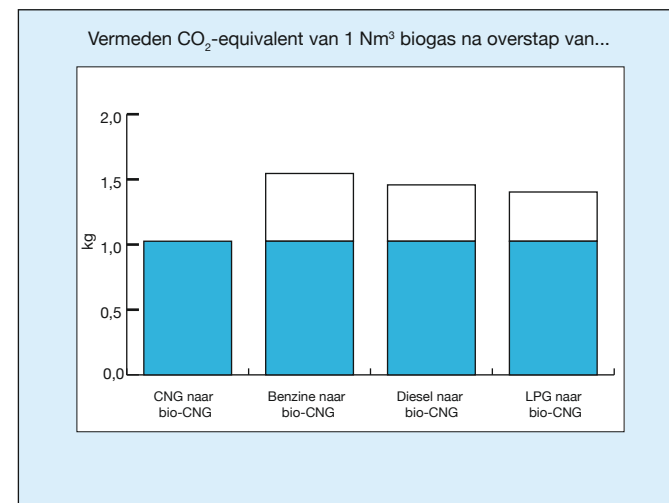
#### 7.4.2 Substitutie van transportbrandstof

Anders dan bij elektriciteit en warmte kan de vergelijking van de CO<sub>2</sub>-uitstoot bij transportbrandstoffen niet één-op-één worden gemaakt. De meest gangbare vorm van gas als transportbrandstof is CNG. Echter, om over te gaan op bio-CNG maken bedrijven eerst de stap van benzine of diesel naar gewoon CNG. Deze stap levert al een flink milieuvoordeel op: de CO<sub>2</sub>-factor voor lichte voertuigen op CNG is met typisch 103 g/km een stuk lager dan die van lichte voertuigen op benzine (156 g/km). Dit is een fundamenteel gegeven; bij de verbranding van lichte methaanmoleculen komt veel minder CO<sub>2</sub> vrij dan bij de verbranding van de langere ketens van benzine of diesel.

De netto energie-inhoud van 1 Nm<sup>3</sup> biogas, opgewaardeerd naar bio-CNG, komt na energieverliezen overeen met 9,9 km rijden. Als we ervan uitgaan dat het groene gas fossiel CNG vervangt, wordt met 1 Nm<sup>3</sup> biogas 1,03 kg CO<sub>2</sub> vermeden.



Figuur 16 Besparing op CO<sub>2</sub>-uitstoot bij gebruik van 1 Nm<sup>3</sup> biogas.



Figuur 17 Vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot bij rijden op bio-CNG. De overstap kan worden gezien als 'dubbelslag'. De overstap van benzine, diesel of LPG naar CNG levert winst op (de witte vlakken) en vervolgens wordt nog meer CO<sub>2</sub>-emissie vermeden door CNG uit biomassa te gebruiken (blauwe vlakken).

Dit is weergegeven in figuur 17. Van benzine naar bio-CNG is de vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot nog hoger. Echter, een groot deel van het verschil (0,52 kg) zit in de overstap van benzine naar aardgasverbranding. De rest van het verschil is te danken aan het gebruik van groen gas als oorsprong voor het CNG.

De bio-wkk en de groengas-wkk leveren dus fors meer CO<sub>2</sub>-besparing op dan rijden op groen gas (vergelijk figuur 16 en figuur 17).

### 7.4.3 Maximale waarde uit biogas

In de voorgaande twee paragrafen hebben we bekeken hoeveel brandstofbesparing en vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot haalbaar is met verschillende gebruiksopties voor biogas. Het resultaat van deze berekeningen hangt af van het type brandstof dat vervangen wordt: de energie- en CO<sub>2</sub>-inhoud verschillen immers per brandstof.

In deze paragraaf benaderen we de biogastoepassingen vanuit een ander perspectief: hoe kunnen we de meeste energie uit het biogas opwekken in de vorm van warmte, elektriciteit of beweging? Figuur 18 geeft de efficiency weer van de verschillende routes voor het gebruik van biogas. Net als in paragraaf 7.4.1 wordt de efficiency van elektriciteitsproductie vergeleken met die van

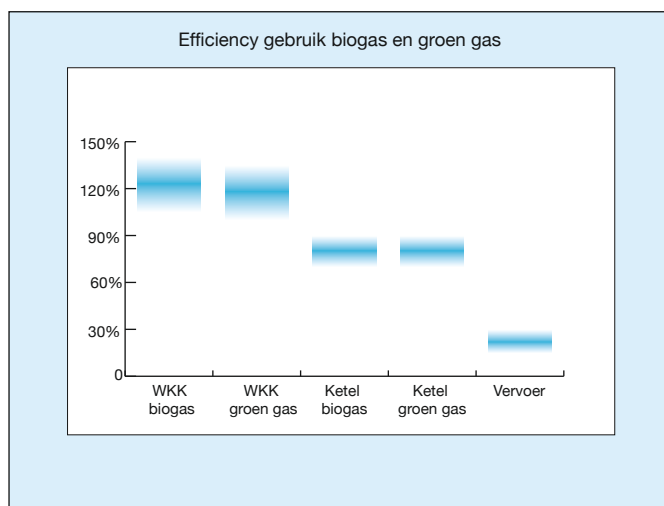
een grote centrale. Een wkk die 40% van het biogas omzet in elektriciteit is dus net zo goed als een centrale en scoort '100%' efficiency. In combinatie met een deel warmtelevering is zo een totale efficiency van meer dan 100% haalbaar. Afhankelijk van de precieze details van de installatie kan de totale efficiency variëren.

Uit de figuur wordt duidelijk dat ook hier de toepassing van biogas in een wkk goed scoort. Ook de omzetting naar groen gas gevolgd door toepassing in een wkk scoort hoog. Voor de opwerking naar groen gas is weliswaar energie nodig, maar doordat de rookgassen van groen gas minder zuur zijn dan die van biogas, kunnen ze verder worden afgekoeld zonder corrosie te veroorzaken in het rookgasafvoersysteem. Op die manier kan uit een groengas-wkk dus iets meer warmte worden gewonnen dan uit een bio-wkk.

Gebruik van groen gas in ketels of voor vervoer levert een lagere efficiency op. Verbrandingsmotoren in auto's en vrachtwagens hebben te maken met grote fluctuaties in toerental en belasting, waardoor de maximale efficiency beperkt is. Daarnaast wordt in transportfuncties de restwarmte uit de motor niet benut.

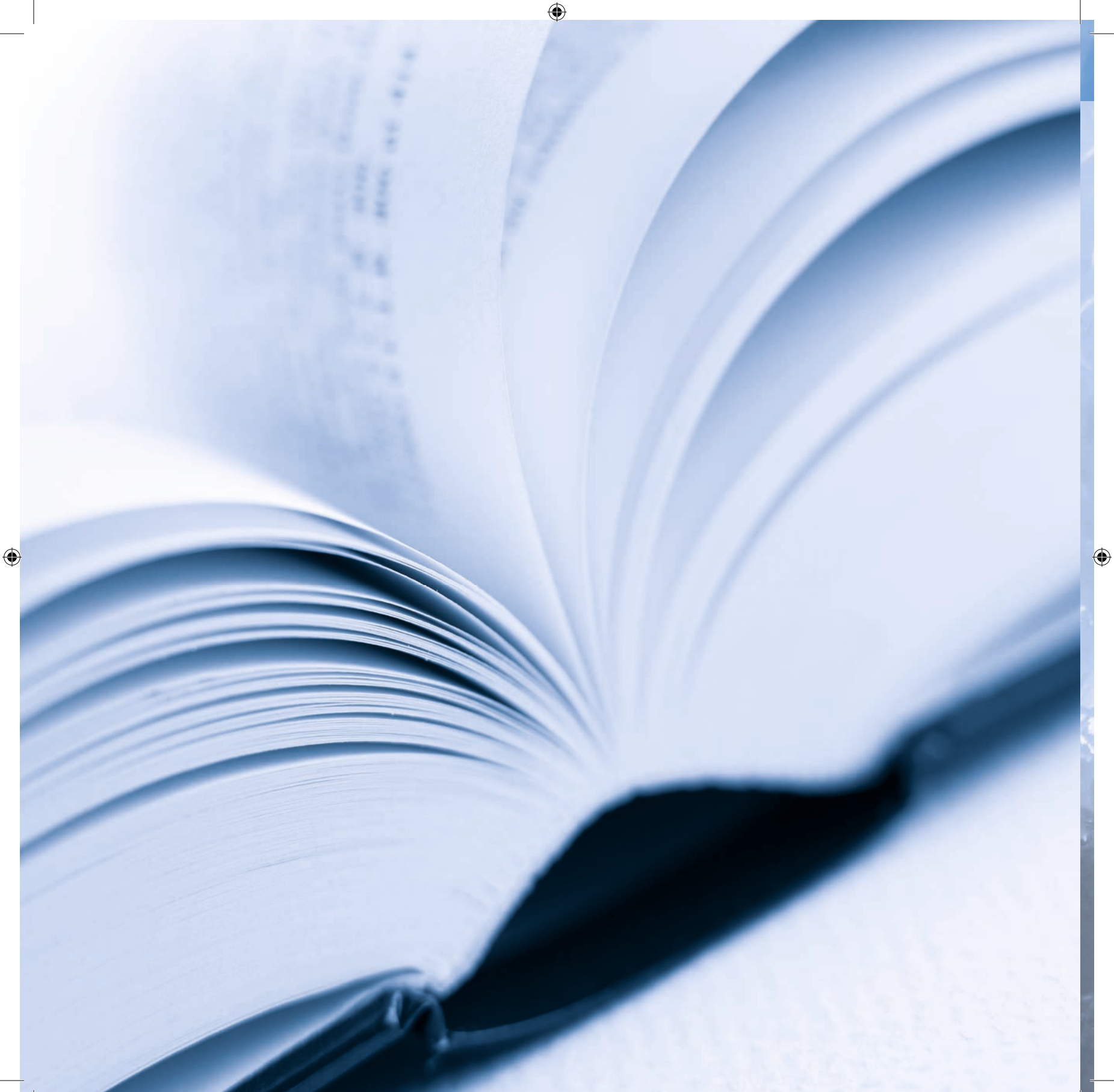
### 7.4.4 Tot slot

Welke conversiemogelijkheid in de toekomst de belangrijkste wordt, hangt af van de energiebesparing, de vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot én van economische overwegingen. Nieuwe technieken voor bio-wkk en voor de opwaardering van groen gas zorgen daarnaast voor betere prestaties. Bij bio-wkk gaan de innovaties vooral in de richting van extra warmtebenutting en hogere elektrische rendementen. Bij de opwaardering van groen gas worden methaanverliezen verder teruggebracht en worden schaalvoor- delen verwacht bij de toepassing van *groengashubs*. ■



Figuur 18 Vergelijking van de totale efficiency van biomassagebruik voor verschillende opties.





## Hoofdstuk 8

# Wetgeving en ondersteuning

Voor de verwerking van biomassa tot gasvormige energiedragers (biogas of groen gas) gelden verschillende wetten en regels. Deze stellen onder meer eisen aan de manier waarop de biogasproductie moet plaatsvinden. Behalve wetten en regels zijn er ook stimulerende maatregelen van de overheid om energiebesparing en vermindering van CO<sub>2</sub>-uitstoot financieel te ondersteunen. Dit hoofdstuk geeft een globaal overzicht van de geldende regels en stimuleringsregelingen. Deze informatie is enigszins tijdgebonden; in de loop der tijd kunnen regelingen veranderen of zelfs helemaal verdwijnen.

### 8.1 Wet- en regelgeving

Voor de bouw van een vergistings- of verbrandingsinstallatie is een omgevingsvergunning vereist en vaak ook een milieueffectrapportage (MER). De omgevingsvergunning is nodig bij nieuwbouw en ook bij wijzigingen aan een installatie. De volgende paragrafen beschrijven de juridische aspecten. Daarnaast zijn er verschillende regels voor de emissies van (bio)stookinstallaties. Ook die komen aan bod. Ook wordt in dit hoofdstuk de zogenaamde 'positieve lijst' besproken, waarin de toegestane coproducten voor mestvergisting worden vastgelegd.

Naast regels die specifiek voor biomassaverwerking en biogasproductie gelden, moeten alle installaties natuurlijk voldoen aan algemene eisen op het gebied van onder meer (brand)veiligheid, geluid, lucht-, water- en bodemkwaliteit en geuroverlast. Deze eisen zijn algemeen geldend en worden hier niet apart besproken.

#### 8.1.1 Milieueffectrapportage (MER)

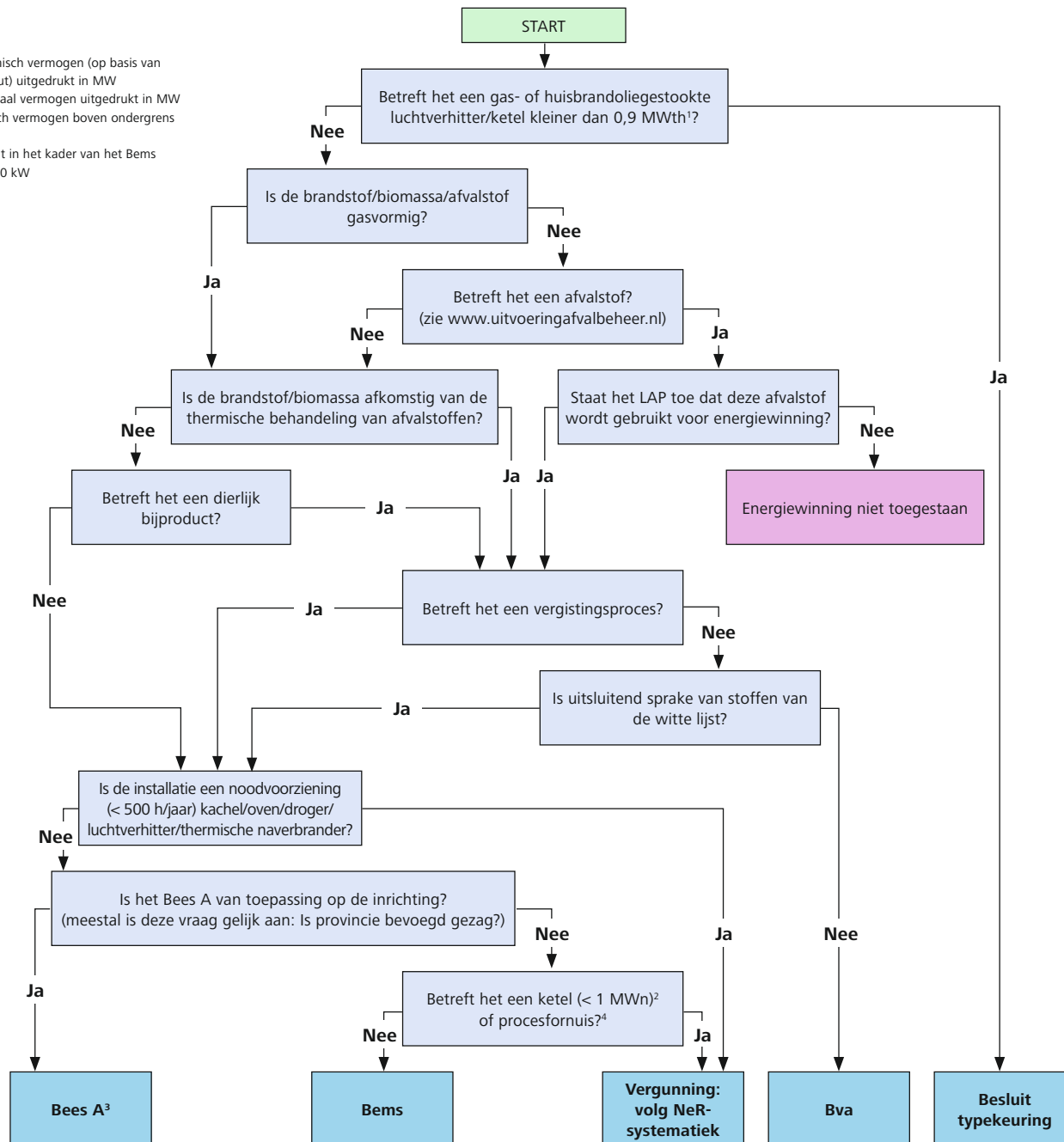
Het vergunnen van een inrichting waar vergisting of covergisting van mest of verbranding van biomassa gaat plaatsvinden, is MER-beoordelingsplichtig voor installaties met een capaciteit van 100 ton per dag of meer. 'Beoordelingsplichtig' betekent dat de vergunningverlener bepaalt of het opstellen van een MER noodzakelijk is.

De MER brengt de milieugevolgen van een besluit in beeld vóór dat het besluit wordt genomen. Zo kan de overheid de milieugevolgen bij haar afwegingen betrekken. Het doel van een MER is het milieubelang een volwaardige plaats te geven in de besluitvorming, overal waar besluiten worden genomen die van invloed zijn op het milieu. Daarnaast heeft de MER twee nevendoelen:

- Het stroomlijnen van de procedures rond de besluitvorming.
- Het positief beïnvloeden van de milieuhouding van betrokken partijen.

Legenda:

- 1 MWth: thermisch vermogen (op basis van brandstofinput) uitgedrukt in MW
- 2 MWn: nominaal vermogen uitgedrukt in MW
- 3 Mits thermisch vermogen boven ondergrens besluit
- 4 Keuringsplicht in het kader van het Bems geldt vanaf 20 kW



Figuur 1 Schema regelgeving verbrandingsemissies. Bron: InfoMil

De MER is gebaseerd op Europese regelgeving. Er is een richtlijn voor de zogeheten 'project-MER' en een richtlijn voor de 'plan-MER'. In Nederland is de MER-verplichting geregeld in de Wet milieubeheer (Wm) en in de uitvoeringswetgeving van het Besluit MER. Inmiddels heeft ook andere wetgeving invloed op de MER, zoals de Crisis- en herstelwet (Chw). Er bestaat een beperkte en een uitgebreide MER-procedure. Welke procedure van toepassing is, hangt af van het project.

In de MER voor een biomassa-installatie moeten de volgende aspecten expliciet worden benoemd:

- De aard en samenstelling van de biomassastromen die worden verwerkt.
- Een toetsing van het installatieontwerp aan de IPPC-richtlijn.
- Een kwantitatief overzicht van de verwachte emissies naar de lucht.
- Een berekening van de primaire energiebesparing en de vermeden CO<sub>2</sub>-emissie.
- Een berekening van de cumulatieve milieueffecten.
- Een beschrijving van het meest milieuvriendelijke alternatief (MMA).

Daarnaast kunnen ook de criteria van de Nederlandse Technische Afspraak (NTA, zie ook hoofdstuk 3) worden meegenomen in de MER.

Een (onafhankelijke) MER-commissie toetst alle ingediende MER's op de bovenstaande aspecten. Mocht de MER niet voldoende zijn, dan zal de MER-commissie aanvullingen vragen. In Nederland is informatie over de MER-procedure verkrijgbaar bij InfoMil ([www.infomil.nl](http://www.infomil.nl)).

### 8.1.2 Regelgeving verbrandingsemissies

In de wet- en regelgeving die betrekking heeft op verbrandingsemissies is een stookinstallatie gedefinieerd als: *'één of meer ketel-, gasturbine-, vloeistofmotor- of gasmotorinstallaties met inbegrip van voor het functioneren van de installatie noodzakelijke voorzieningen en vaste voorzieningen voor de reiniging van rookgassen.'*

Ook de rookgassen die vrijkomen bij verbranding van biogas in een wkk vallen onder deze regelgeving. Omdat verbrandingsemissies in principe schadelijk kunnen zijn, moeten ze uiteraard zo veel mogelijk worden vermeden. Daarom zijn voor verschillende soorten installaties, voor verschillende vermogensklassen en voor verschillende biomassatypen specifieke emissienormen

opgesteld. Het wetgevend kader wordt gevormd door het Besluit emissie-eisen stookinstallaties A (Bees A), het Besluit emissie-eisen middelgrote stookinstallaties (Bems), de Nederlandse emissierichtlijn (NeR) en het Besluit verbranden afvalstoffen (Bva). De meeste installaties voor bio-energie vallen onder de NeR, Bems of Bees A. Deze besluiten en richtlijnen worden verderop in deze paragraaf kort toegelicht. Meer informatie is beschikbaar bij InfoMil ([www.infomil.nl](http://www.infomil.nl)).

Voor kleine gas- of oliegestookte installaties bestaan geen specifieke keuringsrichtlijnen. In de regel gaat het hier om apparaten die in grotere aantallen worden geproduceerd en hiervoor geldt een typekeuring. In plaats van een aparte keuring voor iedere installatie worden enkele apparaten bij de fabrikant getoetst. Dit wordt geacht voldoende kwaliteitsgaranties te bieden voor alle installaties van hetzelfde type.

Het schema in figuur 1 geeft globaal het wetgevend kader weer voor emissies naar lucht van installaties voor de energiewinning uit brandstoffen, biomassa of afval. Het volledige overzicht van relevante wet- en regelgeving voor luchtmissies staat in de Wetswegwijzer Emissies bij Energiewinning. De Wetswegwijzer geeft voor elke situatie informatie op maat en is bestemd voor bedrijven en voor het bevoegd gezag. De Wetswegwijzer geeft ook informatie voor de afweging van de zogeheten 'beste beschikbare technieken' (de BBT-afweging).

#### Bems

In het Besluit emissie-eisen middelgrote stookinstallaties (Bems) zijn eisen opgenomen voor stookinstallaties met een vermogen tot 50 MWth inputvermogen. Voor ketelinstallaties geldt een ondergrens van 1 MW nominaal vermogen. De eisen van het Bems hebben vooral betrekking op de uitstoot van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, koolwaterstoffen C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> en fijnstof. Voor gasmotorinstallaties worden ook eisen gesteld aan de emissie van onverbrande koolwaterstoffen. Daarnaast reguleert het Bems de keuring en het onderhoud van stookinstallaties.

#### NeR

Stookinstallaties kleiner dan 1 MW nominaal vermogen vallen onder de Nederlandse emissierichtlijn (NeR). Hierin zijn de eisen voor stofemissies van kleine stookinstallaties opgenomen.

### Bees A

Het Besluit emissie-eisen stookinstallaties A (Bees A) stelt onder meer eisen aan de emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> en stof van installaties die genoemd worden in het Besluit Omgevingsrecht. Het betreft onder meer grote inrichtingen met een totaal opgesteld vermogen van 50 MWth of meer. Het Bees A is dan ook voor een beperkt aantal installaties van belang. Voor deze capaciteit stookinstallaties is ook het referentiedocument BREF Grote Stookinstallaties van belang. BREF staat voor *best reference*. In dit document van de Europese Commissie zijn de beste technieken beschreven die beschikbaar zijn.

### Bva, witte en gele lijst

Het Besluit verbranden afvalstoffen (Bva) legt de emissie-eisen vast voor afvalstoffen. Sommige soorten biomassa gelden als afval en andere soorten niet. Dit wordt bepaald met de 'witte' en 'gele' lijst. Deze lijsten hebben als doel algemene definities zoals die zijn opgenomen in de geldende EG-richtlijnen voor grote stookinstallaties concreet te maken voor specifieke biomassastromen.

De gele lijst bevat een niet-limitatieve opsomming van biomassa-afvalstromen die onder het Bva vallen. De witte lijst bevat schone biomassastromen die mogen worden verstoekt in installaties die vallen onder het Bems of het Bees A, maar ook in Bva-installaties.

#### Witte lijst

De volgende biomassa staat op de witte lijst:

- Plantaardige producten, materialen of afvalstromen uit bos- en landbouw
- Plantaardige afvalstoffen van de voedingsindustrie
- Plantaardige afvalstoffen uit de ruwe pulpproductie en de papierproductie uit pulp
- Kurkafval
- Houtafval, met uitzondering van houtafval dat als gevolg van een behandeling met houtbeschermingsmiddelen gehalogeneerde organische verbindingen of zware metalen kan bevatten

#### Gele lijst

Onder biomassa volgens de gele lijst vallen bijvoorbeeld:

- Afvalstoffen die geheel of gedeeltelijk bestaan uit dierlijke producten
- Geverfd of geïmpregneerd hout (en hieruit verkregen houtskool)
- Houtmengsels waarin geverfd of geïmpregneerd hout aanwezig kan zijn (en hieruit verkregen houtskool)
- Champost
- Zuiveringsslib
- Bleekaarde
- GFT-afval
- Residuen uit GFT-compostering
- Organische natte fractie (ONF)
- Swill
- Oud papier en karton
- Afvalstromen die kunststof bevatten
- Dierlijke mest

- Gemengde huishoudelijke en bedrijfsafvalstromen
- Gas afkomstig uit een vergassingsproces van gele-lijststoffen, met uitzondering van gas dat voorkomt op de witte lijst
- Olie of pyrolyse-olie afkomstig uit gele-lijststoffen

Bij vergassing van schoon hout (A-hout), waarbij het verkregen gas wordt ingezet als brandstof, is het Bems of het Bees A van toepassing. Als gereinigd gas afkomstig is van vervuild hout (B-hout), is volgens de circulaire 'Gereinigd gas uit B-hout' ook het Bees A of het Bems van toepassing.

#### Positieve lijst voor covergisting

De zogeheten 'positieve lijst' heeft betrekking op covergisting. In de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet is een lijst vastgesteld van organische materialen of producten die voor covergisting van dierlijke mest gebruikt mogen worden. Alleen als uitsluitend producten van die lijst worden toegevoegd aan het mestvergistingsproces en alleen als het te vergisten mengsel voor minimaal 50 gewichtsprocent bestaat uit dierlijke mest, mag het digestaat als dierlijke mest worden vervoerd, verhandeld en gebruikt. Wordt aan één van de twee voorwaarden niet voldaan, dan moet het digestaat worden vervoerd en verwerkt als afvalstof. De positieve lijst voor covergisting bevat inmiddels 87 producten, waaronder bijvoorbeeld reststoffen van de productie van suiker (uit suikerbiet), ingedikt aardappelvruchtwater, uienperssap en kookvocht van sojabonen.

Bron: InfoMil

Mengsels van witte- en gele-lijststoffen worden als gele-lijststoffen aangemerkt en mogen dan ook alleen in Bva-installaties worden verstoekt.

## 8.2 Ondersteuning en subsidie

De Nederlandse overheid heeft verschillende regelingen in het leven geroepen om de productie van schone en duurzame energie te stimuleren. Energie uit biomassa valt hier in veel gevallen ook onder. Deze paragraaf laat een overzicht zien van regelingen die van belang zijn. Enkele van de beschreven regelingen kunnen inmiddels niet meer worden aangevraagd, maar zijn nog wel van toepassing op lopende projecten. Behalve subsidieregelingen worden ook enkele fiscale stimuleringsinstrumenten genoemd. De meest actuele informatie over subsidies en fiscale stimulering is verkrijgbaar bij Agentschap NL ([www.agentschapnl.nl](http://www.agentschapnl.nl)).

### MEP

De regeling Milieukwaliteit Elektriciteitsproductie (MEP) was een regeling van het Nederlandse ministerie van Economische Zaken. De regeling is opgezet in juli 2003 en in 2006 stopgezet. In 2008 is de MEP vervangen door de Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie (SDE, zie hieronder).

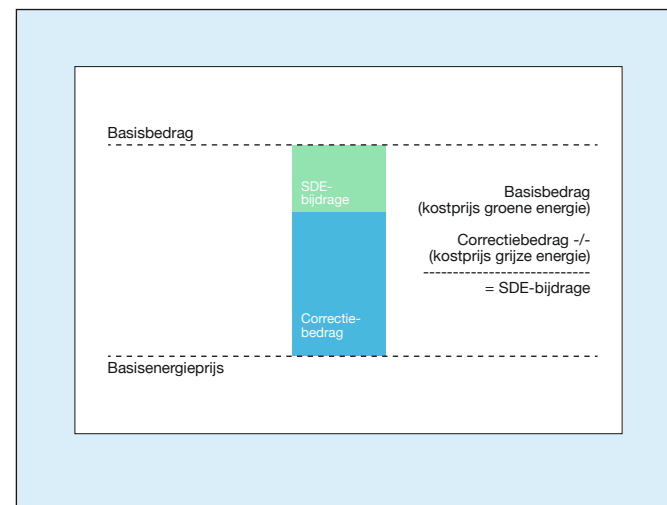
De MEP kwam in 2003 in de plaats van de vrijstelling van de Regulerende Energiebelasting (REB) voor duurzame energiebronnen. Deze vrijstelling was niet verenigbaar met de Europese regelgeving, omdat buitenlandse producenten onbedoeld werden buitengesloten. In het kader van de MEP-regeling ontvingen producenten van duurzame elektriciteit tot 2006 gedurende maximaal tien jaar een subsidie van maximaal zeven eurocent per kWh. In mei 2005 liet het ministerie van Economische Zaken weten dat de regeling, die geen subsidieplafond kent, te duur werd. Toekenning van de subsidies werd daarom voor de rest van het jaar bevroren. Op 18 augustus 2006 beëindigde de minister van Economische Zaken officieel de verstrekking van deze subsidie.

### SDE en SDE+

De Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie (SDE) is de opvolger van de MEP-regeling. In tegenstelling tot de MEP ligt de subsidie niet vast, maar is ze afhankelijk van de gangbare energieprijzen. De SDE is dan ook een exploitatiesubsidie. Per geproduceerd energieproduct (warmte, elektriciteit, warmtekracht of groen gas) wordt een basisbedrag toegekend per

energie-eenheid. Tot en met 2009 werd de SDE gefinancierd uit aardgasbaten. Vanaf 2013 wordt de SDE, inmiddels omgedoopt tot SDE+, gefinancierd uit een heffing op elektriciteit. De uitvoering van de regeling wordt verzorgd door Agentschap NL. Het subsidiebedrag compenseert de meerprijs voor het opwekken van duurzame energie. Het wordt jaarlijks vastgesteld op basis van twee bedragen: het basisbedrag en het correctiebedrag. Het correctiebedrag is de gemiddelde elektriciteitsprijs gedurende een jaar. Dit bedrag wordt ieder jaar door de overheid bepaald en is in principe gelijk aan de terugleververgoeding die de energieleverancier betaalt. Het basisbedrag is de gemiddelde kostprijs van het betreffende duurzame energieproduct. Het basisbedrag wordt ieder jaar per productgroep door de overheid bepaald en toegewezen aan de eigenaar die een dergelijke installatie in hetzelfde jaar bouwt. Dit basisbedrag staat voor een periode van een aantal jaar vast. Voor een bio-energie-installatie is deze periode twaalf jaar. Het subsidiebedrag dat de investeerder krijgt (per energie-eenheid) is het toegewezen basisbedrag minus het correctiebedrag.

De SDE-vergoeding hangt dus af van de gangbare energieprijzen. Is deze laag, dan zal de SDE-vergoeding hoger zijn. Is de energieprijzen hoog, dan zal de SDE-vergoeding lager zijn. De onrendabele top van de installatie is immers klein als de referentie (gas



Figuur 2 Opbouw van de SDE-vergoeding.

of elektriciteit) duur is. Andere subsidies worden in mindering gebracht op de SDE, tenzij het om exploitatiesubsidies gaat.

### *MEI*

De regeling Marktintroductie energie-innovaties, ofwel de MEI-subsidie, is specifiek gericht op innovatieve tuinders die investeren in energiesystemen die minder CO<sub>2</sub> uitstoten. De regeling maakt deel uit van het programma 'Kas als Energiebron'. Doel van dit programma is om in 2020 alleen nog maar klimaatneutrale kassen te hebben.

Ongeveer de helft van de subsidiemiddelen is bestemd voor semi-gesloten kassen; de andere helft gaat naar andere innovatieve energiesystemen. Sinds 2011 zijn houtketels uitgesloten van de MEI-subsidie, maar dit geldt niet voor hout-wkk's.

Subsidiabel zijn de kosten van onroerend goed, inrichting, machines, patenten en vergunningen. De tuinder krijgt maximaal 40% van het subsidiabele bedrag vergoed, met een maximum van 1,5 miljoen euro. De regels worden jaarlijks aangescherpt. Zo mag de opwekcapaciteit waarvoor subsidie wordt aangevraagd niet groter zijn dan het jaarlijkse verbruik.

### *IRE*

De Investeringsregeling Energiebesparing (IRE) is een directe subsidie die gericht is op de glastuinbouw. Met name extensieve glastuinders, tuinders die per jaar minder dan 25 kubieke meter aardgas per vierkante meter verbruiken, kunnen gebruikmaken van deze regeling. De regeling is bedoeld voor biogasketel, aansluiting op een energie- en CO<sub>2</sub>-netwerk, energieclustering enzovoort. De IRE-subsidie bedraagt maximaal 25% van de subsidiabele kosten en is gemaximeerd (zowel de subsidie over de investering zelf als het subsidiebedrag per vierkante meter).

### *Schoon en zuinig*

De regeling Schoon en zuinig is bedoeld voor innovatieve energiebesparing in de landbouw en voedingsindustrie. Schoon en zuinig is een subsidie die deels uit Europees geld wordt betaald. De subsidie is beschikbaar voor agrarische ondernemers, samenwerkingsverbanden en MKB-bedrijven in de voedingsindustrie. Het gaat om demonstratieprojecten op het gebied van duurzame energie, energiebesparing en energimanagement, vermindering van de uitstoot van broeikasgassen in de inzet van energie uit biomassa. Investeringsmiddelen zijn voor

50% subsidiabel en investeringen in samenwerkingsverbanden voor 70%. Een voorwaarde is dat de ondernemer de opgedane kennis deelt met andere ondernemers. Een communicatieplan maakt dan ook deel uit van de subsidieaanvraag.

### *EIA*

De Energie Investeringsaftrek (EIA) is geen subsidie maar een vorm van fiscale stimulering. De EIA is bedoeld voor Nederlandse ondernemers en in bepaalde gevallen ook voor particulieren of non-profitorganisaties. Het fiscale voordeel geldt voor de kosten van bedrijfsmiddelen die minder fossiele energie gebruiken. De bedrijfsmiddelen die in aanmerking komen voor de EIA staan op de zogeheten Energielijst. 41,5% van de investering mag van de fiscale winst afgetrokken worden. Het maximale netto effectieve voordeel is daarmee 11% van de investering. De regeling wordt uitgevoerd door Agentschap NL. Een ondernemer kan via Agentschap NL ook een energie-efficiënt bedrijfsmiddel voordragen voor vermelding op de Energielijst.

### *MIA/Vamil*

Ook de Milieu-investeringsaftrek (MIA) en Willekeurige (voorheen: vrije) Afschrijving Milieu-investeringen (Vamil) zijn fiscale subsidies. MIA en Vamil zijn er voor de Nederlandse ondernemer die investeert in een milieuvriendelijk product of bedrijfsmiddel, die een milieuvriendelijk product of bedrijfsmiddel ontwikkelt of die zo'n product sneller op de markt wil brengen. De MIA maakt het mogelijk een deel van de kosten af te trekken van de fiscale winst. De Vamil maakt het mogelijk een deel van de kosten vrij af te schrijven. Het milieuvriendelijke product of bedrijfsmiddel moet wel op de Milieulijst staan. Daarop staat ook voor welke van beide regelingen en voor welk percentage aftrek de investering in aanmerking komt. Ook de MIA en Vamil worden uitgevoerd door Agentschap NL. ■





## Hoofdstuk 9

# Waterstof en groen gas

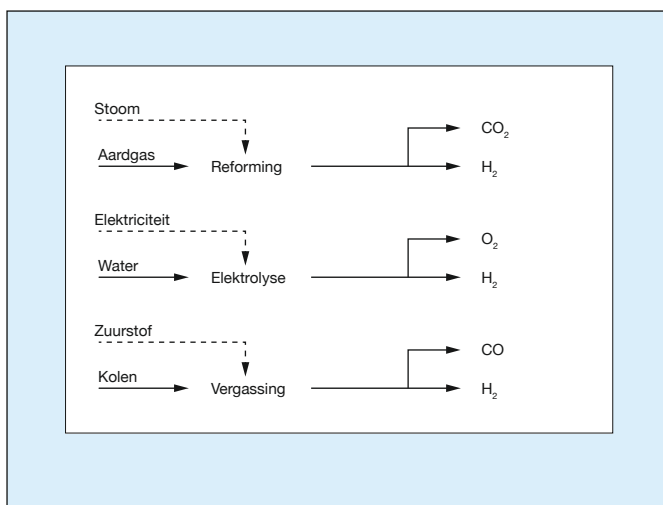
In een boek over groen gas mag waterstof niet ontbreken. Behalve uit biomassa kan groen gas in de toekomst immers ook via de 'waterstofroute' geproduceerd worden. Waterstof kan tot een bepaald percentage worden bijgemengd in het bestaande gasnet, of waterstof kan via het proces van methanisering worden omgezet in methaan. In beide gevallen is waterstof een mogelijkheid om hernieuwbare energie uit bijvoorbeeld wind- of zonne-energie in te voeden en te bufferen in het bestaande gasnet. Op bescheiden schaal zijn hiermee inmiddels proeven gedaan.

Waterstof wordt vaak gezien als de energiedrager van de toekomst. Een belangrijke reden hiervoor is dat bij de verbranding van waterstof geen CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, fijnstof of andere schadelijke emissies vrijkomen. Het enige reactieproduct bij de verbranding van waterstof is water. Een ander voordeel is dat waterstof zeer geschikt is als energiebron voor brandstofcellen, die elektriciteit en warmte produceren. Ook hier is water het enige bijproduct. De verwachting is dat de techniek van brandstofcellen in de toekomst een belangrijke plaats zal innemen, zowel in de gebouwde omgeving als in de *automotive* sector. Een derde voordeel is de mogelijkheid om waterstof in te zetten in de gasvoorziening. Wanneer waterstof uit hernieuwbare energie geproduceerd wordt, is dit een manier om de gasvoorziening verder te verduurzamen. Het gasnet kan zelfs in zekere zin functioneren als een buffer voor hernieuwbare energie.

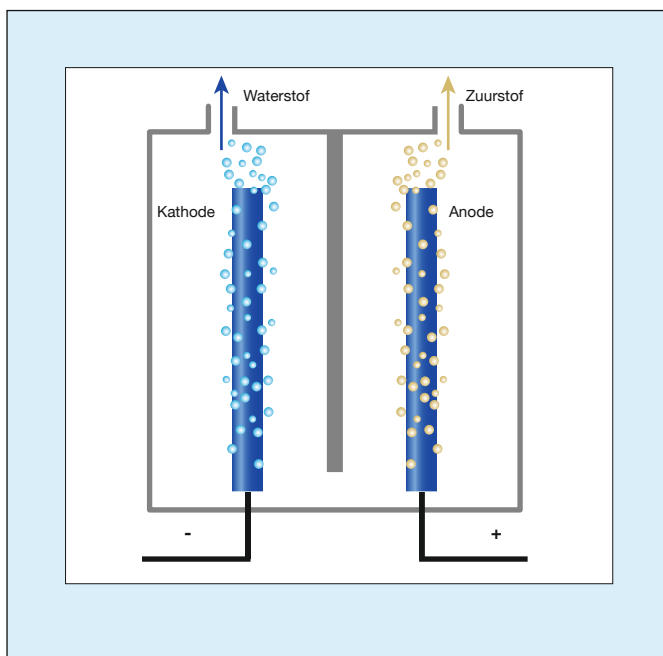
### Niet-duurzame productie van waterstof

Grootschalige productie van waterstofgas gebeurt momenteel op drie manieren (figuur 1):

- Reforming - Aardgas wordt in aanwezigheid van stoom afgebroken en omgezet naar waterstofgas en kooldioxide. Bijna 90% van de industrieel gebruikte waterstof wordt op deze manier geproduceerd.
- Elektrolyse - Dit is een elektrochemische reactie waarbij onder invloed van een elektrische stroom watermoleculen worden ontleed in waterstof en zuurstof (figuur 2). Dit gebeurt volgens de reactievergelijking  $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$ . In feite gebeurt bij elektrolyse dus het omgekeerde van wat bij de verbranding van waterstof plaatsvindt. De verbrandingsreactie is exotherm; hier komt (veel) energie bij vrij. De elektrolyse reactie kost uiteraard energie. Omdat water een slechte geleider is voor elektrische



Figuur 1 Schematisch overzicht van de conventionele productie-methoden voor waterstof.



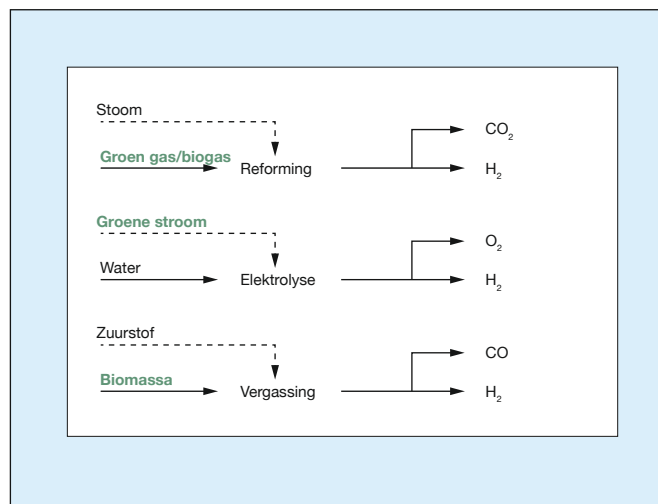
Figuur 2 Bij elektrolyse wordt water ontleed in waterstof en zuurstof.  
Bron: stoomturbine.nl

stroom, wordt een lage concentratie van een inert elektrolyt toegevoegd (zoals natriumsulfaat of zwavelzuur). Aan de kathode ontstaat zo waterstof en aan de anode zuurstof. Door deze fysieke scheiding kunnen beide gassen gemakkelijk apart opgevangen worden. Zouden ze weer vermengd worden, dan ontstaat het zogeheten knalgas, waaruit op explosieve wijze weer water gevormd kan worden.

- Vergassing - Koolstofketens worden bij hoge temperatuur in aanwezigheid van zuurstof afgebroken en omgezet in onder meer waterstofgas en koolmonoxide. In de olieraffinage worden restproducten of laagwaardige producten al decennialang vergast om zo syngas en uiteindelijk waterstof te produceren.

### Duurzame productie van waterstof

De gebruikelijke methoden om waterstof te produceren, zoals hierboven genoemd, zijn energie-intensief. Bovendien worden vaak fossiele grondstoffen als aardgas, aardolieproducten of steenkool gebruikt. Waterstof is in dat geval dus geen duurzame energiedrager. Dat is ze wel als hernieuwbare energiebronnen worden gebruikt. Dat kan op verschillende manieren:



Figuur 3 Schematisch overzicht van de waterstofproductie uit duurzame bronnen.

- Groengas- of biogasreforming - Bij de reforming kan aardgas vervangen worden door groen gas of biogas. Voor volledig duurzame productie moet ook de benodigde elektriciteit duurzaam worden opgewekt. Technisch is groengasreforming niet anders dan conventionele reforming. Biogas en groen gas zijn vooralsnog echter wel duurder dan aardgas.
- Groene elektrolyse ('*power-to-gas*') – Wanneer bij elektrolyse elektriciteit gebruikt wordt uit hernieuwbare bronnen (zoals wind- of zonne-energie of elektriciteit uit bio-wkk), dan is sprake van groene elektrolyse. Het voordeel van waterstofgas is dat het in tegenstelling tot elektriciteit kan worden opgeslagen. Zo kan een eventueel overschot aan duurzame elektriciteit worden gebufferd in de vorm van waterstof. In Duitsland zijn enkele proefprojecten opgestart met *power-to-gas*.
- Biomassavergassing - Bij de vergassing van biomassa wordt biomassa afgebroken en ontstaat er een mix van onder meer  $H_2$  en  $CO$ . Deze methode is technisch nog niet uitontwikkeld. Biomassavergassing vraagt totaal andere reactoren dan kolenvergassing en is ook duurder.

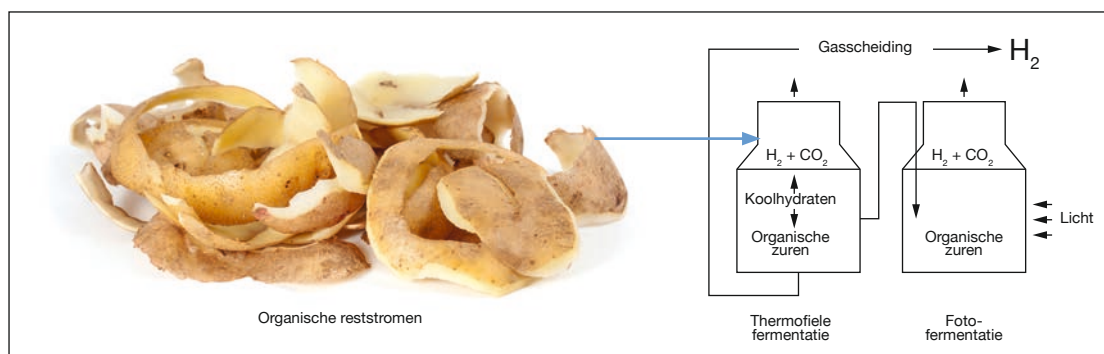
Naast de genoemde methoden wordt momenteel onderzoek gedaan naar een combinatie van thermofiele (en donkere) fermentatie en fotofermentatie. Dit proces is vergelijkbaar met vergisting van natte biomassa (zie hoofdstuk 4), maar dan worden in de eerste stap waterstofgas, kooldioxide en azijnzuur gevormd. In de laatste stap van de vergisting wordt azijnzuur omgezet in waterstof en kooldioxide (in plaats van methaan). Dit gebeurt onder invloed van licht in een nageschakelde *fotobioreactor* (zie figuur 4).

## Toepassingen van waterstof

Waterstof wordt al op grote schaal ingezet voor zeer uiteenlopende toepassingen. Zo is waterstof een belangrijke grondstof voor de chemische industrie voor productie van ammonia en methanol. Ook wordt het als brandstof gebruikt in de ruimtevaart. Sinds een paar jaar wordt er ook geëxperimenteerd met auto's, bussen en andere voertuigen op waterstof. Voor de aandrijving zorgt dan een brandstofcel met daaraan gekoppeld een elektromotor. Brandstofcelvoertuigen zijn nog niet op de markt; het onderzoek bevindt zich in de fase van pilotprojecten. Groot-schalige toepassing laat nog op zich wachten. Brandstofcellen worden overigens ook in de gebouwde omgeving toegepast als wkk-eenheid, maar dan worden ze meestal gevoed met aardgas of groen gas. Voor de brandstofcel is dan een aardgasreformer geschakeld.

Naast het gebruik van waterstof in een brandstofcel is er de mogelijkheid om waterstof bij te mengen in het aardgasnetwerk. Dit is op zichzelf niets nieuws; tot in de jaren zestig van de twintigste eeuw werd stadsgas gebruikt dat voor een groot deel bestond uit waterstof. Dit stadsgas werd door middel van vergassing geproduceerd uit steenkool.

Sinds de opmars van het aardgas is het gebruik van waterstof via de openbare gasvoorziening in onbruik geraakt. Omdat waterstof een belangrijke rol kan spelen bij het bufferen van hernieuwbare energie, is de belangstelling de laatste jaren weer sterk toegenomen.



Figuur 4 Schematisch overzicht van het fermentatieproces waar biomassa wordt omgezet in waterstof. Bron: WUR

Op dit moment wordt onderzoek gedaan naar het gedrag van de hedendaagse leidingmaterialen en gastoestellen bij gebruik van aardgas waaraan een bepaald percentage waterstof is toegevoegd. Dit onderzoek is nodig omdat de verbrandingseigenschappen van het gasmengsel het functioneren van de infrastructuur en de gastoestellen kunnen beïnvloeden.

Onlangs heeft GasTerra samen met onder meer Joulz en netbeheerder Stedin op Ameland een praktijkproef afgerond naar de effecten van bijmenging van waterstof in het lokale aardgasnetwerk. Na een proefperiode van vier jaar is geconcludeerd dat bijmenging tot 20 volumeprocent waterstof geen nadelige effecten heeft op de toestellen of op de leidingmaterialen. In de proef zijn ook oude leidingdelen van pvc en ijzer opgenomen. Ook bleek dat de (standaard afgeregelde) gastoestellen zonder problemen functioneerden [Kiwa Technology, 2012].

Technisch gezien leidt het bijmengen van waterstof tot een iets lagere belasting van de branders van cv-ketels en kooktoestellen, maar tot een iets hogere vlamsnelheid. Omdat de luchtfactor stijgt, neemt ook de stroomsnelheid van het gasmengsel iets toe. Deze effecten treden gelijktijdig op, zodat de vlamstabiliteit van de brander ongeveer gelijk blijft.



Figuur 5 Een personenauto aangedreven door een brandstofcel op waterstof. Bron: Ecologic-cars.com

Bijmenging van waterstof aan aardgas lijkt goed haalbaar tot een percentage van 20 of 30% waterstof. Hogere percentages zijn niet wenselijk omdat dan de eigenschappen van het gasmengsel te veel gaan afwijken van die van aardgas. Een stap verder is dan methanisering (paragraaf 6.4.2). Hierbij wordt waterstof omgezet in methaan, het hoofdbestanddeel van aardgas. Methanisering is eigenlijk het omgekeerde van aardgasreforming. De techniek is nog in ontwikkeling.

### Conclusies

Het gebruik van waterstof als energiedrager heeft grote voordelen: bij de verbranding komen geen schadelijke gassen vrij, waterstof is geschikt als transportbrandstof en kan worden bijgemengd in het aardgasnet. Wereldwijd vindt de productie van waterstof tot nu toe vooral plaats uit fossiele grondstoffen. Productie van waterstof uit hernieuwbare bronnen is echter steeds beter mogelijk en biedt de mogelijkheid hernieuwbare energie op te slaan en te bufferen. Dit geldt ook voor energie uit biomassa. Waterstof speelt dan ook een toenemende rol bij de verduurzaming van de gasvoorziening. ■



Figuur 6 Menginstallatie voor de praktijkproef op Ameland. De installatie werd aanvankelijk gevoed met waterstof uit flessenpakketten, zoals op de foto te zien is. Later werd waterstof ter plekke geproduceerd met elektriciteit uit zonnepanelen. Bron: GasTerra



## Bronverwijzing en literatuur

*[Agentschap NL, 2012]*

**Agentschap NL** (divisie Energie en Klimaat), Statusdocument bio-energie 2011, Utrecht, 2012

*[Bergsma et al., 2010]*

**Bergsma, G.C. en B.E. Kampman, H.J. Croezen (CE Delft)**, Goed gebruik van biomassa, Delft, 2010

*[Boosten et al., 2010]*

**Boosten, M. en P.A.G. Jansen (Stichting Probos, Wageningen)**, Flevo-energiehout: resultaten van groei en opbrengstmetingen en biodiversiteitsmonitoring 2006-2008, Wageningen, 2010

*[CDB, 2010]*

**Commissie Duurzaamheidsvraagstukken Biomassa (CDB)**, Maak landbouw deel van de oplossing! – Advies over Indirect Land Use Change (ILUC), 2010

*[CE Delft, 2012]*

**CE Delft**, Sustainability of Biomass in a Bio-based Economy - a quick-scan analysis of the biomass demand of a bio-based economy in 2030 compared to the sustainable supply, Delft, 2012

*[Creatieve energie, 2007]*

**Creatieve Energie (Agentschap NL)**, Toetsingskader voor duurzame biomassa, Den Haag, 2007

*[EC, 2008]*

**European Commission**, Sustainability criteria & certification systems for biomass production, 2008

*[Elbersen et al., 2011]*

**Elbersen, W. en B. Janssens, J. Koppejan (Wageningen UR)**, De beschikbaarheid van biomassa voor energie in de agro-industrie, Wageningen, 2011

*[Fischer et al., 2001]*

**Fischer, G. en M. Shah, H. van Velthuizen en F.O. Nachtergaele (International Institute for Applied Systems (IIASA))**, Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21st century, Laxenburg, Austria, 2001

*[Hanegraaf et al., 2007]*

**Hanegraaf, M.C. en S.W. Molenaar, H.W. Elbersen, E. Annevelink (Nutrienten Management Instituut)**, Effecten van biomassaketens op landgebruik en bodemkwaliteit in Nederland: ontwikkeling van een toetsingskader (Rapport 1183), Wageningen, 2007

[Kema, 2010]

KEMA i.s.m. Endinet, Groen gas invoeding in het gasnet, Arnhem/Groningen, 2010

[Keysers, 2006]

Keysers, T. (Katholieke Hogeschool Kempen), Vergisting met nabehandeling van het digestaat, Kempen, 2006

[Kiwa Technology, 2012]

Kippers, M en H. Olthof (Kiwa Technology), Waterstof in aardgas op Ameland, Apeldoorn, april 2012

[Koning et al., 2008]

Koning, N.B.J. en M.K. van Ittersum, G.A. Becx, M.A.J.S. van Boekel, W.A. Brandenburg, J.A. van den Broek, J. Goudriaan, G. van Hofwegen, R.A. Jongeneel, J.B. Schiere en M. Smies (Wageningen UR), Long-term global availability of food: continued abundance or new scarcity?, Wageningen, 2008

[Kool et al., 2005]

Kool, A en M. Timmerman, H. de Boer, H.J. van Dooren, B. van Dun, M. Tijmensenternovem/Agentschap NL), Kennisbundeling covergisting, Culemborg, 2005

[Koppejan et al., 2009]

Koppejan, J. en W. Elbersen, M. Meeusen, P. Bindraban (i.o. Agentschap NL), Beschikbaarheid van Nederlandse biomassa voor elektriciteit en warmte in 2020, Utrecht, 2009

[Kuiper et al., 2008]

Kuiper, L. en S. de Lint (Ecofys), Binnenlands biomassapotentieel. Biomassa uit natuur, bos, landschap, stedelijk groen en houtketen, Utrecht, 2008

[Lamers et al., 2012]

Lamers, P. en M. Junginger, C. Hamelinck, A. Faaij (Ecofys), Developments in international solid biofuel trade - An analysis of volumes, policies, and market factors, Utrecht, 2012

[Langeveld, 2010]

Langeveld, J.W.A. en J.P.M. Sanders, M.J.G. Meeusen (Wageningen UR), The Biobased Economy - biofuels, materials and chemicals in the post-oil era, Londen, 2010

[Lora et al., 2007]

Lora, E.S. en R.V. Andrade (Excellence Group in Thermal Power and Distributed Generation NEST), Biomass as energy source in Brazil, 2007

[Luyten, 1994]

Luyten, J.C. (Institute for Agrobiology and Soil Fertility (AB-DLO), Sustainable world food production and environment, Wageningen, 1994

[Migchels et al., 2011]

Migchels, G en P. Kuikman, H.F.M. Aarts, H.J.C. van Dooren, P.A.I. Ehlert, J. Luttik, L.B. Sebek, K.B. Zwart (Wageningen UR Livestock Research), Kansen en bedreigingen voor mestvergisting en groengasproductie in de Gelderse landbouw, Lelystad, 2011

[Olofsson et al., 2005]

Olofsson, I. en A. Nordin, U. Soderlind, Initial review and evaluation of process technologies and systems suitable for cost-efficient medium-scale gasification for biomass to liquid fuels, Umeå, 2005

[Peeters et al., 2011]

Peeters, S.J.W. en M.C.J. Horstink, A.T.M. Schlatmann (Energy Matters in opdracht van LTO Nederland), Integrale visie duurzame drijfmestverwaarding – visie van LTO Nederland, Driebergen, 2011

[Perez et al., 2009]

Perez, R. en M. Perez (IEA), A fundamental look at energy reserves for the planet, The IEA SHC Solar Update, Volume 50, 2009

[Pilgrims, 2010]

Pilgrims Amsterdam (in opdracht van E-ON Benelux), Biomassa, feiten, cijfers, observaties – stand van zaken 2010, Amsterdam, 2010

[Platform Nieuw Gas, 2007]

Platform Nieuw Gas (Agentschap NL), Vol Gas Vooruit: De rol van groen gas in de Nederlandse energiehuishouding, Utrecht, december 2007

*[Platform Nieuw Gas, 2008]*

**Platform Nieuw Gas (Agentschap NL)**, Opwaarderen tot aardgaskwaliteit van biogas naar groen gas, Utrecht, 2008

*[Ter Heijne, 2011]*

**Heijne, A. ter (WUR)**, Winning clusters in de biobased economy: een visie voor het jaar 2050, Wageningen, 2011

*[Van der Leeden, 2003]*

**Leeden, R.H.C. van der; P.P.M.J. Roover, A.H.M. Wassenberg (HAS Kennistransfer)**, Mestvergisting op boerderijniveau - vergunningverlening en haalbaarheid van vergisting van mest en biomassa, 's Hertogenbosch, 2003

*[Van Diepen et al., 2009]*

**Diepen, C.A. van; C.H. Bolck, N.B.J. Koning, H.J.M. Löffler, J.P.M. Sanders (Wageningen UR)**, Het technisch potentieel voor de wereldproductie van biomassa voor voedsel, veevoer en andere toepassingen (in: P. Berkhout (LEI), Voedselzekerheid; een beschouwing vanuit drie dimensies), Den Haag, 2009

*[Van Nieuwenhuijzen et al., 2011]*

**Nieuwenhuijzen, A.F. van; E. Koorneef, P.J. Roeleveld, A. Visser, D. Berkhout, F. van den Berg van Saparoea, V. Miska, E. van Voorthuizen, C. van Erp Taalman Kip (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA))**, Handboek slibvergisting, Amersfoort, 2011

*[Wiskerke, 2011]*

**Wiskerke, W. (Stichting Natuur & Milieu)**, Heldergroen gas: een visie op de duurzaamheid van groen gas, Utrecht, 2011

### *Websites*

[www.agentschapnl.nl](http://www.agentschapnl.nl)

[statline.cbs.nl/statweb](http://statline.cbs.nl/statweb)

[www.groengas.nl](http://www.groengas.nl)

[www.groengasmobiel.nl](http://www.groengasmobiel.nl)

[www.infomil.nl/onderwerpen/duurzame](http://www.infomil.nl/onderwerpen/duurzame)

[www.vertogas.nl](http://www.vertogas.nl)



# Register

aardgas 4-6, 8, 9, 11-14, 30, 31, 68, 79, 8- 85, 93, 94, 99, 101, 104,  
114, 121, 123, 125, 127-129, 140, 145, 146, 156  
aardgaskwaliteit 12, 15, 61, 104, 109, 110, 117, 121, 149  
aardolie 13, 20, 24, 30, 83  
aardolieraffinage 24  
acetogenese 70  
*Zie ook* azijnzuurvorming  
acidogenese 70, 74  
*Zie ook* verzuring  
actieradius 127, 128  
afvalwaterzuivering 59  
afvalwaterzuiveringsinstallatie 48, 66  
agro-industrie 148  
agrochemicaliën 39  
algen 23, 35, 43, 47  
Apeldoorn 49  
areaal 38, 53, 79  
asfalt 24  
azijnzuurvorming 70  
*Zie ook* acetogenese  
back-up 13, 79, 123  
Bees A 136-138  
*Zie ook* Besluit emissie-eisen stookinstallaties A  
beleidsmaker 39, 54

België 51, 101  
Bems 136-138  
*Zie ook* Besluit emissie-eisen middelgrote stookinstallaties  
benzine 24, 31, 44, 83, 129, 131, 133  
bermgras 35, 47  
Besluit emissie-eisen middelgrote stookinstallaties 137  
*Zie ook* Bems  
Besluit emissie-eisen stookinstallaties A 137, 138  
*Zie ook* Bees A  
Besluit verbranden afvalstoffen 137, 138  
*Zie ook* Bva  
Beverwijk 49, 122  
bietenloof 47  
bio-ethanol 24, 31, 43, 45, 50, 128  
bio-wkk 121, 122, 125, 126, 129, 132, 145  
biobased 26-31, 62, 79, 119, 149  
biobased economy 27, 28, 30, 31, 79, 119, 149  
biodiesel 23, 24, 29, 31, 34, 35, 37, 43-45, 50, 126, 128  
biodiversiteit 35, 36, 38, 39, 45, 50, 149  
biogas 6, 11, 12, 15, 16, 23, 25, 28-31, 42, 44, 48, 49, 54-56, 59, 61,  
62, 65, 69-80, 83, 85, 99, 96, 101, 103-112, 116, 121, 122, 125,  
129, 131, 132, 137, 145, 149  
biogasinstallatie 29, 49, 75, 109, 126

- biomassa 4, 12, 14-16, 19, 20, 22-24, 27-29, 33-45, 47, 50, 51, 53-57, 65, 66, 67, 70, 72, 74, 75, 77, 83-86, 88-91, 109, 110, 115-118, 125, 131, 135, 137-139, 143, 145, 149  
 biomassa (droog)  
     *Zie* droge biomassa  
 biomassa (nat)  
     *Zie* natte biomassa  
 biomassagebruik 15, 22, 23, 36, 37, 45, 55, 132  
 biomassahandel 50, 51  
 biomassaraffinage 4, 24  
     *Zie ook* bioraffinage  
 biomassavergassing 14, 83, 84, 86, 88-90, 145  
 bioraffinage 24, 27, 30, 31  
     *Zie ook* biomassaraffinage  
 bitumen 24  
 bodembeheer 48  
 bodemerosie 45  
 bodemvruchtbaarheid 38  
 bos 20, 35, 45, 47, 57, 138, 148  
 brandhout 50  
 brandstofcel 143, 145, 146  
 brandstofmix 42, 123  
 brandstofreserve 20  
 Brazilië 25, 35, 50, 57  
 broeikasgas 25, 33, 36, 38, 41, 44, 45, 47, 48, 107, 137, 140  
 bruinkool 20  
 buffer 6, 95, 143  
 bufferen 11, 77, 143-146  
 butaan 14, 24, 127  
 butadien 24  
 Bva 136-139  
     *Zie ook* Besluit verbranden afvalstoffen  
 calorische waarde 28-30, 91, 102, 103, 106, 110, 117  
 Canada 50  
 cascade 23  
 cascadering 28, 126  
 CE Delft 34, 44, 53, 57, 148  
 certificaat 41, 125  
 CH<sub>4</sub> 65, 69, 84, 86, 89, 91, 108  
     *Zie ook* methaan  
 classificatiesysteem 41  
 CNG 14, 121, 123, 127, 128, 131, 132  
 CO<sub>2</sub> 15, 20, 22, 44, 47, 56, 70, 78, 79, 94, 104, 106-108, 131  
     *Zie ook* kooldioxide  
 CO<sub>2</sub>-concentratie 22  
 CO<sub>2</sub>-emissie 25, 37, 121, 137  
 CO<sub>2</sub>-uitstoot 8, 11, 13, 20, 44, 57, 121, 129, 131, 132  
 Commissie-Cramer 35  
 composteren 49, 77  
 compressed natural gas 121, 127  
 conversietechniek 15, 34, 42  
 corrosie 77, 102, 110, 125, 132  
 covergisten 80  
 covergister 25, 49, 68, 70, 77-80  
 covergisting 43, 47, 48, 55, 67, 69, 73, 75, 77, 116, 135, 138, 149  
 criteria 4, 12, 15, 23, 34, 35, 41, 45, 53-56, 72, 125  
 criterium 36, 37, 39, 41, 45  
 cv-ketel 14, 49, 97, 102, 123, 129, 146  
 derde generatie (biomassa) 4, 43  
 destillatie 24, 106, 107  
 dierlijk 19, 47, 66, 69, 74, 77, 79, 138  
 dierlijke mest 47, 69, 74, 77, 138  
 digestaat 25, 47-49, 68, 69, 72, 74, 77-79, 125, 126, 138, 149  
 distributienet 100, 101, 106, 122  
 distributienetwerk 100, 101  
 doelstelling 13, 16, 28, 50, 54-56, 115, 117-119  
 drijfmest 25, 42, 47, 48, 69, 75, 76, 79, 80, 91, 149  
 droge biomassa 4, 42, 65, 85  
 drogestof 47, 72, 73, 83  
 drooglegging 22  
 drukbereik 104  
 Duitsland 14, 45, 51, 60, 101, 116, 145  
 duurzaam 12-15, 19, 22, 24, 33, 35, 39, 41, 44, 45, 48-51, 57, 93, 94, 97, 111, 116, 118, 145  
 duurzaamheid 33-35, 41, 45, 50, 51, 53, 116-118, 148, 149  
 duurzaamheidscriteria 4, 12, 34-36, 41, 45, 53-56, 125  
 duurzame energie 8, 10, 12, 13, 33-35, 45, 48, 50, 54, 56, 58, 59, 61, 83, 94, 95, 115, 118, 139, 140, 144, 156  
 Ecofys 45, 148  
 ecologisch 38  
 eendenkroos 25, 43  
 eerste generatie (biomassa) 43, 45  
 EIA 140  
     *Zie ook* Energie Investeringsaftrek

- eindgebruiker 89, 101, 102, 125  
 eiwit 25, 31, 70, 74, 76  
 eiwitrijk 25  
 elektriciteit 13, 14, 16, 25, 28, 30, 40, 44, 49, 54-56, 85, 94, 103, 111, 121-123, 125, 127, 129, 131, 132, 143, 145  
 elektriciteitscentrale 13, 33, 36, 54, 55, 101, 129  
 elektriciteitsproductie 11, 13, 40, 99, 109, 123, 129, 132, 139  
 elektrolyse 143, 145  
 emissie 16, 36, 38, 41, 56, 75, 121, 128, 135, 137, 138, 143  
 energetisch rendement 42, 47  
 Energie Investeringsaftrek 140  
*Zie ook EIA*  
 energie-infrastructuur 41  
 energieafhankelijkheid 39  
 energiebesparing 60, 121, 129, 132, 135, 137, 140  
 energiedrager 12, 14, 15, 34, 51, 63, 103, 116, 135, 143, 144, 146  
 energiegewas 37, 45, 47  
 energiemaïs 44, 76  
 energieplantage 38  
 energierendement 35  
 energietransitie 4, 11, 13, 93, 116  
 energievoorziening 11, 13, 16, 23, 31, 35, 40, 53, 73, 93, 97, 99, 117, 123, 156  
 erosie 39, 45  
 etheen 24  
 Europa 11, 35, 50, 51, 53, 57, 100  
 Europese richtlijn 33  
 Europese Unie 12, 13, 61, 156  
 exotherm 90  
 export 39, 47, 101  
 exporteren 79  
 fermentatie 70, 145  
 fosfaat 25, 47, 48, 68, 76, 79, 91, 126  
 fosfaatkringloop 25, 47, 48, 69, 126  
 fossiel 11, 20, 28, 29, 44, 56, 61, 131, 140, 144, 146  
 fossiele brandstof 4, 12, 15, 19, 20, 22, 28, 34, 36, 44, 119  
 G-gas 100, 101, 128  
 gasapparatuur 99, 101  
 gasgestookt 13, 14, 91, 122, 123  
 gashub 101, 109, 110, 132  
 gasinfrastructuur 11, 12, 99  
 gaskwaliteit 5, 12, 15, 49, 61, 85, 90-100, 101, 104, 106, 109, 110, 116, 117, 121, 122  
 gasmotor 44, 49, 77, 91, 102, 125, 127, 137  
 gasnet 11, 14, 48, 49, 63, 80, 89, 94-96, 99, 100, 102-104, 106, 108, 109, 110, 112, 116, 121-123, 125, 143, 146  
 gasnetwerk 5, 15, 16, 93, 101, 102, 104, 109, 145, 146  
 gastransportleiding 101  
 gasturbine 102, 122, 123, 137  
 Gasunie 100, 101, 125  
 gasvoorraad 156  
 gasvormige brandstof 12, 19, 84, 128  
 gaswassing 106, 107  
 gebouwde omgeving 11, 13, 14, 123, 143, 145  
 gele lijst 138  
 geroerde vergister 5, 67, 70, 72, 73, 77  
 geurstof 104  
 gewasbehoefte 48  
 gezondheid 39  
 GFT-afval 42, 47-49, 55, 65, 75-78, 110  
 groeipotentieel 53  
 groen gas (CO<sub>2</sub>-uitstoot) 19, 129  
 groen gas (definitie) 11, 15  
 groen gas (invoeden) 103  
 groen gas (versus aardgas) 128  
 groen gas (labelen) 125  
 Groen Gas Nederland 108, 114-117, 149  
 groen gas (rijden op) 6, 78, 118, 123, 127, 129, 132  
 groengascertificaat 125  
 groengashub 109, 110, 132  
 groente- en fruitveiling 47  
 grondstoffenbalans 22  
 Groningengas 100  
 H-gas 100  
 H<sub>2</sub> 70, 84, 86, 89, 108, 123, 143, 145  
*Zie ook waterstof(gas)*  
 heideplaggen 47  
 hernieuwbaar 22  
 hernieuwbare energie 11, 13, 14, 34, 54, 55, 143-146  
 hogedruktransportnet 101, 106  
 houtoogst 47  
 houtpellets 42, 50, 51, 85, 86  
 houtsnippers 50, 65, 85, 86, 90, 65

- hub 101, 109, 110, 132  
*Zie ook* groengashub, groengashubs
- huishouden 44, 49, 51, 54, 78, 94, 99, 101, 110, 122, 123
- hybride warmtepomp 14
- hydrolyse 70, 74, 76
- ILUC 37, 38.  
*Zie ook* Indirect Land Use Change
- ILUC-waarde 37, 38  
*Zie ook* Indirect Land Use Change
- import 25, 50, 51, 101
- importeren 51, 118
- Indirect Land Use Change 37  
*Zie ook* ILUC
- Indonesië 35, 39, 41
- InfoMil 137
- infrastructuur 5, 11, 13, 41, 97, 99
- integraal
- Investeringsregeling Energiebesparing 140  
*Zie ook* IRE
- invoeden 5, 94-96, 99, 103, 104, 109, 117
- IRE 140  
*Zie ook* Investeringsregeling Energiebesparing
- jatropha 37, 40, 45
- kalium 44, 48, 62
- kathode 144
- kernenergie
- ketenbenadering 4, 24
- kleineveldenbeleid 100, 156
- klimaat 118
- klimaatdoelstelling 117, 119
- klimaatneutraal 78
- klimaatwinst 44, 45
- Kloosterman 44
- kolencentrale 42, 86, 118
- kooldioxide 85, 94, 106, 120, 143, 145  
*Zie ook* CO<sub>2</sub>
- koolstofinhoud 42
- koolstofketen 4, 19, 20, 9, 144
- koolzaad 36, 43, 45
- kortcyclisch 22
- koude 41, 74, 100
- kringloop 20, 25, 49, 62, 78
- kroos 25, 43
- labeling 6, 125
- landbouwareaal 53
- landbouwgrond 35-38, 44
- landbouwresidu 48
- landgebruik 37, 38, 41, 44, 45, 149
- langcyclisch 22
- levenscyclusanalyse 49
- levensstandaard 39
- leveringszekerheid 13, 95
- lignocellulose 31
- liquified natural gas 14  
*Zie ook* LNG
- liquified petroleum gas 14, 127  
*Zie ook* LPG
- LNG 14, 127  
*Zie ook* liquified natural gas
- lokaal 5, 16, 36, 37, 85, 95, 99, 103, 110, 121, 123
- LPG 124, 127, 129  
*Zie ook* liquified petroleum gas
- luchtvervuiling 39
- maïs 28, 31, 36, 37, 43-45, 47, 67, 68, 76
- Mali 39, 40
- marginale grond 37
- Marktintroductie energie-innovaties 140  
*Zie ook* MEI
- meestroomreactor 87
- MEI 140  
*Zie ook* Marktintroductie energie-innovaties
- membraan 77, 108
- membraanfiltratie 106, 108
- MEP 139. *Zie ook* Milieukwaliteit elektriciteitsproductie
- MER 6, 135, 137. *Zie ook* milieueffectrapportage
- mest 43, 47, 48, 50, 55, 65, 67-69, 72, 74, 77, 79, 91, 116, 135, 138, 149
- mestoverschot 47, 48
- mestraffinage 5, 79
- mestvergisting 66, 69, 111, 135, 138, 149
- methaan 47, 65, 67, 69, 70, 79, 84, 86, 89, 90, 94, 107-109  
*Zie ook* CH<sub>4</sub>
- methaangehalte 80, 104, 128
- methaanvorming 70, 74  
*Zie ook* methanisering, methanogenese

- methanisering 14, 90, 93, 94, 108, 143, 146  
*Zie ook* methaanvorming, methanogenese
- methanogenese 70  
*Zie ook* methanisering, methaanvorming
- MIA 140  
*Zie ook* Milieu-investeringsaftrek
- micro-organisme 48, 66, 70, 74-76, 97
- milieu 39, 45, 74, 97, 110, 149
- Milieu-investeringsaftrek 140  
*Zie ook* MIA
- milieueffect 49, 137
- milieueffectrapportage 6, 111, 135  
*Zie ook* MER
- Milieukwaliteit elektriciteitsproductie 139
- mineraal 22, 25, 31, 47, 48, 62, 69, 90
- mineralenkringloop 25, 49, 62
- nafta 24, 29
- natriumsulfaat 144
- natte biomassa 42, 50, 65, 110, 145
- Natuur en Milieu 45, 57, 149
- Nederlandse emissierichtlijn 137  
*Zie ook* NeR
- Nederlandse Technische Afspraak 4, 41, 125, 137  
*Zie ook* NTA
- NeR 137  
*Zie ook* Nederlandse emissierichtlijn
- netkwaliteit 102, 116
- netwerkbeheerder 101, 116
- NTA 41, 137  
*Zie ook* Nederlandse Technische Afspraak
- NTA 8080 41, 53, 118, 125
- nucleaire energie 11
- nutriënten 24, 25, 44, 119
- nutriëntenfabriek 48
- ODS 73
- ODS-gehalte 72, 73, 76, 77, 83
- ontbossing 22, 35, 38, 41
- ontwikkelingsland 19, 39, 84
- opwaarderen 99, 103, 106-109, 116, 129  
*Zie ook* opwerken
- opwaardering 31, 83, 85, 89, 90, 96, 106, 108-112, 121, 123, 125, 132
- opwerken 12, 16, 61, 117, 121, 122  
*Zie ook* opwaarderen
- ORC 44, 126, 127  
*Zie ook* Organic Rankine Cycle
- Organic Rankine Cycle 6, 44, 127  
*Zie ook* ORC
- organisch 20, 23, 29, 42-44, 55, 65, 66, 69, 70, 72, 75, 76, 78, 110, 127, 138
- organisch afval 126
- organische afvalstoffen 42
- organisch drogestofgehalte 72
- overbemesting 47, 77, 79
- palmolie 35, 41, 44
- palmoliebedrijf 41
- pellets 51
- perceelsbehoefte 48
- piekvraag 100, 123
- positieve lijst 135, 138
- productgas 14
- productiecapaciteit 53, 61
- propaan 24, 127
- propeen 24
- propstroomvergister 5, 66, 70, 72-74, 77
- propstroomvergisting 72
- pyrolyse 86, 88, 138
- raffinage 14  
*Zie ook* biomassaraffinage, mestraffinage
- reforming 94, 143, 145, 146
- rendement 42, 47, 62, 66, 90, 108, 119, 123, 125-127, 129, 132
- restproduct 24, 25, 47, 48, 77, 84, 127, 144
- reststof 31, 48, 69, 138
- reststroom 31, 48
- rioolslib 42, 47, 48, 50, 97
- rioolwaterzuivering 23, 74, 76
- rioolwaterzuiveringsinstallatie 48, 76, 106, 110, 122  
*Zie ook* RWZI
- rondhout 50
- RWZI 48, 49, 55, 66, 76, 77, 122  
*Zie ook* rioolwaterzuiveringsinstallatie
- scenario 53-56
- Schoon en zuinig 140

- SDE 25, 59, 61, 115, 117, 139, 140  
*Zie ook* Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie
- SG3 95
- slibvergister 77, 122
- slibvergisting 48, 49, 75, 149
- slimme netten 4, 13, 14
- Slochterengas 100
- smart grids 14, 93
- SNG 84  
*Zie ook* synthetic natural gas
- snijbloemen 25
- soja 25, 43-45, 50, 57, 138
- stadsgas 11, 83, 145
- stadsverwarming 51, 90
- Stedin 92, 93, 95-97, 146
- steenkool 11, 13, 20, 28, 30, 83-86, 128, 144, 145
- stikstof 11, 25, 47-49, 62, 70, 73, 76, 77, 79, 86, 89-91, 100, 108
- stimuleringsregeling 135
- Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie 139  
*Zie ook* SDE
- stortgas 12, 15, 55, 66, 67, 103, 110, 115
- stro 52
- stroomsnelheid 104, 146
- subsidie 6, 25, 28, 30, 31, 39, 55, 61, 69, 115, 128, 139, 140
- suiker 24, 30, 60-62, 70, 76, 138
- Suiker Unie 58-61, 63
- suikerbiet 43-45, 48, 59, 61, 62, 138
- suikerindustrie 24, 59, 61
- suikerriet 35, 37, 43, 44, 57
- superkritische vergassing 5, 91
- superkritischwatervergassing 91
- syngas 14
- synthetic natural gas 14  
*Zie ook* SNG
- tegenstroomreactor 87
- tegenstroomvergasser 88
- tegenstroomvergassing 87, 88
- traceerbaar 41
- traceerbaarheid 41
- transitieperiode 13, 63
- transitieproces 13
- transportbrandstof 6, 16, 19, 24, 28, 30, 31, 35, 45, 121, 123, 127-129, 131, 146
- transportnet 61, 63, 95, 100, 101, 104, 106
- turf 20
- tweede generatie (biomassa) 43, 55
- uitbuiting 41
- uitstoot 11, 13, 22, 33, 48, 79, 137, 140
- Vamil 140  
*Zie ook* Willekeurige Afschrijving Milieu-investeringen
- vastbedvergasser 86, 88, 90
- vastbedvergassing 89
- vastestofgehalte 4, 41, 42
- veen 20
- veevoeder
- veevoederindustrie 24
- veevoer 25, 28, 31, 50, 60, 61, 148
- veevoersupplement 25
- veiligheid 39, 91, 95, 96, 101, 102, 104, 116, 135
- verbrandingseigenschap 11, 102, 104, 146
- Verenigde Staten 31, 50
- vergasser 84, 86, 89-91
- vergassermedium 89, 90
- vergassing 5, 12, 15, 47, 51, 65, 66, 74, 82-86, 88-91, 108, 117, 138, 145
- vergister 5, 25, 44, 49, 59-63, 66-70, 72-75, 77-79, 85, 111, 116, 125, 129
- vergisting 12, 15, 47-49, 55, 59, 60, 62, 65-69, 72, 74, 75, 77-79, 82, 83, 91, 106, 110, 116, 126, 135, 145
- vergistingsinstallatie 12, 44, 55, 62, 103, 111, 112, 126
- verzuring 70, 74  
*Zie ook* acidogenese
- vlamsnelheid 146
- vlamstabiliteit 146
- voedingsmiddelenindustrie 24
- voedselconcurrentie 41
- voedselgewas 35, 37, 43, 44
- voedselketen 12, 43
- voedselprijzen 12, 31, 55
- voedselvoorziening 23, 31, 37, 116, 118
- voorbeeldproject 15, 25, 44, 45, 49, 53, 68, 78, 89, 90, 110, 111, 122, 126
- vraaggestuurd 14
- warmte 16, 19, 23, 25, 28, 30, 41, 44, 49, 56, 67, 77, 79, 86, 88, 89, 90, 109-112, 121-123, 125-127, 129, 131, 132

warmtekrachtkoppeling 14, 121, 125  
*Zie ook wkk*

waterdamp 69, 77, 85, 102

waterdauwpunt 102

waterkwaliteit 39

waterstof 6, 16, 69, 70, 73, 84, 86, 89, 90, 93, 94, 108, 123, 143, 144, 145  
*Zie ook H<sub>2</sub>, waterstofgas*

waterstofgas 14, 70, 123, 143-145  
*Zie ook H<sub>2</sub>, waterstof*

waterstofproductie 144

welvaart 35, 36, 39, 40

wereldvoedselproductie 12

werkgelegenheid 39, 52

wervelbedvergasser 86, 88, 90

wervelbedvergassing 88

wetlands 22

Willekeurige Afschrijving Milieu-investeringen 140  
*Zie ook Vamil*

witte lijst 138

wkk 14, 44, 49, 68, 83, 85, 90, 91, 94, 103, 110-112, 121-123, 125,  
126, 129, 132, 137, 140, 145  
*Zie ook warmtekrachtkoppeling*

Wobbe-index 102, 104, 106, 110, 117

WUR 27, 28, 35, 47, 48, 149

zaagsel 42

zeewier 43

zetmeel 24, 25, 31, 76

zetmeelindustrie 24

zonnebloem 57

Zuid-Amerika 50

zwavelzuur 77, 125, 144



## 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 het bevorderen van de productie van Nederlands aardgas uit de kleinere gasvelden. Vanuit een klantgerichte houding streeft GasTerra 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.